



ICNC: Diseño de celosías de cubierta

Esta ICNC describe algunos casos especiales que se pueden producir durante el diseño de celosías de cubierta. Estos casos pueden ser la forma de considerar la excentricidad en las uniones, cargas no aplicadas en los nudos y cargas invertidas

Índice

1.	Generalidades	2
2.	Diseño del cordón superior	2
3.	Diseño del cordón inferior	5
4.	Diseño de los elementos del alma	10
5.	Excentricidad	10
6.	Ejemplos de unión entre celosía y pilar y empalme de celosía	11
7.	Referencias	12

1. Generalidades

El análisis tradicional de una celosía considera que todas las cargas se aplican en las uniones, y que todas las uniones son articuladas. Aunque, generalmente, este no es el caso, ya que los cordones superior e inferior son normalmente continuos y, con frecuencia, los elementos del alma están soldados a los cordones, sigue siendo un procedimiento común y aceptable para determinar las fuerzas axiales en los elementos. En una situación en la que las dimensiones del cordón superior son muy grandes y el canto total de la celosía es pequeño, es necesario tener en cuenta los momentos debidos al cordón superior continuo. Sin embargo, este no suele ser el caso para celosías de cubiertas para edificios industriales que se consideran aquí. En los demás casos es necesario tener en cuenta los momentos flectores, que se explican a continuación.

Esta ICNC asume que las celosías de cubierta consideradas están simplemente apoyadas, según muestra la Figura 2.1, es decir, las uniones entre celosía y pilar no son empotradas.

El análisis de una celosía es bastante sencillo si se utilizan las suposiciones del párrafo anterior, que no se considerarán aquí, ya que hay algunos casos especiales que pueden complicar las cosas:

- ☐ Por ejemplo, cuando la chapa de la cubierta se fija directamente a la celosía o si se utilizan correas y no están colocadas únicamente en las uniones de celosía, se introducirá un momento flector en el cordón superior.
- ☐ Debido a la excentricidad de las uniones entre los elementos del cordón y los elementos del alma, es posible que se introduzcan momentos, los cuales se deberán tener en cuenta en el diseño.
- ☐ Para cubiertas de poca pendiente, las cargas invertidas producidas por la carga del viento pueden producir una compresión en el cordón inferior, que se deberá diseñar teniendo en cuenta el pandeo lateral.

2. Diseño del cordón superior

2.1 Generalidades

Si se introducen todas las cargas en las uniones, sólo se tendrán en cuenta las cargas axiales. Cuando se comprime el cordón superior, será necesario tener en cuenta el pandeo dentro y fuera del plano, si no está restringido en la dirección lateral. Según el Anexo BB de [EN 1993-1-1 \[1\]](#), la longitud de pandeo es igual a la distancia entre las uniones de celosía para el pandeo en el plano de la celosía. La longitud de pandeo fuera del plano es la distancia entre las correas. Si la correa superior es un elemento armado, se debe diseñar según la sección [§6.4 de EN1993-1-1](#) para considerar el pandeo en la dirección lateral.

Lo expuesto anteriormente de que la longitud de pandeo fuera del plano es la distancia entre las correas requiere que éstas actúen como apoyo lateral, lo cual significa que no se pueden mover en la dirección axial. Esto significa que las correas deben estar restringidas por los arriostramientos de la estructura de la cubierta y por los arriostramientos verticales de las fachadas. También es posible utilizar la chapa de la cubierta si tienen la rigidez suficiente para actuar como un diafragma y cumple los requisitos de clase estructural I o II en conformidad

con EN 1993-1-3 [2], en lugar de arriostramientos. En el documento [SS050](#) se muestran ejemplos de celosías y arriostramientos de estabilización.

Si la chapa de la cubierta está colocada directamente sobre la celosía de la cubierta, es decir, sin correas, el pandeo fuera del plano del cordón superior estará restringido. Esto requiere que la chapa de la cubierta tenga la rigidez suficiente para actuar como un diafragma y cumpla los requisitos de clase estructural I o II en conformidad con EN 1993-1-3 [2].

En el caso idóneo, la cubierta se fijará a las correas, las cuales se colocarán en las uniones de la celosía, y sólo será necesario verificar las fuerzas axiales. Este no es siempre el caso, y en ocasiones la chapa de la cubierta se fija directamente a la celosía de la cubierta. En estos casos, los cordones superiores estarán sujetos no sólo a fuerza axial, sino también a momento flector. En la Figura 2.1 se muestra un ejemplo con cargas no nodales aplicadas a la celosía de la cubierta.

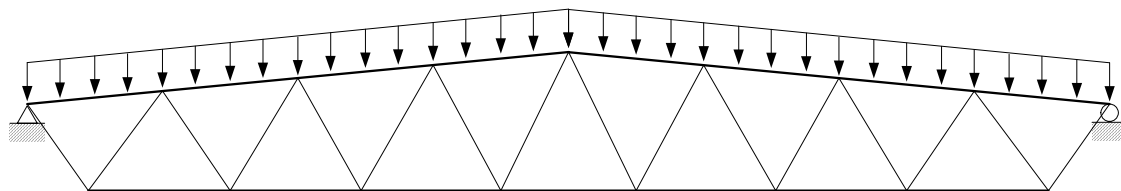


Figura 2.1 *Ejemplo de una celosía de cubierta con chapa de cubierta fijada directamente a la celosía, con cargas no nodales sobre ésta.*

En este caso, el cordón superior se debe considerar como una viga continua, y es necesario tener en cuenta el momento flector en el diseño del elemento. La sección siguiente muestra un ejemplo esquemático sobre este tema.

Por diferentes razones, la excentricidad puede estar presente debido al diseño de las uniones entre el cordón superior y los elementos del alma; véase la Figura 5.1. En este caso, es necesario tener en cuenta los momentos a causa de esta excentricidad. Esto se describe con más detalle en la sección 5.

2.2 Ejemplo esquemático de cargas no nodales en el cordón superior

Considerar la celosía de cubierta en la Figura 2.1 sujeta a una carga distribuida. Para una mayor simplicidad, sólo se presenta una sección interior de la celosía. Véase la Figura 2.2.

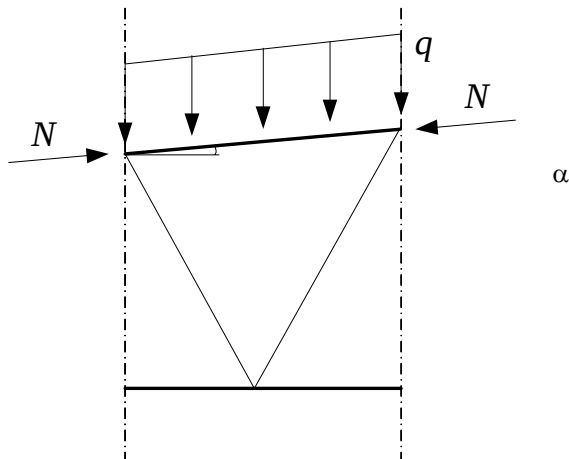


Figura 2.2 Sección de la celosía considerada en el ejemplo.

El cordón superior es continuo, y se puede considerar como una viga empotrada en ambos extremos; véase la Figura 2.3. Esto supone una simplificación y es más exacto realizar un cálculo con ordenador de una viga continua para evaluar los momentos de un cordón continuo.

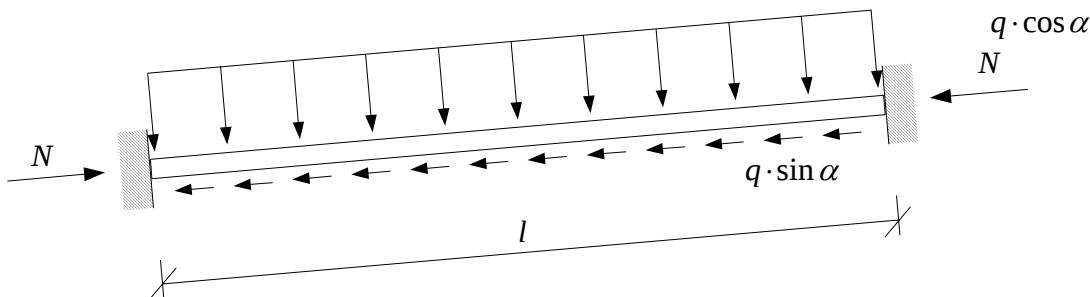


Figura 2.3 Cordón superior considerado como una viga empotrada en ambos extremos.

Con la simplificación de la Figura 2.3, es posible obtener la distribución de momentos, según se muestra en la Figura 2.4.

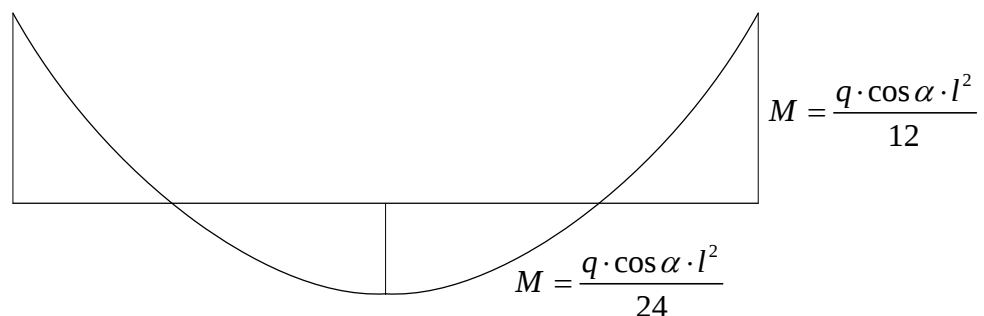


Figura 2.4 Distribución de momentos en el cordón superior.

Se debe verificar el momento flector y la fuerza axial en el cordón superior. En este caso, en los lugares en que la chapa de la cubierta está fijada al cordón superior y actúa como un apoyo lateral para deformación fuera del plano, se debe verificar el pandeo por flexión en el plano de la celosía según la sección [§6.3 de EN 1993-1-1 \[1\]](#). La chapa de la cubierta se considera en la clase estructural 1 ó 2 según EN 1993-1-3 [2]. Si la chapa de cubierta es de clase estructural 3, no puede actuar como apoyo lateral, y es necesario verificar también el pandeo lateral del cordón superior.

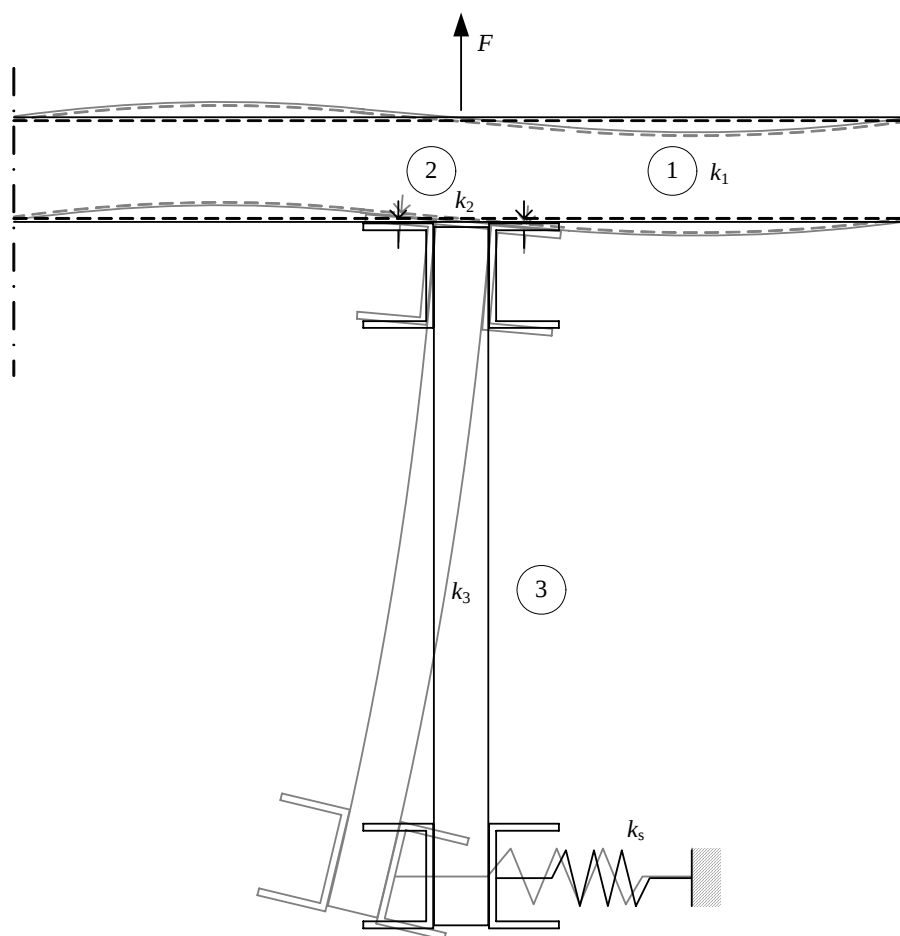
El modelo de diseño anterior, también es válido para correas ubicadas entre nudos, pero las condiciones de apoyo cambian con la ubicación y la magnitud de las cargas sobre el cordón superior. Para un diseño sencillo y seguro en el que no se conocen la ubicación de las correas, el momento flector se pueden considerar $wL^2/6$, donde L es la longitud entre los nudos de celosía y w es la suma de todas las cargas concentradas aplicadas perpendicularmente al cordón entre las correas, dividido por la distancia de la correa.

3. Diseño del cordón inferior

Si se considera el caso de carga, incluidas la carga permanente y la sobrecarga, normalmente el cordón inferior estará en tracción, y sólo será necesario verificar la resistencia a tracción.

Por diferentes razones, puede haber excentricidades, debido al diseño de las uniones entre el cordón inferior y los elementos del alma. En este caso, es necesario tener en cuenta los momentos a causa de esta excentricidad. Esto se describe con más detalle en la sección 5.

Sin embargo, en el diseño de una celosía de cubierta, es necesario considerar cuidadosamente las cargas de viento que producen succión externa o, en ocasiones, presión interna en edificios con cubierta de baja pendiente. Las partes de la celosía que actúan traccionadas bajo carga permanente y sobrecarga pueden estar excesivamente sobrecargadas cuando pasan a estar sujetas a compresión, es decir, es importante tener en cuenta la inversión de cargas en el diseño de la celosía de cubierta. Cuando se somete el cordón inferior a compresión, se puede producir el pandeo lateral del cordón inferior. Generalmente, es posible verificar la resistencia del cordón inferior sin arriostramiento, teniendo en cuenta la rigidez de los elementos conectados. Considere el ejemplo de la Figura 3.1 con chapa de cubierta de clase estructural 1 ó 2 según EN 1993-1-3.



Leyenda:

- 1 Chapa de cubierta, con rigidez, k_1 ,
- 2 Unión cubierta a celosía, con rigidez, k_2 ,
- 3 Celosía, con rigidez, k_3 .

Figura 3.1 Ejemplo de una sección de una estructura de cubierta sujeta a inversión de cargas

Si la unión entre los elementos del alma y los cordones se ha diseñado con cartelas, si se utilizan otras secciones, también es necesario considerar la rigidez en estas uniones.

El muelle ficticio que sujeta el cordón inferior tiene una rigidez elástica, k_s , que se calcula de la forma siguiente

$$k_s = \frac{1}{\frac{1}{k_1} + \frac{1}{k_2} + \frac{1}{k_3}} \quad (1)$$

donde

k_1 es la rigidez de la chapa de cubierta

k_2 es la rigidez de la unión entre cubierta y celosía (los tornillos)

k_3 es la rigidez a la flexión de los elementos del alma en la celosía

Toda la rigidez se expresa por unidad de longitud, es decir, tienen dimensiones de fuerza por unidad de superficie.

La rigidez de la chapa de cubierta, k_1 , se calcula de la forma siguiente

$$k_1 = \frac{1}{\delta} \quad (2)$$

Considerar una fuerza de 1 por unidad de longitud, según la Figura 3.2 que produce un momento de

$$M = h \cdot 1 \quad (3)$$

y un ángulo, θ

$$\theta = \frac{M \cdot l_{\text{roof}}}{2 \cdot EI_{\text{roof}}} = \frac{h \cdot 1 \cdot l_{\text{roof}}}{2 \cdot EI_{\text{roof}}} \quad (4)$$

El ángulo de rotación, θ , se calcula teniendo en cuenta que las celosías situadas una junto a la otra ejercen un pandeo en direcciones opuestas.

La rigidez a la flexión de la chapa es por unidad de anchura.

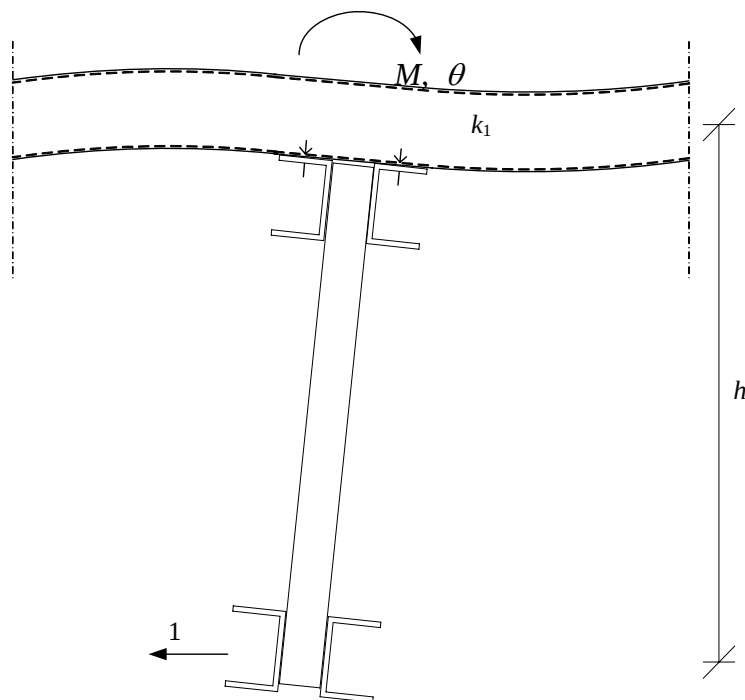


Figura 3.2 Explicación del cálculo de la rigidez de la chapa, k_1 .

El desplazamiento debido a esta fuerza unitaria se determina de la forma siguiente:

$$\delta = h \cdot \theta = h \cdot \frac{h \cdot l_{\text{roof}}}{2 \cdot EI_{\text{roof}}} \quad (5)$$

y la rigidez, k_1 , se obtiene de la forma siguiente

$$k_1 = \frac{2 \cdot EI_{\text{roof}}}{h^2 \cdot l_{\text{roof}}} \quad (6)$$

La rigidez de la unión entre cubierta y celosía, k_2 , se determina según la sección [§10.1.5 de EN1993-1-3](#). Esto constituye el mayor aporte a la flexibilidad. Los tornillos estarán sujetos a una carga de tracción, lo que proporciona deformaciones bastante elevadas, y la chapa se carga de forma perpendicular a su plano. Con el fin de obtener una rigidez razonable, los tornillos se deben colocar al tresbolillo; si no es suficiente, se deben utilizar dos tornillos por zona de unión, lo que duplica la rigidez.

La rigidez a la flexión fuera del plano de los elementos del alma se calcula de la forma siguiente

$$k_3 = \frac{1}{\delta} \quad (7)$$

donde δ se puede determinar como el desplazamiento debido a una carga unitaria; véase la Figura 3.3, según la ecuación (8).

$$\delta = \frac{1 \cdot l_1 \cdot l_d^3}{3 \cdot EI_d} \quad (8)$$

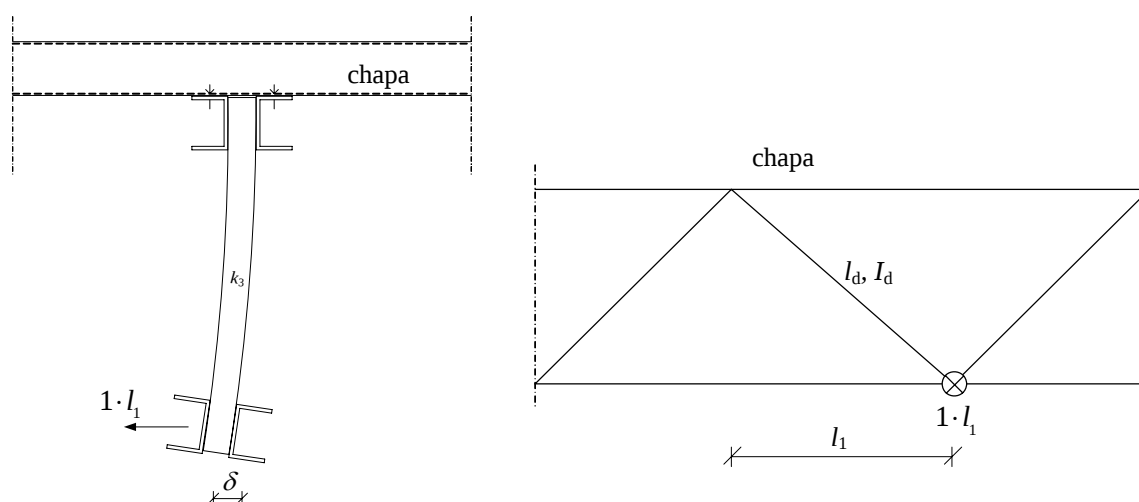


Figura 3.3 Explicación del cálculo de la rigidez de los elementos del alma, k_3 .

La rigidez, k_3 , se puede determinar de la forma siguiente

$$k_3 = \frac{3 \cdot EI_d}{l_1 \cdot l_d^3} \quad (9)$$

La carga de pandeo crítica, N_{cr} , se determina según



$$N_{cr} = 2\sqrt{EI \cdot k_s} \quad (10)$$

se asume que el cordón inferior está compuesto de un solo perfil. Si el cordón inferior está compuesto de dos perfiles empresillados, se debe utilizar una rigidez menor que considere las deformaciones de flexión locales entre las presillas.

El siguiente procedimiento es una extensión del procedimiento de diseño indicado en la sección [§6.4 de EN 1993-1-1](#) para un cordón inferior empresillado con una restricción lateral elástica continua. Las notaciones siguen §6.4 y sólo se indican aquí los cambios en el procedimiento. Se asumen que las presillas están soldadas a los cordones y tienen una longitud del doble de su anchura, lo que proporciona la rigidez suficiente para despreciar su flexibilidad.

La longitud de pandeo, l_c , se determina según

$$l_c = \pi \sqrt[4]{\frac{EI_{eff}}{k}} \quad (10)$$

y la rigidez a cortante con presillas rígidas

$$S_v = \frac{2\pi^2 EI_{ch}}{a^2} \quad (11)$$

donde a es la distancia central entre las presillas.

La fuerza axial crítica se puede calcular de la forma siguiente

$$N_{cr} = \sqrt{kEI_{eff}} \left[2 - \frac{\sqrt{kEI_{eff}}}{S_v} \right] \quad \text{si } S_v / \sqrt{kEI_{eff}} > 1 \quad (12)$$

$$N_{cr} = \frac{kEI_{eff}}{S_v} \quad \text{si } S_v / \sqrt{kEI_{eff}} \leq 1 \quad (13)$$

La fórmula para M_{Ed} en [§6.4.1\(6\) de EN 1993-1-1](#) se cambia a la ecuación (14) para este caso.

$$M_{Ed} = \frac{N_{Ed} e_0 + M_{Ed}^I}{1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr}}} \quad (14)$$

donde e_0 es una imperfección en forma de arco, $e_0 = \frac{L}{500}$, y M_{Ed}^I es el valor de cálculo del momento máximo en el centro del elemento construido, de acuerdo con la teoría de primer orden.

A partir de aquí se debe seguir el procedimiento indicado en la sección [§6.4 de EN 1993-1-1](#).

La resistencia al pandeo del cordón inferior se puede evaluar según la sección [§6.3 de EN1993-1-1 \[1\]](#).

Si es necesario, se puede utilizar algún tipo de arriostramiento para estabilizar la celosía y evitar el problema de pandeo lateral.

Las presillas y los cordones individuales también deben verificarse según la sección [§6.4 de EN 1993-1-1](#). Debido a las deformaciones elásticas en las presillas, los elementos estarán sujetos a una combinación de fuerza axial y momento flector o esfuerzo cortante. Los cordones individuales se deben comprobar en la posición de las presillas y en el centro del vano de un panel; las fuerzas serán según la [Figura 6.11 en EN 1993-1-1](#).

4. Diseño de los elementos del alma

Los elementos en una celosía están generalmente diseñados para resistir sólo fuerzas axiales, a menos que exista excentricidad en las uniones. Véase la sección 5 a continuación. Es necesario comprobar el pandeo dentro y fuera del plano de los elementos sujetos a compresión. La resistencia al pandeo dentro del plano debe calcularse con una longitud de pandeo, L_{cr} , igual al 90% de la longitud del sistema, es decir, $0,9L$. Para pandeo fuera del plano, la longitud de pandeo, L_{cr} , se debe considerar como la longitud del sistema, L . Esto se describe más detalladamente en el [Anexo BB de EN 1993-1-1 \[1\]](#).

5. Excentricidad

El objetivo cuando se diseña una unión en una celosía es conectar los elementos de tal forma que el centro de gravedad de cada uno pase a través del centro de la unión. Sin embargo, esto no es siempre posible, y tiene como resultado cargas excéntricas que producen momentos en los extremos de los elementos, asumiendo que la unión puede transferir otras cargas diferentes de las axiales, p. ej. una unión soldada. En la Figura 5.1 se muestra un ejemplo de esta unión.

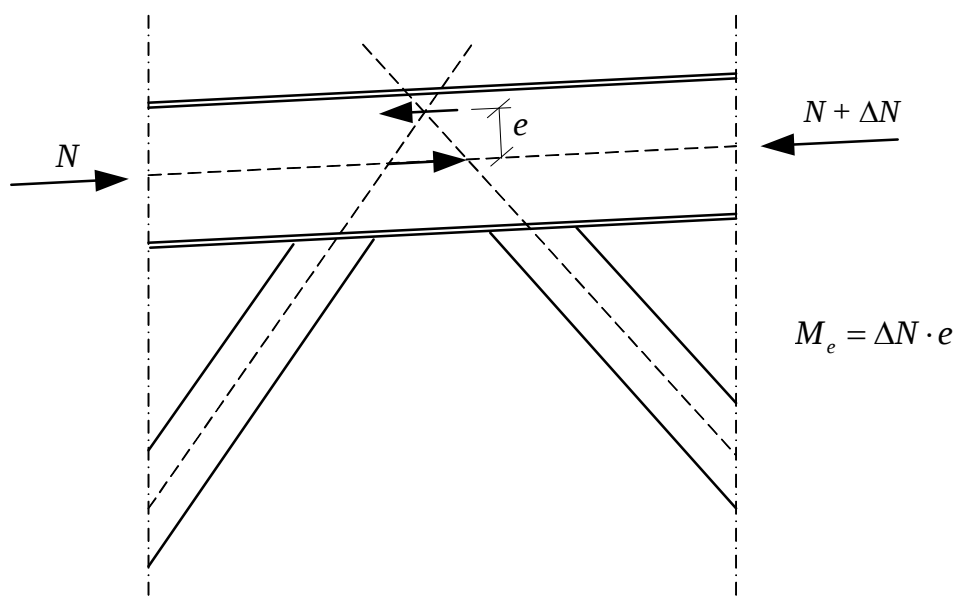


Figura 5.1 Ejemplo que muestra la excentricidad que puede aparecer en una unión de celosía.

En este caso, el momento M_e , debido a la excentricidad debe dividirse igualmente entre los elementos de cordones de compresión situados a cada lado de la unión, es decir, sólo se deben considerar las fuerzas axiales de los elementos del alma.

6. Ejemplos de unión entre celosía y pilar y empalme de celosía

La unión más común cuando se une la celosía de la cubierta a los pilares es una unión simple. La unión se puede diseñar según la Figura 6.1.

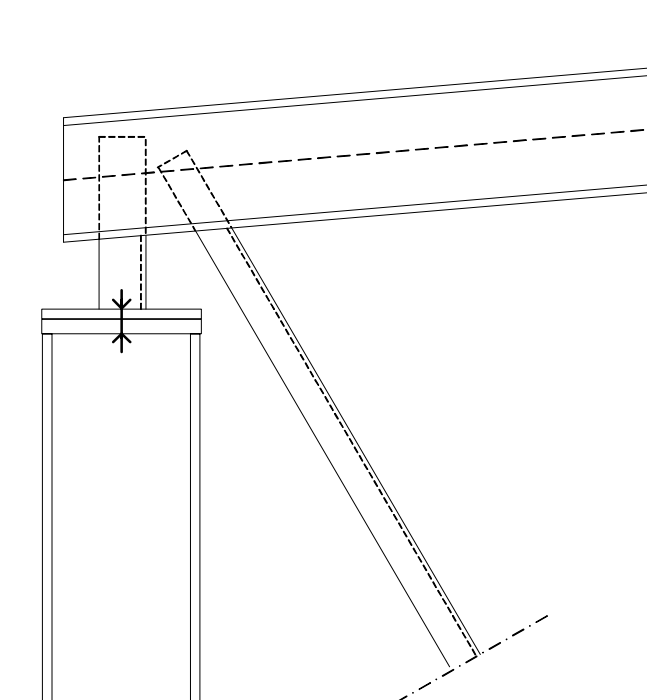


Figura 6.1 Ejemplo de una unión simple entre celosía y pilar.

El transporte de una celosía hasta el emplazamiento de construcción puede suponer limitaciones en la longitud de la celosía. En estos casos, la celosía se puede dividir en dos o más piezas que se montarán en el emplazamiento. La Figura 6.2 muestra el diseño de un empalme de celosía en la sección central de una celosía.

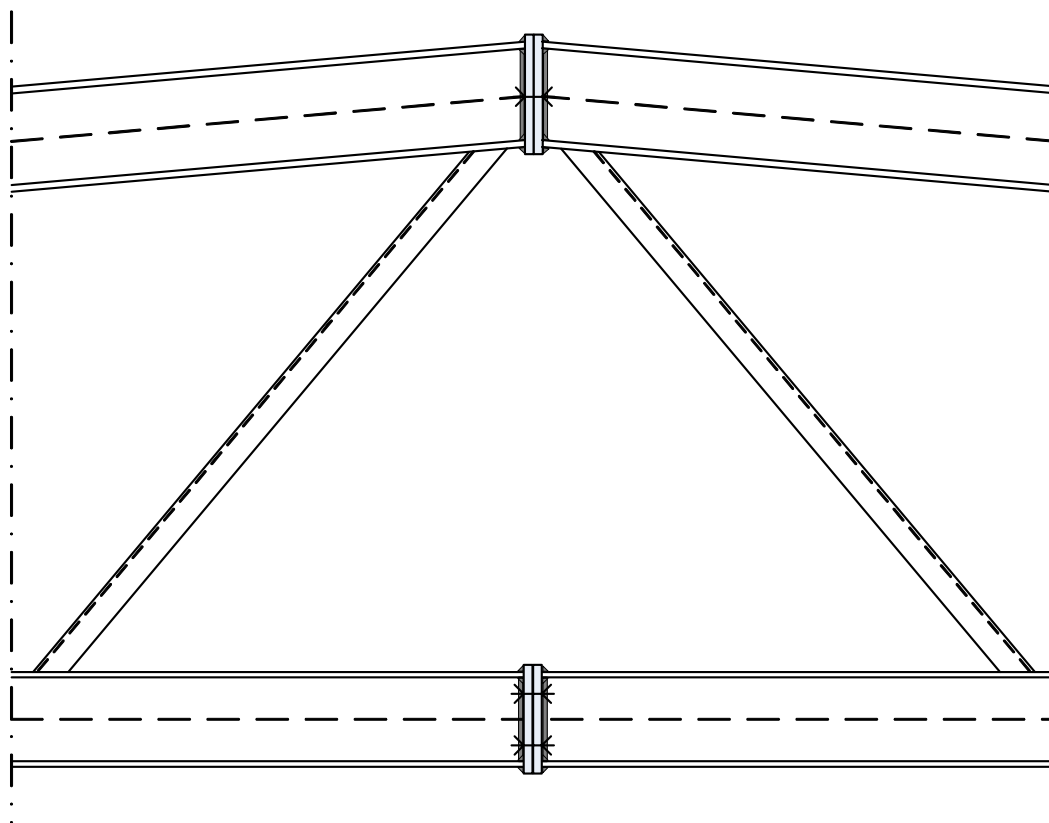


Figura 6.2 Ejemplo de un empalme en la sección central de una celosía.

7. Referencias

- [1] EN 1993-1-1, Diseño de estructuras de acero, Reglas generales y reglas para edificios
- [2] EN 1993-1-3, Diseño de estructuras de acero, Reglas suplementarias para elementos y chapas conformados en frío



Registro de Calidad

TÍTULO DEL RECURSO	ICNC: Diseño de celosías de cubierta		
Referencias(s)			
DOCUMENTO ORIGINAL			
	Nombre	Compañía	Fecha
Creado por	Jonas Gozzi	SBI	
Contenido técnico revisado por	Bernt Johansson	SBI	
Contenido editorial revisado por			
Contenido técnico respaldado por los siguientes socios de STEEL:			
1. Reino Unido	G W Owens	SCI	23/05/06
2. Francia	A Bureau	CTICM	23/05/06
3. Suecia	B Uppfeldt	SBI	23/05/06
4. Alemania	C Müller	RWTH	23/05/06
5. España	J Chica	Labein	23/05/06
Recurso aprobado por el Coordinador técnico	G W Owens	SCI	15.11.06
DOCUMENTO TRADUCIDO			
Traducción realizada y revisada por:		eTeams International Ltd.	08/08/06
Recurso de traducción aprobado por:	J Chica	Labein	15/09/06