

STEEL BUILDINGS IN EUROPE

**Edificios de acero de una sola
planta**

**Parte 6: Diseño detallado de pilares
compuestos**

**Edificios de acero de una sola
planta**

**Parte 6: Diseño detallado de pilares
compuestos**

PRÓLOGO

Esta publicación es la parte 6 de la guía de diseño *Edificios de acero de una sola planta* (en inglés, *Single-Storey Steel Buildings*).

Las 11 Partes en que se divide la guía *Edificios de Acero de una sola planta* son:

- Parte 1: Guía del arquitecto
- Parte 2: Diseño conceptual
- Parte 3: Acciones
- Parte 4: Diseño de detalle de pórticos de naves
- Parte 5: Diseño detallado de celosías
- Parte 6: Diseño detallado de pilares compuestos
- Parte 7: Ingeniería de fuego
- Parte 8: Cerramiento
- Parte 9: Introducción a herramientas informáticas
- Parte 10: Guía de prescripciones técnicas del proyecto
- Parte 11: Uniones resistentes a momentos

Edificios de acero de una sola planta, es una de las dos guías de diseño publicadas. La segunda guía se titula *Edificios de acero de varias plantas* (en inglés, *Multi-Storey Steel Buildings*).

Ambas guías han sido editadas dentro del marco del proyecto europeo: *Facilitating the market development for sections in industrial halls and low rise buildings (SECHALO) RFS2-CT-2008-0030*.

Ambas guías de diseño han sido redactadas y editadas bajo la dirección de ArcelorMittal, Peiner Träger y Corus. El contenido técnico ha sido elaborado por CTICM y SCI, colaboradores de Steel Alliance.

Índice

	Página No.
PRÓLOGO	iii
RESUMEN	vi
1 INTRODUCCIÓN	1
2 TIPOS DE ELEMENTOS COMPUESTOS Y SU APLICACIÓN	2
2.1 Aspectos generales	2
2.2 Pilares compuestos triangulados	5
2.3 Pilares compuestos empresillados	8
3 CÁLCULO DETALLADO	10
3.1 Aspectos generales	10
3.2 Metodología de cálculo para pilares compuestos triangulados	10
3.3 Metodología de cálculo para pilares compuestos empresillados	15
3.4 Longitud de pandeo	19
REFERENCIAS	21
Apéndice A Ejemplo resuelto: Cálculo de un pilar compuesto triangulado	23

RESUMEN

En esta guía trata las disposiciones estructurales y los cálculos empleados para el diseño de pilares compuestos fabricados con perfiles laminados en caliente.

Los cálculos se basan en la norma europea EN 1933-1-1, con información adicional, donde sea necesario.

Para la comprobación de los pilares con presillas se presentan procedimientos de cálculo simplificados que cumplen los requisitos de la norma EN 1993-1-1.

En el Anexo A se incluye un ejemplo resuelto.

1 INTRODUCCIÓN

En la construcción en acero se utilizan pilares compuestos cuando las longitudes de pandeo de los pilares son grandes y los esfuerzos de compresión son relativamente bajos. En esta guía se describen dos tipos de pilares compuestos:

- Pilares compuestos con diagonales
- Pilares compuestos con presillas.

En este documento se incluye una descripción general de ambos tipos de pilares. Se describe el método de cálculo según la norma EN 1993-1-1^[1] a la hora de determinar los esfuerzos internos y la resistencia al pandeo de cada elemento (cordones, diagonales, etc.) de los pilares compuestos fabricados a partir de perfiles laminados en caliente.

A hora de efectuar el cálculo es preciso tener en cuenta que, debido a la deformación por cortante, los pilares compuestos con presillas son más flexibles que los pilares sólidos con la misma inercia.

Para determinar la resistencia al esfuerzo axial de un pilar de acero compuesto, hay que llevar a cabo las siguientes comprobaciones:

- Un análisis del pilar compuesto para determinar los esfuerzos internos, teniendo en cuenta una imperfección inicial equivalente y los efectos de segundo orden
- Comprobación de los cordones y de los elementos de unión (diagonales y presillas)
- Comprobación de las uniones.

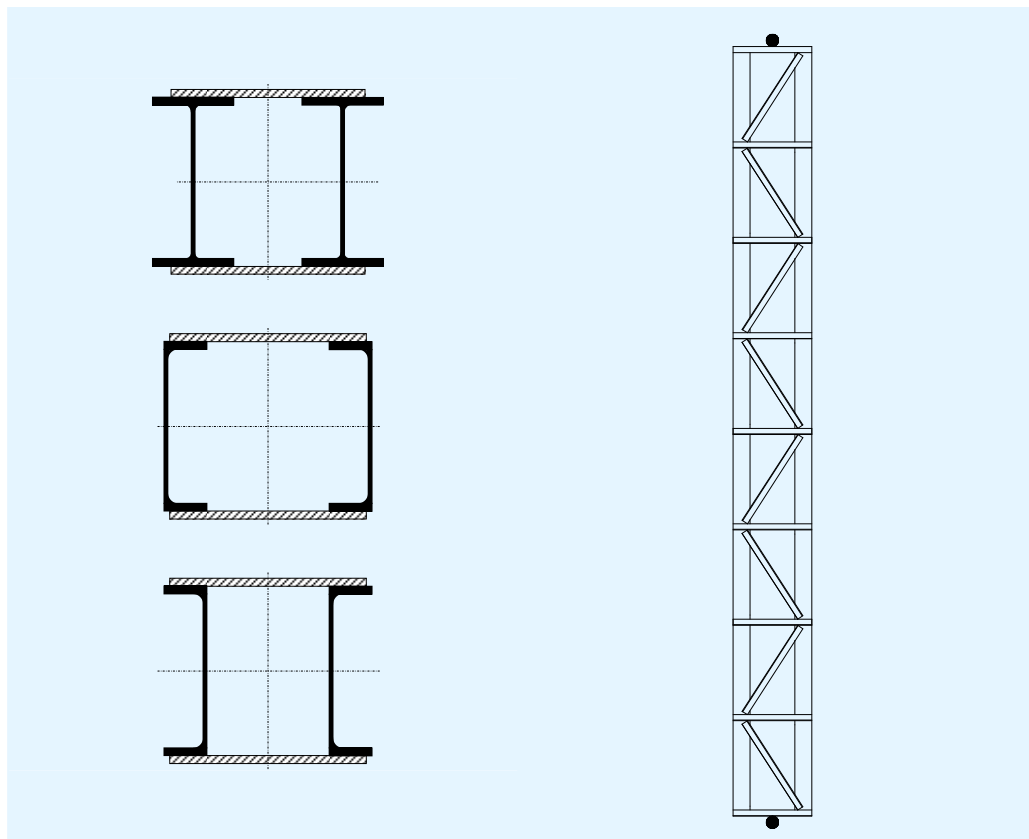
En el Anexo A se incluye un ejemplo de un pilar compuesto con diagonales en forma de N, que ilustra los principios de cálculo.

2 TIPOS DE ELEMENTOS COMPUESTOS Y SU APLICACIÓN

2.1 Aspectos generales

En términos generales, los pilares compuestos se utilizan en edificios industriales, bien como postes de sujeción de la fachada, cuando su longitud de pandeo es muy larga, o bien como soporte de la viga de un puente grúa.

Cuando se utilizan como postes para la fachada con uniones articuladas, el pilar se diseña para soportar las fuerzas horizontales, principalmente las debidas al viento. Por ello el momento flector en un pilar compuesto de ese tipo es predominante en comparación con el esfuerzo de compresión.



Reference to source of figure

Figura 2.1 Poste para sujeción de fachada con extremos articulados

En la Figura 2.2 se muestra un pilar compuesto típico usado para soportar la viga carrilera de un puente grúa. Suelen estar compuestos por una base fija y un extremo articulado en la parte superior, y están diseñados para soportar:

- Los esfuerzos de compresión que se derivan de la estructura o de la carrilera.
- Los esfuerzos horizontales que se derivan de los efectos del puente grúa aplicadas en el cordón interno y las cargas de viento aplicadas al cordón externo.

En este caso, los esfuerzos de compresión son predominantes si se comparan al momento flector.

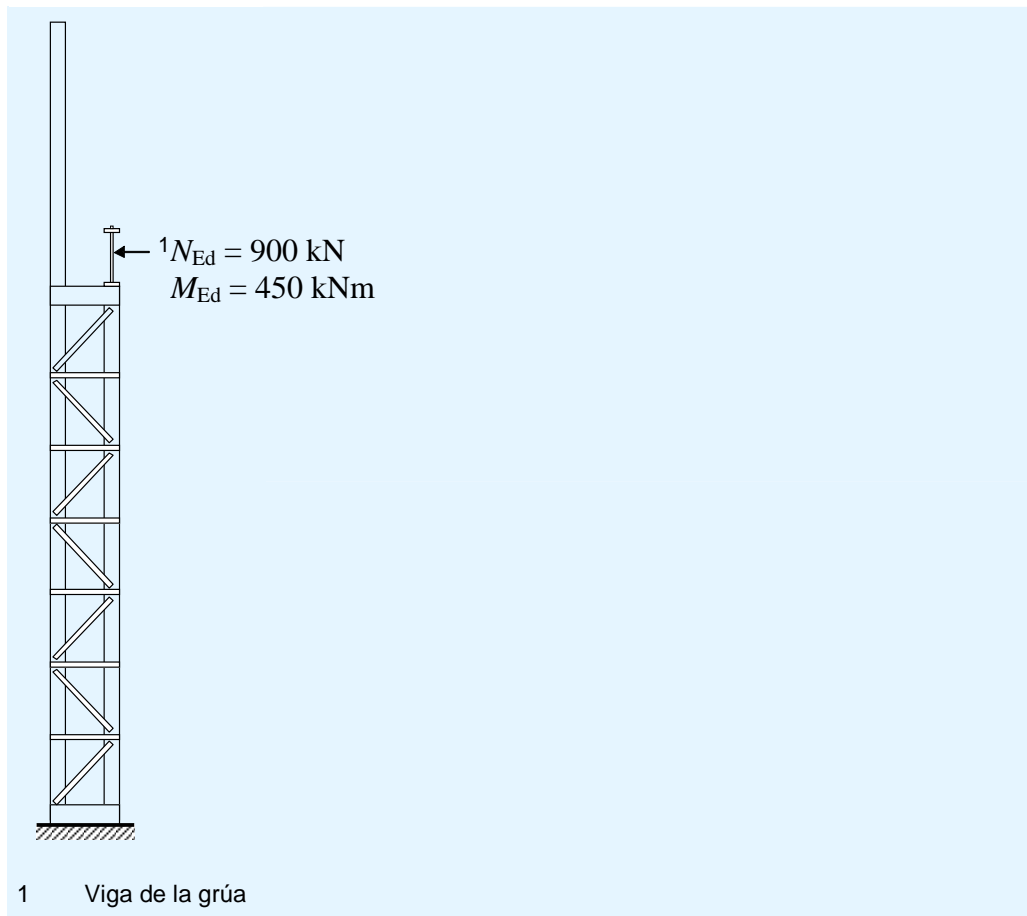


Figura 2.2 Pilar compuesto soportando la carrilera de un puente grúa

Los pilares compuestos están formados por dos cordones paralelos interconectados mediante elementos de enlace o mediante presillas (véase la Figura 2.1). En términos generales, el sistema de celosías concentra el material en los lugares más eficaces desde el punto de vista estructural para la transferencia de esfuerzos.

En un edificio industrial y para una altura determinada, los pilares compuestos, en teoría, tienen el menor peso posible de acero entro todos los sistemas de estructuras de acero.

Se puede utilizar cualquier perfil laminado en caliente para los cordones y los elementos del alma de los pilares compuestos. Sin embargo, los perfiles en “U” o los perfiles en I son los que se utilizan con más frecuencia como cordones. Su combinación con los angulares representa una solución técnica adecuada para los pilares mixtos con elementos de enlace o con presillas. Las chapas planas también se utilizan como presillas en los pilares compuestos.

En esta guía se describen dos tipos de pilares compuestos con extremos articulados que se suponen lateralmente coaccionados:

- Pilares triangulados
- Pilares empresillados.

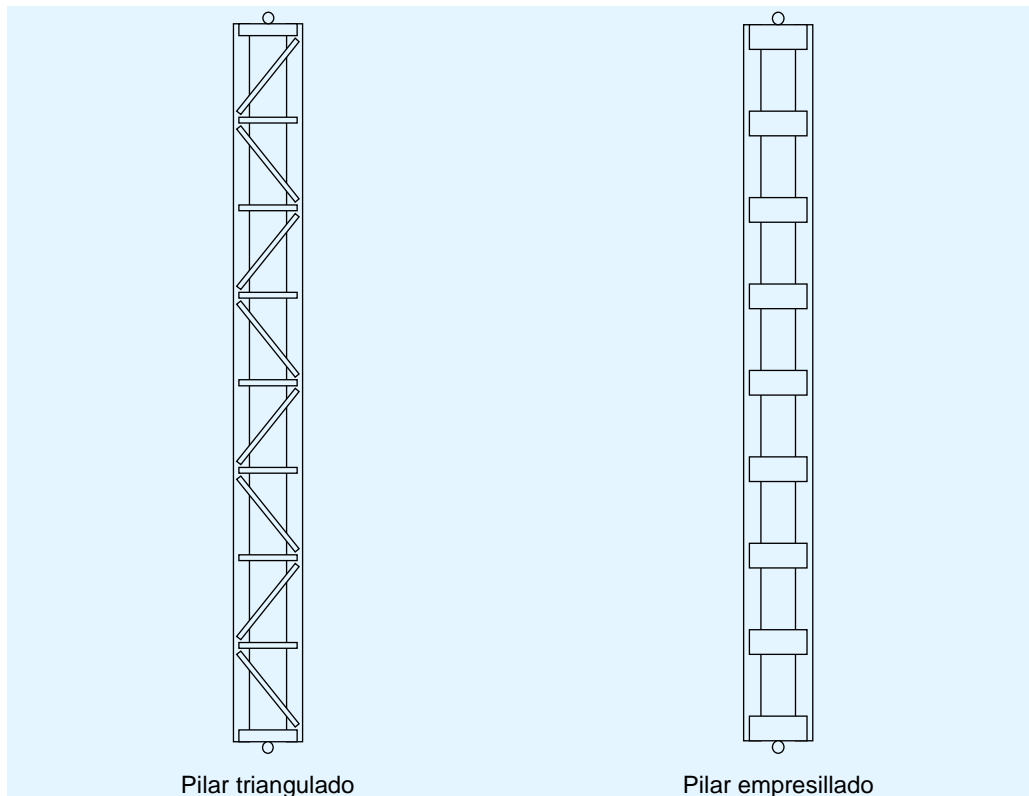


Figura 2.3 Pilares compuestos

La diferencia entre estos dos tipos de pilares compuestos radica en el modo de unión de los elementos del alma (elementos de enlace y presillas) y los cordones. El primer tipo contiene diagonales con los extremos articulados. El segundo tipo implica presillas con los extremos empotrados en los cordones que funcionan como un panel rectangular.

La inercia del pilar compuesto aumenta con la distancia entre los ejes de los cordones. Sin embargo, el beneficio del aumento de la rigidez queda contrarrestado por el aumento de peso y del coste de las uniones entre los elementos.

Los pilares compuestos proporcionan estructuras relativamente ligeras con gran inercia. De hecho, la posición de los cordones, alejada de la parte central de la sección compuesta, resulta muy ventajosa para producir una inercia elevada. Estos elementos están pensados para estructuras altas en las que los desplazamientos horizontales son limitados (por ejemplo, pilares que soporten las vigas carrileras de un puente grúa).

La resistencia axial de los pilares compuestos se ve fuertemente afectada por las deformaciones por cortadura. La imperfección por la curvatura inicial aumenta de manera significativa debido a la deformación por cortadura.

Es posible estudiar el comportamiento de los pilares compuestos mediante un modelo elástico simple.

2.2 Pilares compuestos triangulados

2.2.1 Aspectos generales

Las configuraciones de pilares compuestos triangulados que se pueden dar son muchas. Sin embargo, las disposiciones en forma de N y en forma de V son las que se utilizan con más frecuencia.



Reference to source of figure

Figura 2.4 Pilar compuesto triangulado en un edificio industrial

La selección de perfiles en U o perfiles en I para los elementos de los cordones proporciona varias ventajas. Los perfiles en I son más eficaces que los perfiles en U desde el punto de vista estructural y, por lo tanto, tiene potencialmente menos canto. Para pilares compuestos con una fuerza de compresión axial importante (por ejemplo, pilares que soporten puentes grúa), los perfiles en I o en H serán más adecuados que los perfiles en U, los cuales pueden resultar adecuados si se desea tener dos lados planos.

Para los cordones también se utilizan perfiles en T cortados del catálogo Europeo de perfiles para pilares. El alma de los perfiles en T debería tener suficiente canto para permitir una fácil soldadura de los elementos de enlace.

El uso de angulares en el alma del pilar compuesto permite utilizar uniones soldadas sin cartela, minimizando los costes de fabricación. Otros tipos de elementos requieren el uso de cartelas o una soldadura más compleja.

Los ejes centrales de los elementos del alma sometidos a compresión y a tracción no tienen por qué coincidir en el mismo punto de los ejes de los cordones. De hecho, los pilares enlazados con excentricidad en las uniones pueden ser tan eficaces como aquellos que no la tienen. Un aumento de la excentricidad no conlleva un aumento del peso del acero. A pesar de que las

uniones excéntricas requieren estar diseñadas para soportar los momentos locales, este diseño tiene diversas ventajas. Las uniones excéntricas proporcionan espacio adicional para la soldadura, reduciendo así la complejidad de fabricación. Además, la longitud reducida del cordón de compresión proporciona una mayor resistencia al pandeo y a flexión, lo que compensa parcialmente los momentos adicionales generados por la excentricidad de la unión. Para angulares simples, se recomienda que la excentricidad de la unión sea la menor posible.

2.2.2 Diversas geometrías de triangulación

La disposición en forma de N de los elementos de enlace, tal y como se muestra en la Figura 2.5(a), puede considerarse la configuración más eficaz, para estructuras típicas empleadas en edificios industriales. El alma de la disposición en forma de N está formada por elementos diagonales y montantes que confluyen en el mismo punto de los ejes de los cordones.

Esta disposición reduce la longitud de pandeo de los cordones de compresión y de los elementos diagonales. Se suele utilizar en estructuras que presentan una fuerza de compresión de gran magnitud.

La disposición en forma de V de los elementos de enlace aumenta la longitud de pandeo de los cordones comprimidos y de los elementos diagonales, lo cual conlleva una reducción de la resistencia al pandeo de los elementos. Esta disposición se utiliza en estructuras con una fuerza de compresión pequeña.

Las configuraciones en forma de X no se suelen utilizar en edificios, debido a su coste y a la complejidad de fabricación.

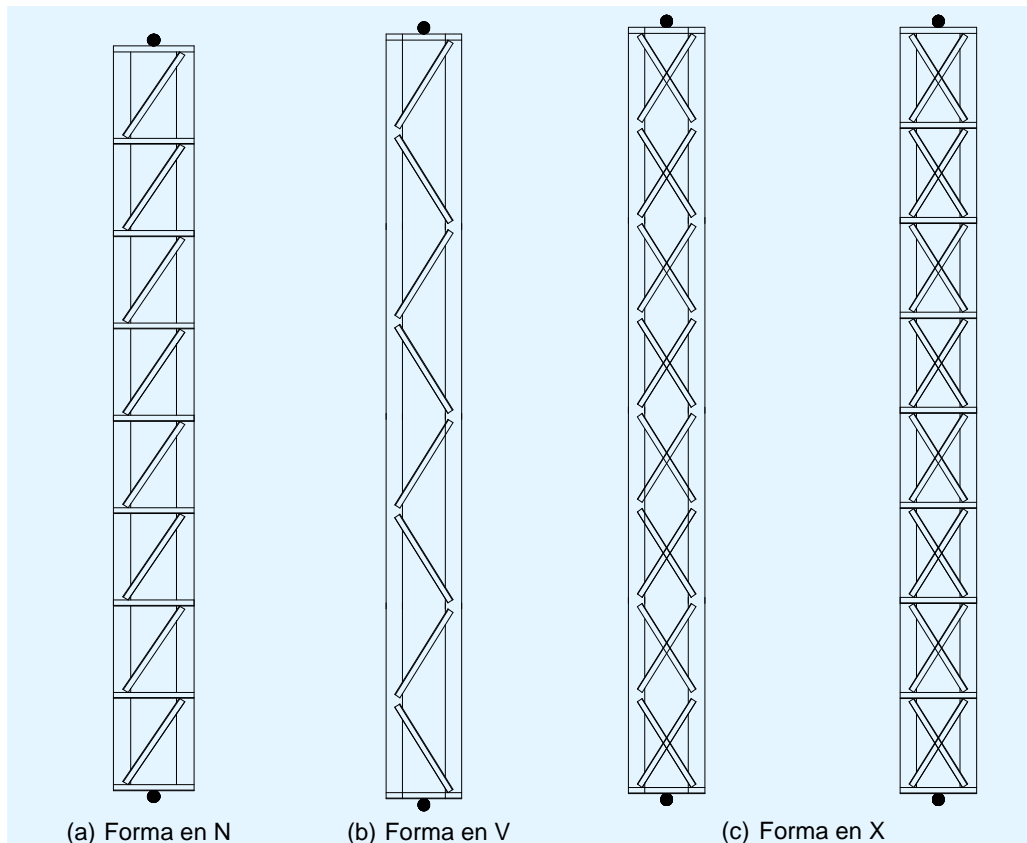


Figura 2.5 Diferentes disposiciones de los elementos de enlace

2.2.3 Detalles constructivos

Los pilares compuestos deben llevar dos sistemas de triangulación, en dos planos paralelos, uno a cada cara del pilar compuesto. Los sistemas de triangulación pueden estar dispuestos en correspondencia, es decir de forma que uno es la sombra del otro, o en oposición. Estas disposiciones se muestran en las Figuras 2.6(a) y (b) (apartado 6.4.2.2(1) de la norma EN 1993-1-1).

Cuando los elementos de enlace están dispuestos tal y como muestra la Figura 2.6(b), se deben tener en cuenta los efectos de torsión resultantes en el pilar. Los cordones deben estar diseñados para soportar la excentricidad adicional ocasionada por la flexión transversal, que puede influir de forma significativa en el tamaño de los perfiles que lo forman.

Los extremos de los sistemas de triangulación deberían estar dotados de paneles de cierre y enlace, en aquellos puntos en los que la triangulación se interrumpa y en uniones con otros elementos.

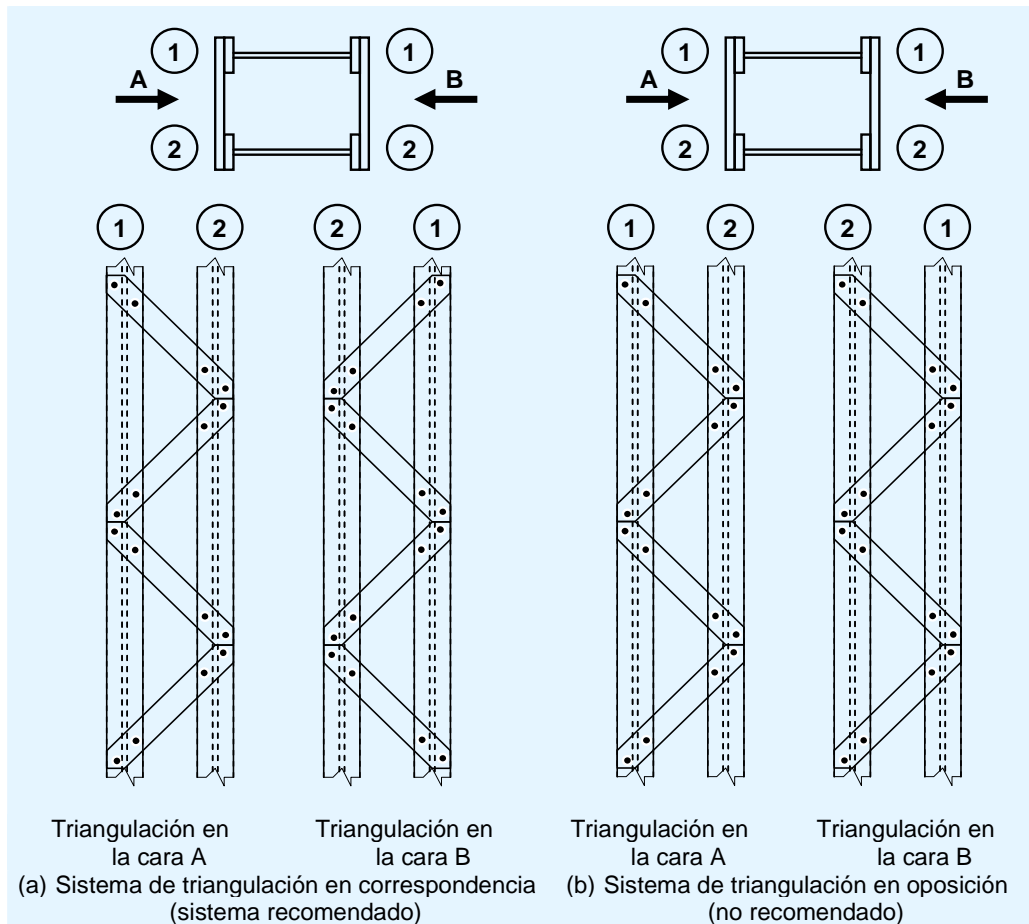


Figura 2.6 Sistemas de triangulación de un elemento compuesto con dos planos triangulados paralelos

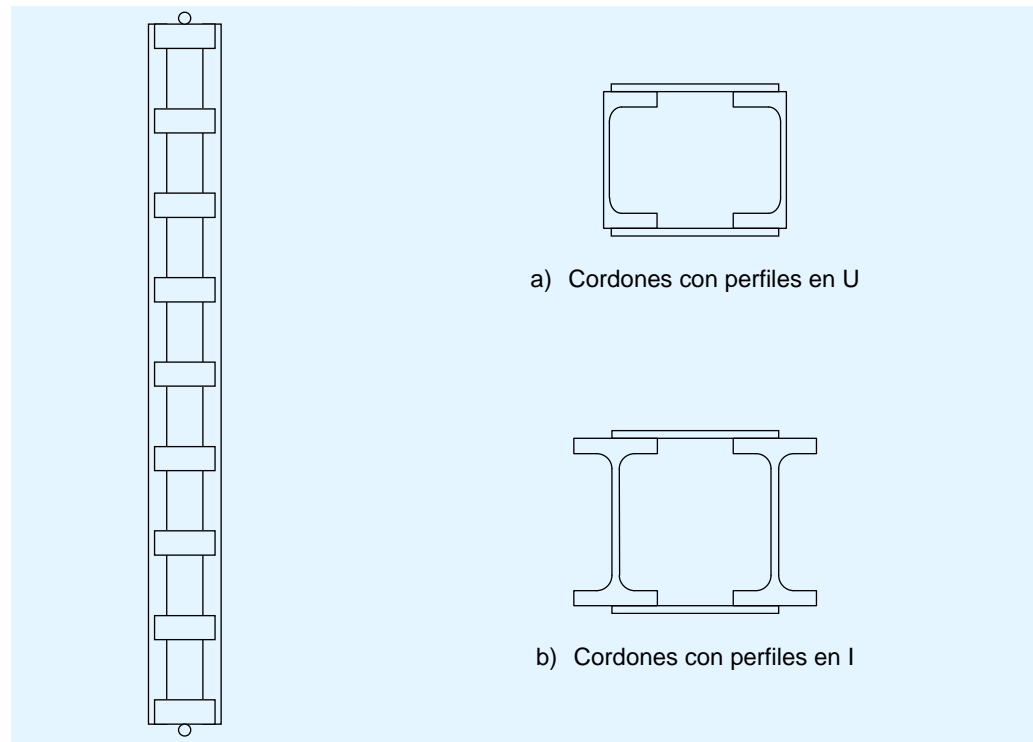
2.3 Pilares compuestos empresillados

Los pilares compuestos empresillados no son adecuados para las estructuras empleadas en edificios industriales. En ocasiones se utilizan como elementos estructurales aislados en condiciones específicas, en las que las fuerzas horizontales no son importantes.

Los perfiles en U o los perfiles en I se utilizan principalmente como cordones y los perfiles planos se emplean como presillas. Las uniones entre éstas y los cordones deben ser uniones rígidas.

Los pilares compuestos empresillados están compuestos por dos planos paralelos de presillas que están conectados a las alas de los cordones. El posicionamiento de las presillas debería ser el mismo en ambos planos. En ambos extremos del pilar compuesto debería haber refuerzos.

También debería haberlos en puntos intermedios en los que se apliquen cargas, y en aquellos puntos con arriostramiento lateral.



a) Cordones con perfiles en U

b) Cordones con perfiles en I

Figura 2.7 Pilares compuestos empesillados con dos tipos de cordones

3 CÁLCULO DETALLADO

3.1 Aspectos generales

La metodología de cálculo que se describe a continuación puede aplicarse para comprobar la resistencia de los distintos componentes de un elemento compuesto con los extremos articulados, en las combinaciones de ELU más críticas. El cálculo del esfuerzo axial, N_{Ed} , y el cálculo del momento flector, M_{Ed} , en el eje mayor del elemento compuesto tienen que haber sido determinados a partir de su análisis según la norma 1993-1-1^[1].

Esta metodología se aplica a los pilares compuestos en los que la triangulación o el empresillado están compuestos por módulos iguales con cordones paralelos. El número mínimo de módulos en un elemento es de tres.

La metodología se resume en el diagrama de flujo de la Figura 3.2 para pilares compuestos triangulados, y en la Figura 3.4 para los pilares compuestos empresillados. Además, la metodología se ilustra en el ejemplo resuelto del Anexo A.

3.2 Metodología de cálculo para pilares compuestos triangulados

3.2.1 Paso 1: Esfuerzo axial de compresión máximo en los cordones

Momento de inercia efectivo

El momento de inercia efectivo se calcula mediante la siguiente fórmula (apartado 6.4.2.1(4) de la norma EN 1993-1-1):

$$I_{\text{eff}} = 0,5 h_0^2 A_{\text{ch}}$$

donde:

h_0 es la distancia entre los centros de gravedad de los cordones

A_{ch} es el área de la sección transversal de un cordón

Rigidez frente a cortante

Para comprobar la estabilidad de un pilar compuesto triangulado, es preciso tener en cuenta las elongaciones elásticas de los elementos de enlace diagonales y de los montantes, con el fin de derivar la rigidez a cortante S_v . Las fórmulas para calcular la rigidez a cortante S_v se indican en la Tabla 3.1 para las distintas disposiciones de arriostramiento.

Imperfección de curvatura inicial

El pilar compuesto se considera un pilar con una imperfección local e_0 , tal y como se muestra en la Figura 3.1:

$$e_0 = L/500$$

donde:

L es la longitud del elemento compuesto.

Tabla 3.1 Rigidez a cortadura S_v de los pilares compuestos

Triangulación en N	Triangulación en V	Triangulación en K	Triangulación en X
$S_v = \frac{nEA_d a h_0^3}{d^3 \left[1 + \frac{A_d h_0^3}{A_d d^3} \right]}$	$S_v = \frac{nEA_d a h_0^2}{2d^3}$	$S_v = \frac{nEA_d a h_0^2}{d^3}$	$S_v = \frac{2nEA_d a h_0^2}{d^3}$
<p>n es el número de planos de enlace A_d es el área de un elemento de enlace diagonal A_v es el área de un montante d es la longitud del elemento de enlace diagonal</p>			

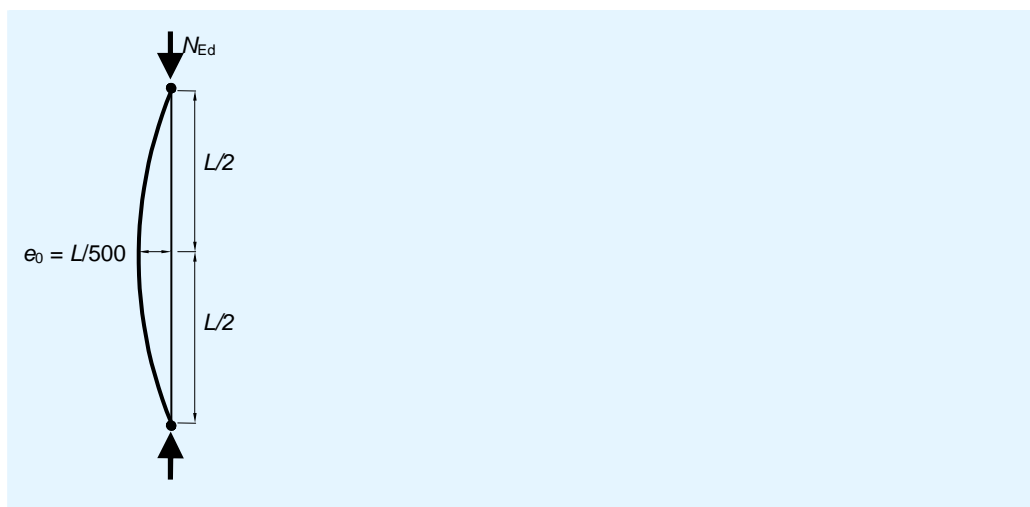


Figura 3.1 Imperfección local

Compresión axil máxima en los cordones

Es preciso llevar a cabo comprobaciones de los cordones utilizando las fuerzas de cálculo $N_{ch,Ed}$ derivadas de la compresión aplicada N_{Ed} y el momento flector M_{Ed} a media altura del pilar compuesto.

Para un elemento con dos cordones idénticos, la compresión de cálculo $N_{ch,Ed}$ se determina a partir de la siguiente expresión (apartado 6.4 de la norma EN 1993-1-1):

$$N_{ch,Ed} = \frac{N_{Ed}}{2} + \frac{M_{Ed} h_0 A_{ch}}{2 I_{eff}}$$

donde:

M_{Ed} es el momento flector máximo a media altura del pilar compuesto, incluida la imperfección equivalente e_0 y los efectos de segundo orden:

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

N_{cr} es el esfuerzo axial crítico elástico efectivo del pilar compuesto:

$$N_{cr} = \frac{\pi^2 EI_{eff}}{L^2}$$

N_{Ed} es el valor de cálculo del esfuerzo axial de compresión aplicado al pilar compuesto

M_{Ed}^I es el valor de cálculo del momento máximo a media altura del pilar compuesto sin efectos de segundo orden.

3.2.2 Paso 2: Resistencia al pandeo de los cordones en el plano

Clasificación de la sección transversal de los cordones

La clasificación de la sección transversal del cordón se debe llevar a cabo según la Tabla 5.2 de la norma EN 1993-1-1.

Resistencia al pandeo de un cordón en el eje z-z

Hay que comprobar la resistencia del cordón al pandeo por flexión en el plano del elemento compuesto, es decir, sobre el eje menor de la sección transversal del cordón (eje z-z). La verificación del pandeo se lleva a cabo mediante la siguiente ecuación (apartado 7.1(1) de la norma EN 1993-1-1):

$$\frac{N_{ch,Ed}}{N_{b,z,Rd}} \leq 1$$

donde:

$N_{b,z,Rd}$ es la resistencia de cálculo a pandeo del cordón en el eje menor de la sección transversal, calculada según lo indicado en el apartado 6.3.1 de la norma EN 1993-1-1

En el apartado 3.4 de esta guía se proporciona información sobre la longitud de pandeo L_{ch} que se debe considerar.

3.2.3 Paso 3: Resistencia al pandeo de los cordones fuera del plano

Es necesario tener en cuenta el pandeo fuera del plano del elemento, es decir, el pandeo en el eje mayor de la sección transversal de los cordones (eje y-y). La comprobación de pandeo se lleva a cabo mediante la siguiente fórmula:

$$\frac{N_{ch,Ed}}{N_{b,y,Rd}} \leq 1$$

donde:

$N_{b,y,Rd}$ es la resistencia de cálculo a pandeo del cordón en el eje mayor de la sección transversal, calculada según lo indicado en el apartado 6.3.1 de la norma EN 1993-1-1.

La longitud del pandeo depende de las condiciones de soporte del elemento compuesto para pandeo fuera del plano. En los extremos del elemento, los soportes suelen considerarse como articulados. Sin embargo, puede haber coacciones laterales intermedias.

3.2.4 Paso 4: Esfuerzo cortante máximo

La comprobación de los elementos del alma de un pilar compuesto con los extremos articulados se lleva a cabo en el panel de extremo considerando el esfuerzo cortante máximo, tal y como se describe a continuación.

En el caso de un elemento compuesto sometido únicamente a esfuerzo axial de compresión, la expresión del esfuerzo cortante es:

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

donde:

M_{Ed} es el momento flector calculado según el paso 2, tomando $M_{Ed}^I = 0$

En el caso de un elemento compuesto sometido únicamente a una carga uniformemente distribuida, la expresión del esfuerzo cortante es:

$$V_{Ed} = 4 \frac{M_{Ed}}{L}$$

donde:

M_{Ed} es el momento flector máximo debido a una carga uniformemente distribuida.

Los pilares compuestos suelen estar sometidos a una combinación de compresión N_{Ed} y carga uniformemente distribuida. Por ello, el coeficiente varía entre π/L y $4/L$. Para simplificarlo, el esfuerzo cortante puede calcularse mediante interpolación lineal:

$$V_{Ed} = \frac{1}{L} \left(4 - (4 - \pi) \frac{e_o N_{Ed}}{e_o N_{Ed} + M_{Ed}^I} \right) M_{Ed}$$

donde:

M_{Ed} es el momento flector máximo calculado en el paso 2. El momento flector M_{Ed}^I es el momento máximo debido a la carga distribuida.

3.2.5 Paso 5: Resistencia al pandeo de los elementos del alma en compresión

Esfuerzo axial máximo de compresión

El esfuerzo axial máximo de compresión, N_{Ed} en los elementos del alma adyacentes a los extremos se deriva del esfuerzo cortante V_{Ed} .

Clasificación de los elementos del alma en compresión

La clasificación de la sección transversal del elemento del alma debe ser llevada a cabo según la Tabla 5.2 de la norma EN 1933-1-1.

Resistencia al pandeo

La comprobación del pandeo de los elementos del alma debería llevarse a cabo en el eje menor de la sección transversal, mediante el siguiente criterio:

$$\frac{N_{ch,Ed}}{N_{b,Rd}} \leq 1$$

donde, $N_{b,Rd}$ es el valor de cálculo de resistencia a pandeo del elemento del alma respecto al eje menor de la sección transversal, calculada según lo indicado en el apartado 6.3.1 de la norma EN 1993-1-1.

En el apartado 3.4 se puede consultar más información sobre la longitud de pandeo de los elementos del alma.

3.2.6 Paso 6: Resistencia de los elementos del alma sometidos a tracción

La resistencia de la sección transversal de los elementos del alma debería comprobarse siguiendo lo indicado en el apartado 6.2.3 de la norma EN 1993-1-1 en lo que a la tracción se refiere, y que se deriva del esfuerzo cortante máximo V_{Ed} , tal y como se describe en el paso 3.

3.2.7 Paso 7: Resistencia de las uniones de los elementos de enlace diagonales con los cordones

La resistencia de las uniones entre los elementos del alma y los cordones tiene que comprobarse en función de lo especificado en la norma EN 1993-1-8^[2]. Esta comprobación depende del tipo de unión (unión atornillada o unión soldada). Esta comprobación debería realizarse utilizando los esfuerzos internos calculados en los pasos anteriormente citados:

El ejemplo resuelto del Anexo A incluye la comprobación detallada de una unión soldada.

3.2.8 Diagrama de flujo

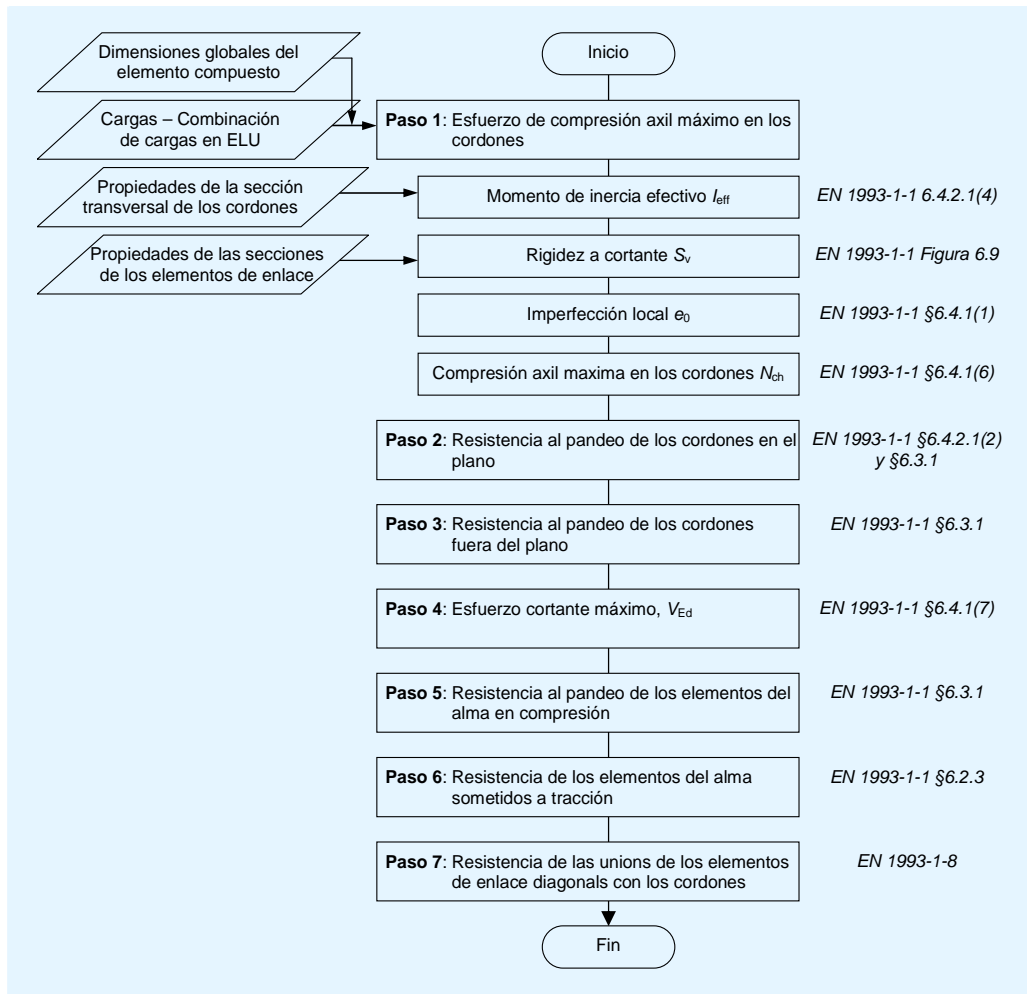


Figura 3.2 Diagrama de flujo de la metodología de cálculo para pilares compuestos triangulados

3.3 Metodología de cálculo para pilares compuestos empresillados

3.3.1 Paso 1: Esfuerzo axil de compresión máximo en los cordones

Momento de inercia efectivo

El momento de inercia efectivo se calcula mediante la siguiente fórmula (apartado 6.4.3.1(3) de la norma EN 1993-1-1):

$$I_{\text{eff}} = 0,5 h_0^2 A_{\text{ch}} + 2\mu I_{\text{ch}}$$

donde:

h_0 es la distancia entre los centros de gravedad de los cordones

A_{ch} es el área de la sección transversal de un cordón

I_{ch} es el momento de inercia en el plano del cordón.

μ es el factor de eficiencia según la Tabla 3.2.

Tabla 3.2 Factor de eficiencia (Tabla 6.8 de la norma EN 1993-1-1)

Criterio	Factor de eficiencia μ
$\lambda \geq 150$	0
$75 < \lambda < 150$	$2 - \lambda/75$
$\lambda \leq 75$	1,0
donde: $\lambda = \frac{L}{i_0}$ $i_0 = \sqrt{\frac{I_t}{2A_{ch}}}$ $I_t = 0,5h_0^2 A_{ch} + 2I_{ch}$	

Rigidez a cortante

Para comprobar la estabilidad de un pilar compuesto empresillado, es preciso tener en cuenta las deformaciones elásticas de las presillas y de los cordones, con el fin de derivar la rigidez a cortante S_v , mediante la siguiente fórmula (apartado 6.4.3.1(2) de la norma EN 1993-1-1).

$$S_v = \frac{24EI_{ch}}{a^2 \left[1 + \frac{2I_{ch}}{nI_b} \frac{h_0}{a} \right]} \leq \frac{2\pi^2 EI_{ch}}{a^2}$$

Pero S_v no debería ser superior a $\frac{2\pi^2 EI_{ch}}{a^2}$

donde:

- a es la distancia entre presillas
- n es el número de planos de enlaces
- I_b es el momento de inercia de la presilla en el plano.

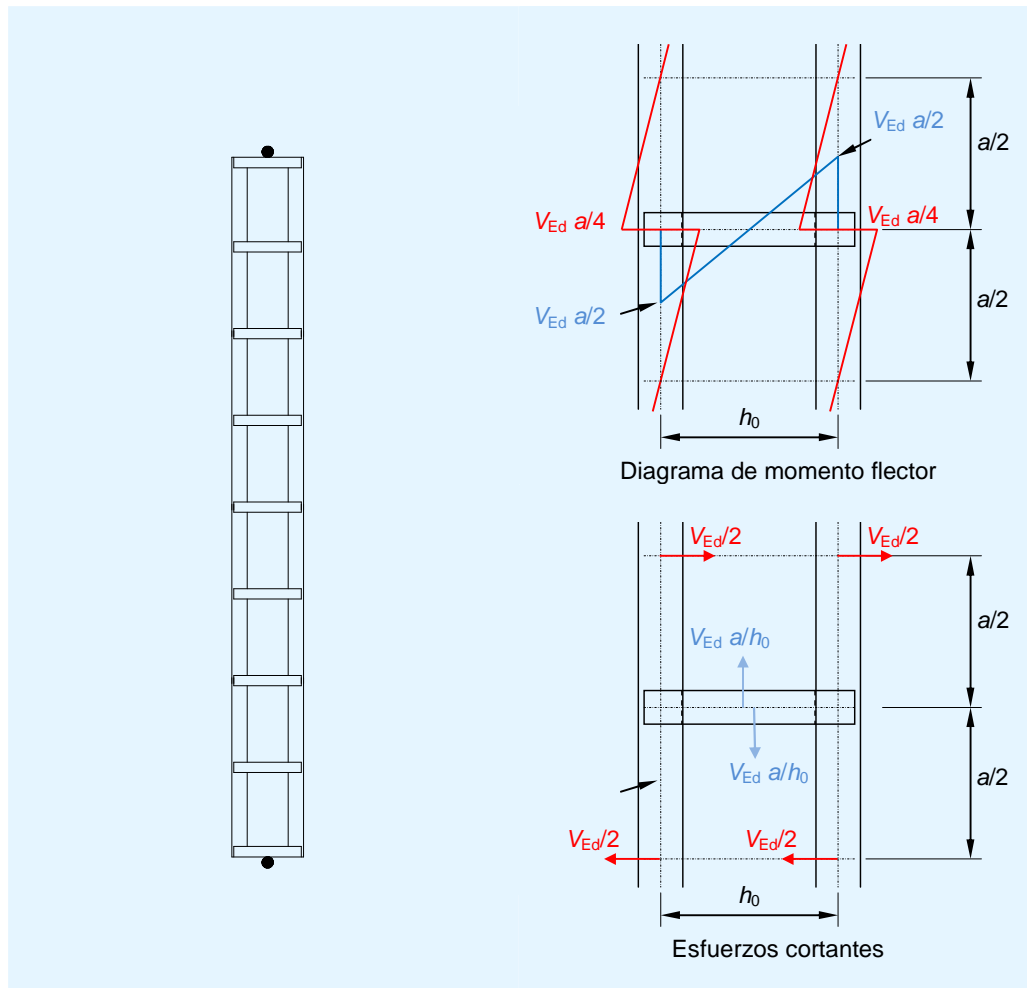


Figura 3.3 Momentos flectores y esfuerzos cortantes en un panel de un pilar compuesto empesillado

Imperfección de curvatura inicial

La imperfección local e_0 es:

$$e_0 = L/500$$

donde:

L es la longitud del elemento mixto.

Esfuerzo axial máximo de compresión en los cordones

La compresión axial máxima $N_{ch,Ed}$ en los cordones se calcula a partir de la expresión dada en el apartado 3.2.1.

3.3.2 Paso 2: Resistencia al pandeo de los cordones en el plano

Clasificación de la sección transversal de los cordones

La clasificación de la sección transversal del cordón debe ser llevada a cabo según la Tabla 5.2 de la norma EN 1933-1-1.

Resistencia al pandeo de un cordón en el eje z-z

Debe comprobarse la resistencia del cordón a flexión y a compresión axial, así como el pandeo en el plano del elemento compuesto, por ejemplo, en el eje

menor de la sección transversal del cordón (eje z-z), según lo indicado en el apartado 6.3.3 de la norma EN 1993-1-1. En función de la geometría del elemento compuesto empresillado, las comprobaciones se deberían realizar en diferentes segmentos del cordón:

- En el panel de extremo con esfuerzo cortante máximo y, por lo tanto, momento flector local máximo
- En un panel situado a media altura cuando el esfuerzo axial de compresión es el máximo del cordón.

3.3.3 Paso 3: Resistencia al pandeo de los cordones fuera del plano

La comprobación de la resistencia al pandeo fuera del plano se lleva a cabo mediante el siguiente criterio:

$$\frac{N_{ch,Ed}}{N_{b,y,Rd}} \leq 1$$

donde:

$N_{b,y,Rd}$ es la resistencia de cálculo al pandeo del cordón en el eje mayor de la sección transversal, calculada según lo indicado en el apartado 6.3.1 de la norma EN 1993-1-1.

La longitud de pandeo depende de las condiciones de soporte del elemento compuesto para pandeo fuera del plano. En los extremos del elemento, los soportes suelen considerarse como articulados. Sin embargo, puede haber coacciones laterales intermedias.

3.3.4 Paso 4: Esfuerzo cortante

El esfuerzo cortante V_{Ed} se calcula a partir del momento flector máximo, igual que para el elemento compuesto triangulado, según el apartado 3.2.4 de esta guía.

3.3.5 Paso 5: Resistencia de las presillas

Tal y como se indica en la Figura 3.3, las presillas deberían estar diseñadas para resistir el esfuerzo cortante:

$$V_{Ed} \frac{a}{h_0}$$

Y el momento flector máximo:

$$M_{Ed} = \frac{V_{Ed} a}{2}$$

La clasificación de la sección transversal debería determinarse de conformidad con la Tabla 5.2 de la EN 1993-1-1, para flexión pura. La comprobación de la resistencia de la sección transversal debería realizarse mediante los criterios adecuados indicados en el apartado 6.2 de la norma EN 1993-1-1.

3.3.6 Paso 6: Resistencia de las uniones presilla-cordón

La comprobación de la resistencia de las uniones entre las presillas y los cordones se lleva a cabo según la norma EN 1993-1-8. Esta verificación depende del detalle de la unión (atornillada o soldada) y se realiza utilizando los esfuerzos internos calculados en los pasos anteriormente citados

3.3.7 Diagrama de flujo

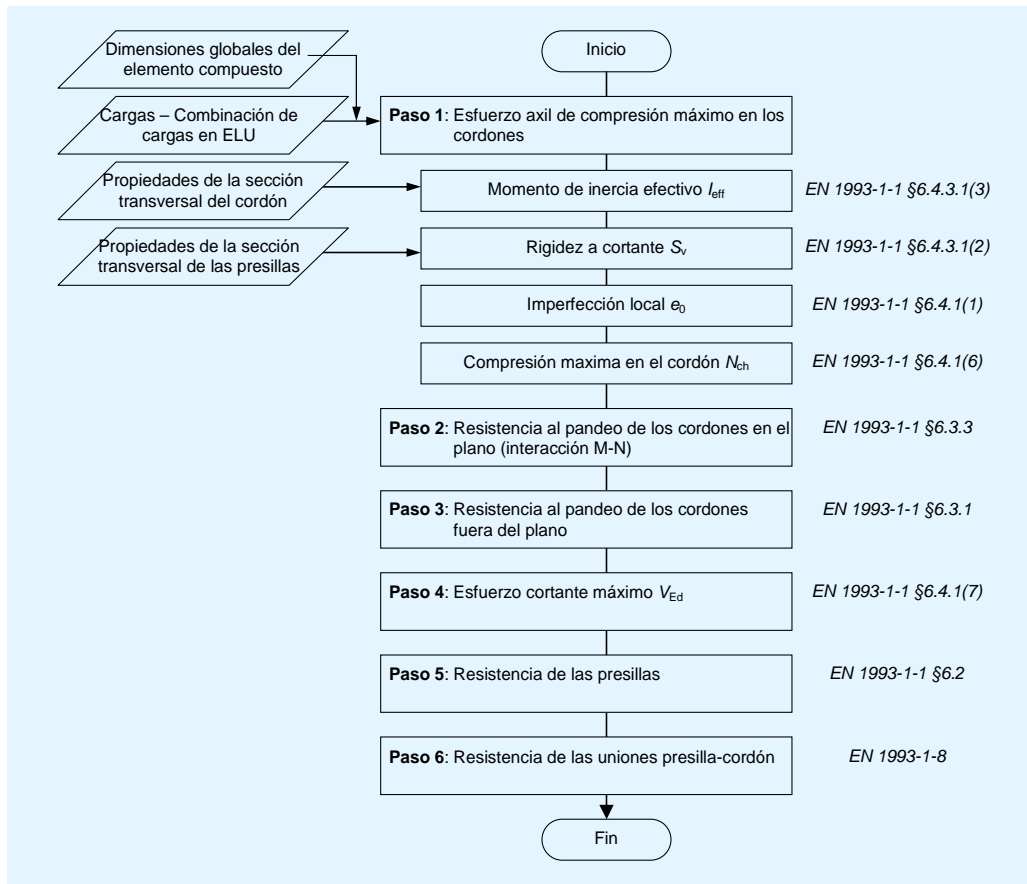


Figura 3.4 Diagrama de flujo de la metodología de cálculo para pilares compuestos empresillados

3.4 Longitud de pandeo

3.4.1 Elementos de compresión triangulados

Cordones

De conformidad con el Anexo BB de la EN 1993-1-1, la longitud de pandeo L_{cr} del elemento del cordón de una sección laminada en I o en H de un pilar compuesto es de $0,9L$ para el pandeo en el plano y de $1,0L$ para el pandeo fuera del plano. Estos valores pueden reducirse si esta medida se justifica mediante un análisis detallado.

L es la distancia en un plano dado entre dos puntos adyacentes en los que un elemento está coaccionado contra el desplazamiento en ese plano, o entre uno de esos puntos y el extremo del elemento.

Elementos del alma

Los elementos más utilizados en el alma son angulares.

Siempre que los cordones proporcionen una cierta coacción a los extremos de las diagonales en compresión, formados por angulares y que las uniones extremas aporten una cierta fijación (al menos dos tornillos, en caso de estar atornillados), la longitud de pandeo L_{cr} para el pandeo en el plano es $0,9L$, donde L es la longitud del sistema entre las uniones.

Cuando se utiliza un único tornillo en las uniones extremas de los elementos del alma formados por angulares, es preciso tener en cuenta la excentricidad y en este caso, la longitud de pandeo L_{cr} es igual a la longitud del sistema L .

La esbeltez efectiva $\bar{\lambda}_{eff}$ de las diagonales formadas por angulares se da en el apartado BB.1.2 de la norma EN 1993-1-1, tal y como sigue:

$$\bar{\lambda}_{eff} = 0,35 + 0,7\bar{\lambda}$$

donde:

$\bar{\lambda}$ es la esbeltez adimensional definida en la norma EN 1993-1-1, apartado § 6,3(1).

Para diagonales que no sean angulares, puede calcularse la resistencia al pandeo en el plano con una longitud de pandeo inferior a la del sistema y con la esbeltez adimensional definida en el apartado 6.3 de la norma EN 1993-1-1, siempre y cuando los cordones proporcionen una cierta coacción en los extremos y las uniones extremas proporcionen la fijación adecuada (al menos con dos tornillos, si están atornillados). En la práctica, la longitud de pandeo L_{cr} de un perfil laminado es igual a la distancia entre las uniones para el pandeo en el plano y para el pandeo fuera del plano.

3.4.2 Elementos de compresión empresillados

Para simplificar el cálculo, se ignora cualquier restricción que pudiera darse en los extremos de los pilares y la longitud de pandeo de los cordones puede tomarse como la longitud del sistema.

REFERENCIAS

- 1 EN 1993-1-1:2005 Eurocode 3 Proyecto de estructuras de acero. Reglas generales y reglas para edificios
- 2 EN 1993-1-8:2005 Eurocode 3 Eurocódigo 3 – Proyecto de estructuras de acero. Diseño de unions

APÉNDICE A

Ejemplo resuelto: Cálculo de un pilar compuesto triangulado

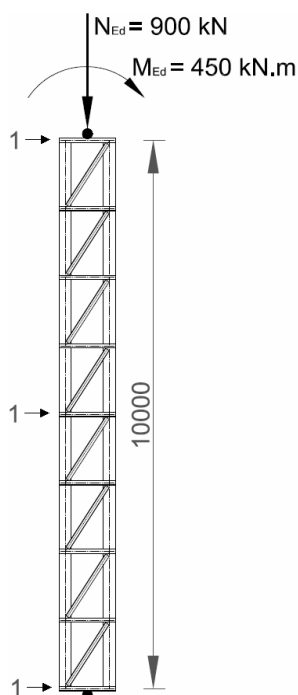
1. Introducción

En este ejemplo práctico se trata la comprobación de un pilar compuesto típico sometido a esfuerzo axial de compresión y momento flector. Los cálculos se llevan a cabo de conformidad con la norma EN 1993-1-1. No se tiene en cuenta ningún Anexo nacional y los cálculos hacen uso de los valores recomendados en la norma EN 1993-1-1.

Los cálculos se realizan siguiendo la metodología de diseño indicada en el apartado 3.2 de la presente guía.

2. Descripción

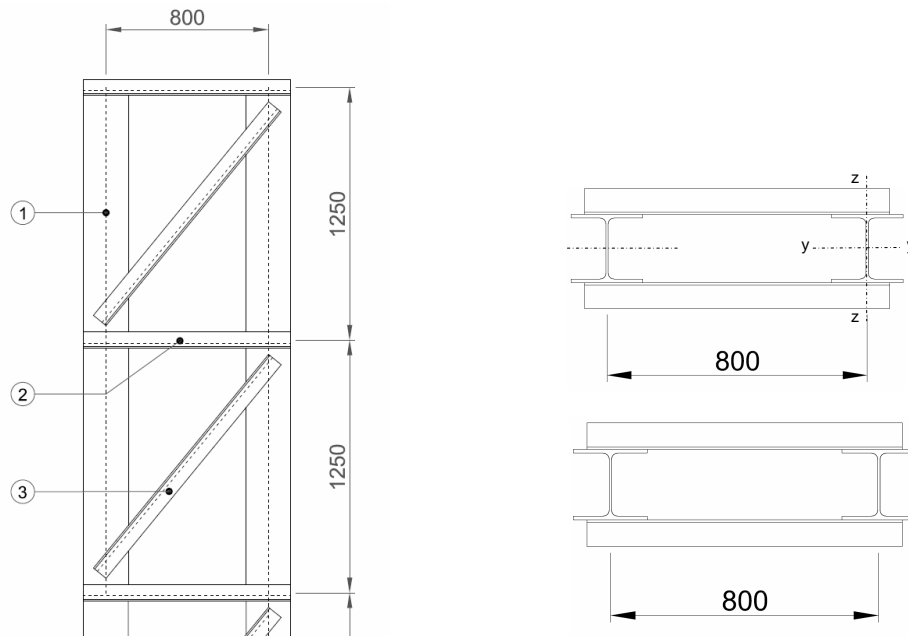
La geometría del pilar compuesto se describe en la Figura A.1 y en la Figura A.2. En la combinación de cargas en ELU más desfavorable, se aplica en la parte superior del pilar un esfuerzo axial y un momento flector en el eje mayor de la sección compuesta.



1 Coacciones laterales

Figura A.1 Modelo de cálculo

El pilar compuesto está coaccionado contra el pandeo fuera del plano en ambos extremos y a media altura



- 1 Cordones HEA 200
- 2 Montantes Angulares L 90 x 9
- 3 Diagonales Angulares L 80 x 8

Figura A.2 Geometría del pilar compuesto

Propiedades de la sección

Hay que tener en cuenta que el eje y-y y el eje z-z se refieren al eje mayor y al eje menor, respectivamente, de la sección transversal de cada elemento.

Cordones: HEA 220 – S355

$$A_{ch} = 64,3 \text{ cm}^2$$

$$i_y = 9,17 \text{ cm} \quad i_z = 5,51 \text{ cm}$$

Diagonales: Angulares de lados iguales L 90 × 90 × 9 – S355

$$A_d = 15,52 \text{ cm}^2$$

$$i_y = i_z = 2,73 \text{ cm} \quad i_u = 3,44 \text{ cm} \quad i_v = 1,75 \text{ cm}$$

Montantes: Angulares de lados iguales L 80 × 80 × 8 – S355

$$A_v = 12,27 \text{ cm}^2$$

$$i_y = i_z = 2,43 \text{ cm} \quad i_u = 3,06 \text{ cm} \quad i_v = 1,56 \text{ cm}$$

Título	APÉNDICE A. Ejemplo resuelto: Cálculo de un pilar compuesto triangulado	3 de 3
<p>3. Paso 1: Esfuerzo axial de compresión máximo en los cordones</p> <p>3.1. El momento de inercia efectivo</p> <p>El momento de inercia de una sección compuesta respecto al eje mayor se calcula mediante la siguiente fórmula:</p> $I_{\text{eff}} = 0,5 h_0^2 A_{\text{ch}}$ <p>donde:</p> <ul style="list-style-type: none"> A_{ch} es el área de la sección transversal de un cordón h_0 es la distancia entre los centros de gravedad de los cordones <p>El valor del momento de inercia es:</p> $I_{\text{eff}} = 0,5 \times 80^2 \times 64,3 = 205800 \text{ cm}^4$ <p>3.2. Rigidez a cortante</p> <p>Para triangulación en forma de N, la expresión de la rigidez a cortante es la siguiente:</p> $S_v = \frac{nEA_d a h_0^2}{d^3 \left[1 + \frac{A_d h_0^3}{A_v d^3} \right]}$ <p>donde:</p> <ul style="list-style-type: none"> $d = \sqrt{h_0^2 + a^2} = \sqrt{0,8^2 + 1,25^2} = 1,48 \text{ m}$ n es el número de planos de triangulación ($n = 2$) A_d es el área de la sección transversal de los elementos de enlace A_v es el área de la sección transversal de los montantes <p>Por lo tanto:</p> $S_v = \frac{2 \times 210000 \times 1552 \times 1250 \times 800^2}{1480^3 \left[1 + \frac{1552 \times 800^3}{1227 \times 1480^3} \right]} \times 10^{-3}$ $S_v = 134100 \text{ kN}$ <p>3.3. Imperfección local</p> <p>La imperfección local se considera igual a:</p> $e_0 = L/500 = 10000/500 = 20 \text{ mm}$		<p>EN 1993-1-1 § 6.4.2.1</p> <p>EN 1993-1-1 Figura 6.9</p> <p>EN 1993-1-1 § 6.4.1(1)</p>

Título	APÉNDICE A. Ejemplo resuelto: Cálculo de un pilar compuesto triangulado	4 de 4
<p>3.4. Esfuerzo axial de compresión máximo en los cordones</p> <p>El esfuerzo axial de compresión máximo en los cordones, $N_{ch,Ed}$, se determina a media altura del pilar compuesto, de la siguiente manera:</p> $N_{ch,Ed} = \frac{N_{Ed}}{2} + \frac{M_{Ed} h_0 A_{ch}}{2I_{eff}}$ <p>donde:</p> $M_{Ed} = \frac{N_{Ed} e_0 + M_{Ed}^I}{1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr}} - \frac{N_{Ed}}{S_v}}$ <p>N_{cr} es el esfuerzo axial crítico elástico efectivo del pilar compuesto:</p> $N_{cr} = \frac{\pi^2 EI_{eff}}{L^2} = \frac{\pi^2 \times 210000 \times 205800 \times 10^4}{10000^2} \times 10^{-3} = 42650 \text{ kN}$ <p>El momento flector máximo, incluida la imperfección local y los efectos de segundo orden, es:</p> $M_{Ed} = \frac{900 \times 0,02 + 450}{1 - \frac{900}{42650} - \frac{900}{134100}} = 481,4 \text{ kNm}$ <p>En el cordón más comprimido, el esfuerzo axial es:</p> $N_{ch,Ed} = \frac{900}{2} + \frac{481,4 \times 0,8 \times 64,34 \times 10^{-4}}{2 \times 205800 \times 10^{-8}} = 1052 \text{ kN}$ <p>4. Paso 2: Resistencia al pandeo de los cordones en el plano</p> <p>4.1. Clasificación de la sección transversal del cordón</p> <p>$\varepsilon = 0,81$ para grado de acero S355</p> <p>Esbeltez del ala: $c/t_f = 88,5 / 11 = 8,05 < 10 \quad \varepsilon = 8,10 \quad \text{Clase 2}$</p> <p>Esbeltez del alma: $c/t_w = 152 / 7 = 21,7 < 33 \quad \varepsilon = 26,73 \quad \text{Clase 1}$</p> <p>Así, sometida a compresión pura, la sección transversal es Clase 2.</p> <p>4.2. Resistencia al pandeo de un cordón</p> <p>La resistencia al pandeo del cordón más comprimido se comprueba según la norma EN 1993-1-1 § 6.3.1 para el pandeo en el eje menor de la sección transversal, es decir, el eje z-z.</p> <p>La longitud de pandeo de un elemento con perfil en H laminado en caliente puede tomarse como igual a $0,9 a$ para el pandeo en el plano, donde a es la longitud del sistema entre dos nodos del pilar compuesto.</p>		EN 1993-1-1 § 6.4.1(6)

Título	APÉNDICE A. Ejemplo resuelto: Cálculo de un pilar compuesto triangulado	6 de 6
<p>El criterio de resistencia es:</p> $\frac{N_{ch,Ed}}{N_{b,z,Rd}} = \frac{1052}{2203} = 0,477 < 1 \quad \text{OK}$ <p>5. Paso 3: Resistencia al pandeo de los cordones fuera del plano</p> <p>El pilar compuesto está articulado en ambos extremos y está coaccionado lateralmente a media altura. Por ello, la longitud de pandeo en el eje mayor de los cordones es igual a:</p> $L_{cr,y} = L/2 = 10000/2 = 5000 \text{ mm}$ <p>La esbeltez es:</p> $\lambda_y = \frac{L_{cr,y}}{i_y}$ <p>donde</p> <p>i_y es el radio de giro de la sección transversal principal, respecto al eje mayor.</p> <p>Por lo tanto:</p> $\lambda_y = \frac{L_{cr,y}}{i_y} = \frac{5000}{91,7} = 54,53$ $\lambda_1 = 93,9 \varepsilon = 76,06$ <p>La esbeltez no dimensional se consigue a través de:</p> $\bar{\lambda}_y = \frac{\lambda_y}{\lambda_1} = \frac{54,53}{76,06} = 0,717$ <p>Utilizando la curva de pandeo b para el pandeo en el eje mayor, y para los siguiente parámetros:</p> <p>Grado de acero S355</p> $h/b < 1,2$ $t_f < 100 \text{ mm}$ <p>Se selecciona un coeficiente de imperfección: $\alpha_y = 0,34$</p> <p>El coeficiente de reducción $\chi_{y,z}$ puede calcularse a partir de las siguientes fórmulas:</p> $\phi_y = 0,5 \left[1 + \alpha_y (\bar{\lambda}_y - 0,2) + \bar{\lambda}_y^2 \right] = 0,5 \left[1 + 0,34 \times (0,717 - 0,2) + 0,717^2 \right] = 0,845$ $\chi_y = \frac{1}{\phi_y + \sqrt{\phi_y^2 + \bar{\lambda}_y^2}} = \frac{1}{0,845 + \sqrt{0,845^2 - 0,717^2}} = 0,774$		
		EN 1993-1-1 § 6.3.1.2(1)

La resistencia de cálculo a pandeo es igual a:

$$N_{b,y,Rd} = \frac{\chi_y A_{ch} f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{0,774 \times 6430 \times 355}{1,0} \times 10^{-3} = 1767 \text{ kN}$$

El criterio de resistencia es:

$$\frac{N_{ch,Ed}}{N_{b,y,Rd}} = \frac{1052}{1767} = 0,595 < 1 \quad \text{OK}$$

6. Paso 4: Esfuerzo cortante máximo

Para determinar el esfuerzo axial de compresión máximo en los elementos diagonales de los paneles extremos del pilar compuesto, es necesario conocer primero el cortante al que está sometido el pilar. El esfuerzo cortante puede evaluarse mediante la siguiente fórmula:

$$V_{Ed} = \frac{1}{L} \left(4 - (4 - \pi) \frac{e_0 N_{Ed}}{e_0 N_{Ed} + M_{Ed}^I} \right) M_{Ed}^{II}$$

donde:

$$L = 10 \text{ m}$$

$$e_0 = 0,02 \text{ m}$$

$$N_{Ed} = 900 \text{ kN}$$

$$M_{Ed}^I = 450 \text{ kNm}$$

$$M_{Ed}^{II} = 482 \text{ kNm}$$

Por lo tanto:

$$V_{Ed} = \frac{1}{10} \left(4 - (4 - \pi) \frac{0,02 \times 900}{0,02 \times 900 + 450} \right) \times 482 = 191,2 \text{ kN}$$

7. Paso 5: Resistencia al pandeo de los elementos del alma en compresión

7.1. Elementos diagonales

7.1.1. Esfuerzo axial de compresión máximo

La expresión del esfuerzo axial de compresión $N_{d,Ed}$ en los elementos diagonales se deriva del esfuerzo cortante, de la siguiente manera:

$$N_{d,Ed} = \frac{V_{Ed} \cos \varphi}{n} = \frac{V_{Ed} d}{n h_0}$$

donde:

$$h_0 = 800 \text{ mm}$$

$$d = 1480 \text{ mm}$$

$$n \text{ es el número de planos de triangulación: } n = 2$$

Título	APÉNDICE A. Ejemplo resuelto: Cálculo de un pilar compuesto triangulado	8 de 8
<p>entonces:</p> $N_{d,Ed} = \frac{191,2 \times 1480}{2 \times 800} = 176,86 \text{ kN}$ <p>7.1.2. Clasificación de un elemento diagonal sometido a compresión</p> $h/t = 90 / 9 = 10 < 15 \varepsilon = 12,15$ $(b+h) / (2t) = (90+90) / (2 \times 9) = 10 > 11,5 \varepsilon = 9,31 \text{ Clase 4}$ <p>A pesar de que la sección transversal es de clase 4, de conformidad con la hoja 3, de la tabla 5.2 de la norma EN 1993-1-1, el cálculo del área de la sección efectiva no conduce a ninguna reducción. El área de la sección es, por lo tanto, plenamente efectiva y el cálculo es el mismo que el de la sección de la clase 3.</p> <p>7.1.3. Resistencia al pandeo de un elemento diagonal</p> <p>La esbeltez adimensional puede calcularse de conformidad con el apartado BB.1.2 de la norma EN 1993-1-1 siempre y cuando los elementos diagonales estén soldados en ambos extremos y los cordones sean lo suficientemente rígidos para asegurar la fijación.</p> <p>Esbeltez en el eje menor:</p> $\lambda_v = \frac{d}{i_v} = \frac{1480}{17,5} = 84,57$ <p>Esbeltez adimensional</p> $\bar{\lambda}_v = \frac{\lambda}{93,9\varepsilon} = \frac{84,57}{93,9 \times 0,81} = 1,112$ <p>Esbeltez adimensional efectiva</p> $\bar{\lambda}_{eff,v} = 0,35 + 0,7\bar{\lambda}_v = 0,35 + 0,7 \times 1,112 = 1,128$ <p>Utilizando la curva de pandeo b para determinar el coeficiente de reducción, se obtiene un coeficiente de imperfección igual a:</p> $\alpha_v = 0,34$ <p>Por lo tanto:</p> $\phi_v = 0,5 \left[1 + \alpha(\bar{\lambda}_{eff,v} - 0,2) + \bar{\lambda}_{eff,v}^2 \right] = 0,5 \times \left[1 + 0,34 \times (1,128 - 0,2) + 1,128^2 \right] = 1,294$ $\chi_v = \frac{1}{\phi_v + \sqrt{\phi_v^2 + \bar{\lambda}_{eff,v}^2}} = \frac{1}{1,294 + \sqrt{1,294^2 - 1,128^2}} = 0,519$ <p>La resistencia de cálculo a pandeo de un elemento sometido a compresión es igual a:</p> $N_{b-d,Rd} = \frac{\chi_v A_d f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{0,519 \times 1552 \times 355}{1,0} \times 10^{-3} = 285,9 \text{ kN}$		

EN 1993-1-1
Tabla 5.2
Hoja 3

EN 1993-1-1
§ BB.1.2

EN 1993-1-1
§ 6.3.1

Título	APÉNDICE A. Ejemplo resuelto: Cálculo de un pilar compuesto triangulado	9 de 9
<p>El criterio de resistencia es:</p> $\frac{N_{d,Ed}}{N_{b-d,Rd}} \leq 1 \Leftrightarrow \frac{176,8}{285,9} = 0,62 < 1 \quad \text{OK}$ <p>7.2. Montantes</p> <p>7.2.1. Esfuerzo axial de compresión máximo</p> <p>El esfuerzo axial de compresión es máximo:</p> $N_{h,Ed} = V_{Ed} = 191,2 \text{ kN}$ <p>7.2.2. Clasificación de la sección transversal</p> $h/t = 80 / 8 = 10 < 15 \quad \varepsilon = 12,15$ $(b+h) / (2t) = (80+80) / (2 \times 8) = 10 > 11,5 \quad \varepsilon = 9,31 \quad \text{Clase 4}$ <p>A pesar de que la sección transversal es de clase 4, de conformidad con la hoja 3, de la tabla 5.2 de la norma EN 1993-1-1, el cálculo del área de la sección efectiva no conduce a ninguna reducción. El área de la sección es, por lo tanto, plenamente efectiva y el cálculo es el mismo que el de la sección de la clase 3.</p> <p>7.2.3. Resistencia al pandeo</p> <p>La resistencia al pandeo es igual a:</p> $L_{cr} = h_0 = 800 \text{ mm}$ <p>Esbeltez en el eje menor:</p> $\lambda_v = \frac{L_{h,y}}{i_v} = \frac{800}{15,6} = 51,28$ <p>Esbeltez adimensional:</p> $\bar{\lambda}_v = \frac{\lambda_v}{93,9\varepsilon} = \frac{51,28}{93,9 \times 0,81} = 0,674$ <p>Esbeltez adimensional efectiva:</p> $\bar{\lambda}_{\text{eff},v} = 0,35 + 0,7\bar{\lambda}_v = 0,35 + 0,7 \times 0,674 = 0,822$ <p>Utilizando la curva de pandeo <i>b</i> para determinar el coeficiente de reducción, se obtiene un coeficiente de imperfección:</p> $\alpha = 0,34$ <p>Por lo tanto:</p> $\phi_v = 0,5 \left[1 + \alpha(\bar{\lambda}_{\text{eff},v} - 0,2) + \bar{\lambda}_{\text{eff},v}^2 \right] = 0,5 \times [1 + 0,34 \times (0,822 - 0,2) + 0,822^2] = 0,943$		

EN 1993-1-1
Tabla 5.2
Hoja 3

EN 1993-1-1
§ BB.1.2

Título	APÉNDICE A. Ejemplo resuelto: Cálculo de un pilar compuesto triangulado	10 de 10
<p> $\chi_v = \frac{1}{\phi_v + \sqrt{\phi_v^2 + \lambda_{\text{eff},v}^2}} = \frac{1}{0,943 + \sqrt{0,943^2 - 0,822^2}} = 0,712$ </p> <p>La resistencia de cálculo a pandeo de un elemento sometido a compresión es igual a:</p> $N_{b,Rd} = \frac{\chi_v A_h f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{0,712 \times 1227 \times 355}{1,0} \times 10^{-3} = 310 \text{ kN}$ <p>El criterio de resistencia es:</p> $\frac{N_{h,Ed}}{N_{b,Rd}} = \frac{191,2}{310} = 0,62 < 1 \quad \text{OK}$ <p>8. Paso 6: Resistencia de los elementos del alma sometidos a tracción</p> <p>Hay que comprobar la resistencia de los elementos diagonales sometidos a tracción, incluso si esta situación resulta, por lo general, menos crítica que la compresión.</p> <p>La comprobación de estos elementos incluye la comprobación de la resistencia de la sección transversal y de la sección neta de las uniones atornilladas.</p> <p>El valor máximo de cálculo del esfuerzo axial de tracción:</p> $N_{t,Ed} = 176,8 \text{ kN}$ <p>El criterio de resistencia es:</p> $\frac{N_{t,Ed}}{N_{t,Rd}} \leq 1,0$ <p>La resistencia de cálculo a tracción $N_{t,Rd}$ se toma como resistencia de cálculo plástica de la sección transversal bruta.</p> $N_{t,Rd} = N_{pl,Rd} = \frac{A_d f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{1552 \times 355}{1,0} \times 10^{-3} = 551 \text{ kN}$ <p>El criterio de resistencia es:</p> $\frac{N_{Ed}}{N_{t,Rd}} = \frac{176,8}{551,0} = 0,32 < 1,0 \quad \text{OK}$		<p>EN 1993-1-1 §6.2.3</p>

9. Paso 7: Resistencia de las uniones de los elementos de enlace diagonales con los cordones

Los elementos diagonales (L90 × 90 × 9) están soldados al cordón (HEA 220) mediante cordones de soldadura, véase la Figura A.3.

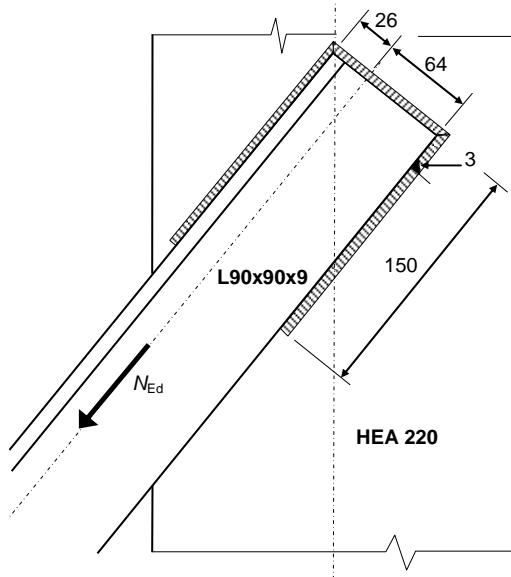


Figura A.3 Unión soldada de un elemento diagonal con un cordón

Espesor de garganta de soldadura:	$a = 3 \text{ mm}$
Longitud eficaz longitudinal del cordón en ángulo:	$l_{\text{eff-L}} = 150 \text{ mm}$
Longitud eficaz transversal del cordón en ángulo:	$l_{\text{eff-T}} = 90 \text{ mm}$
Esfuerzo axial en el elemento diagonal	$N_{\text{d,Ed}} = 176,8 \text{ kN}$

La resistencia de cálculo de un cordón en ángulo se determina mediante el método simplificado que se indica en el apartado 4.5.3.3 de la norma EN 1993-1-8.

En cada punto a lo largo de la longitud del cordón de soldadura, el valor resultante de todas las fuerzas por unidad de longitud transmitido por la soldadura debería cumplir los siguientes criterios:

$$F_{\text{w,Ed}} \leq F_{\text{w,Rd}}$$

donde:

$F_{\text{w,Ed}}$ es el valor de cálculo de la fuerza por unidad de longitud

$F_{\text{w,Rd}}$ es el valor de cálculo de la resistencia de la soldadura por unidad de longitud

La resistencia de cálculo depende de la orientación del plano de la garganta del cordón de soldadura y se determina así:

$$F_{\text{w,Rd}} = f_{\text{vw,d}} a$$

donde:

$f_{vw,d}$ es el valor de cálculo de la resistencia a cortante de la soldadura

$$f_{vw,d} = \frac{f_u / \sqrt{3}}{\beta_w \gamma_{M2}}$$

f_u es la resistencia última a tracción de la parte más débil de la unión:

$$f_u = 510 \text{ N/mm}^2$$

β_w es el coeficiente de correlación correspondiente:

$$\beta_w = 0,9 \text{ para grado de acero S355}$$

$$\gamma_{M2} = 1,25$$

por lo tanto:

$$f_{vw,d} = \frac{f_u / \sqrt{3}}{\beta_w \gamma_{M2}} = \frac{510 / \sqrt{3}}{0,9 \times 1,25} = 261,7 \text{ N/mm}^2$$

$$F_{w,Rd} = f_{vw,d} a = 261,7 \times 5 = 785,2 \text{ N/mm}$$

$$F_{w,Ed} = \frac{N_{d,Ed}}{\sum l_{eff}} = \frac{176800}{(2 \times 150 + 90)} = 453,3 \text{ N/mm}$$

Por lo tanto:

$$F_{w,Ed} = 453,3 \text{ N/mm}^2 < F_{w,Rd} = 785,2 \text{ N/mm}^2 \text{ OK}$$

El espesor mínimo de la garganta de soldadura $a_{min} = 3$ es aceptable.

Para evitar la corrosión, el elemento diagonal puede soldarse con una única pasada de soldadura ($a = 3$ mm) de forma continua alrededor de su perímetro.

Para tener en cuenta la excentricidad, se recomienda un cordón de soldadura con una garganta de 5 mm (2 pasadas) en el lado de la pata desconectada, tal y como se muestra en la Figura A.4.

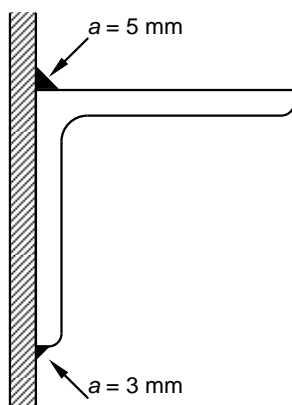


Figura A.4 Espesor de garganta de los cordones de soldadura

EN1993-1-8
§ 4.5.3.3

EN 1993-1-1
Tabla 3.1

EN1993-1-8
Tabla 4.1