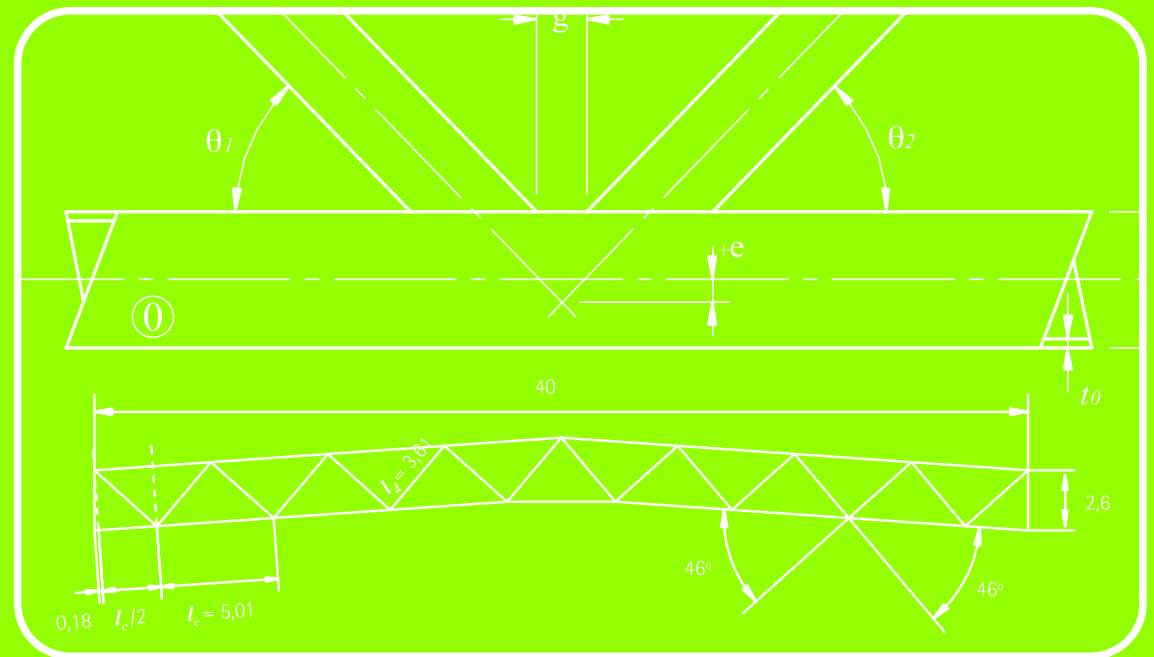


# Guía de Diseño

PARA ESTRUCTURAS EN CELOSÍA  
RESUeltas CON PERFILES TUBULARES  
DE ACERO



# Guía de Diseño

PARA ESTRUCTURAS EN CELOSÍA  
RESUELTAS CON PERFILES TUBULARES DE ACERO



Editado por: Instituto para la Construcción Tubular

Autores: Gorka Iglesias. ICT  
Ángel Alonso. ICT  
José Antonio Chica. ICT

Revisión: Ángel Alonso. ICT

---

Copyright © 2007 Instituto para la Construcción Tubular-ICT

1ª Edición 2004

2ª Edición revisada 2007

Diseño y Maquetación: Diagonal M&P

Impresión: MCC Graphics S. Coop.

Impreso en España en 2007

## INDICE

# Guía de Diseño

PARA ESTRUCTURAS EN CELOSÍA  
RESUELTAS CON PERFILES TUBULARES DE ACERO

1.- INTRODUCCIÓN	4
2.- CELOSÍAS CON PERFIL TUBULAR DE ACERO. CONSIDERACIONES GENERALES	8
3.- DISEÑO DE UNA CELOSÍA CON PERFIL TUBULAR DE ACERO. PROCEDIMIENTO DE CÁLCULO	10
4.- EJEMPLO DE APLICACIÓN	14
4.1.- DESCRIPCIÓN	14
4.2.- HIPÓTESIS DE CÁLCULO	14
4.3.- PREDIMENSIONADO	16
4.4.- CÁLCULO DEFINITIVO	24
5.- COMENTARIOS FINALES	42
6.- REFERENCIAS	44

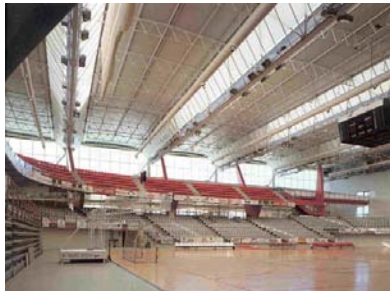


## INTRODUCCIÓN

# 1

**E**l diseño de cualquier estructura debe satisfacer de la manera más económica posible las necesidades del cliente. Una de las exigencias más habituales que suele plantearse hace referencia al espacio útil del edificio, para el que se busca siempre la mayor diaphanidad posible.

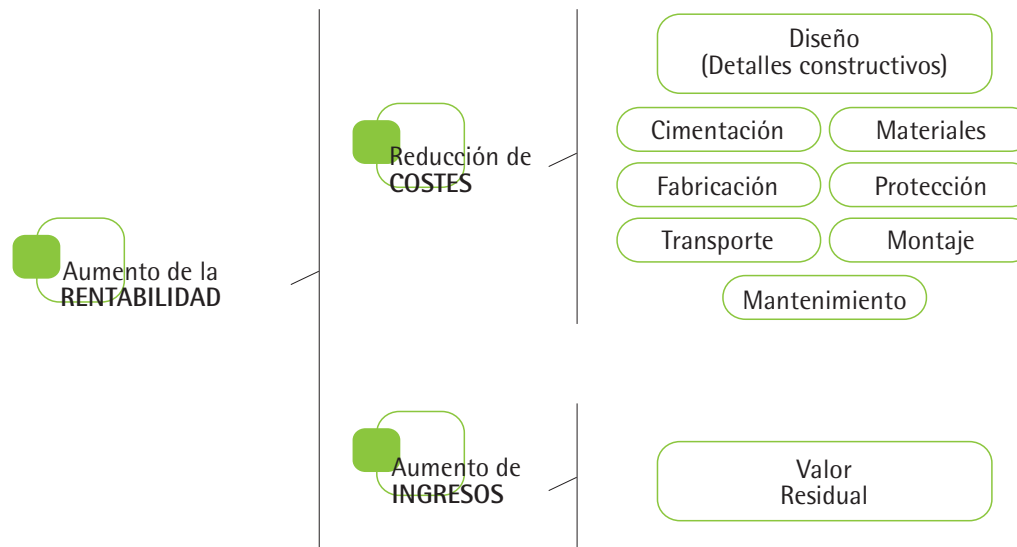
Esta exigencia obliga, en la mayoría de los casos, a salvar luces importantes sin utilizar soportes intermedios. En estos casos, la mejor solución la ofrecen las estructuras en celosía, incluso en ocasiones, para luces grandes o muy grandes, puede llegar a constituir la única solución viable.



Una estructura en celosía constituye sin duda la tipología estructural más económica para salvar luces medias y grandes (a partir de 20-22 m). Soluciones estructurales de este tipo, planas y multiplano, pueden encontrarse habitualmente en:

- Instalaciones deportivas
- Centros comerciales
- Edificios industriales
- Oficinas
- Salas de exposición ...

Acometer el diseño y cálculo de una estructura en celosía bajo criterios de economía, requiere considerar desde la concepción de la misma, todos y cada uno de los aspectos que constituyen el coste final de su ejecución, esto es:





Bajo estas premisas, conviene realizar una serie de consideraciones previas que nos sitúen al inicio del diseño de la celosía en disposición de conseguir el objetivo principal:

Consideraciones como:

**¿Qué material estructural es el más adecuado?**

#### EL ACERO

- Genera estructuras seguras y duraderas.
- Aporta un mejor comportamiento ante sismo.
- Resuelve grandes luces aportando diafanidad.
- Consigue un mayor grado de prefabricación e industrialización.
- Admite mayor nivel de precisión en fabricación y montaje.
- Reduce notablemente los plazos de construcción.
- Aporta adaptabilidad y flexibilidad a los diseños.
- Facilita la modificación posterior de la estructura.
- Facilita el desmontaje y reutilización. Alto valor residual.
- Consigue cotas de sostenibilidad óptimas. 100% reciclable.

**¿Qué tipología estructural en acero permite la consecución del objetivo?**

#### LA CELOSÍA

- Es la solución que permite cubrir las mayores luces.
- Constituye la solución más económica a partir de 22 m de luz.
- Constituye la tipología estructural más ligera y diáfana.
- Permite la integración de las instalaciones auxiliares en la estructura.
- Sus elementos trabajan únicamente a tracción o a compresión.

*obtener la solución más rentable que salve luces medias y grandes*

**¿Qué perfil estructural se adecua mejor al comportamiento en carga de una celosía?**

#### EL PERFIL TUBULAR

- Constituye el perfil de mayor resistencia al pandeo, ideal por tanto para elementos sometidos a esfuerzos de compresión.
- Permite la utilización de elementos más largos en las celosías.
- Reduce el número de sus uniones.
- Permite la realización de uniones directas (sin rigidizadores ni cartelas), simplificando notablemente su fabricación.
- Aumenta la diafanidad de la estructura en celosía.
- Dota a la celosía de gran estabilidad, lo que facilita su manipulación y transporte.
- Genera celosías muy ligeras y resistentes.
- Opone mayor resistencia al fuego (menor factor de forma).
- Presenta menor superficie exterior a proteger.
- Reduce los costes de fabricación, protección, transporte y montaje de la celosía.
- Aporta a la celosía un apreciable valor estético.



conducirán a afirmar de forma concluyente, que la solución económica a las exigencias de diafanidad en luces medias y grandes pasa necesariamente por diseños estructurales en CELOSÍA resuelta mediante **PERFILES TUBULARES DE ACERO**.

No obstante, un diseño geométrico deficiente de estas celosías y/o un cálculo basado en el modelo tradicional, utilizado en estructuras metálicas resueltas con Perfiles Abiertos Laminados en Caliente, pueden dar al traste con nuestro objetivo principal.

La misión de esta "Guía de Diseño para estructuras en Celosía resueltas con Perfiles Tubulares de acero", es recoger y ordenar en forma de procedimiento simplificado, los criterios de Diseño y Cálculo específicos para este tipo de material, tipología y perfil adoptados, utilizando para ello el estado último del arte en estructuras tubulares (Eurocódigos,...), fruto de las más recientes investigaciones realizadas en todo el mundo y validadas por los entes internacionales y nacionales competentes en la materia.

Recordamos a los usuarios de la presente Guía que, como cualquier otra herramienta de diseño y cálculo, puede resultar mejor o peor dependiendo del uso que se haga de ella. Los conceptos, formulaciones y rangos de

validez que en ella se proponen, deben utilizarse con CRITERIO, por lo tanto, siempre por Profesional Competente en la materia.

La Guía nace con la vocación de servir de referencia a todos aquellos Profesionales diseñadores y calculistas de estructuras metálicas, que quieran acometer el diseño y cálculo de una celosía realizada con Perfiles Tubulares de acero. Sin embargo, en el afán de simplificar la didáctica de la guía, se ha centrado la aplicación del procedimiento a unas determinadas tipologías de vigas en celosía y de uniones.

Para corregir esta limitación y acompañarle en sus primeras aplicaciones, el Instituto para la Construcción Tubular –I.C.T.– pone a disposición del Profesional utilizador de la Guía a su Departamento de Asesoramiento Técnico gratuito, así como las herramientas complementarias necesarias: software, documentación, etc., que le permitirán realizar posteriores aplicaciones de la Guía de forma autónoma.

I.C.T. anticipa el agradecimiento más sincero a todos los Profesionales que con sus sugerencias y comentarios colaboren en el futuro en la mejora de la presente Guía, tanto de su contenido como de sus cualidades didácticas.



# CELOSÍAS CON PERFIL TUBULAR DE ACERO

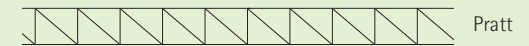
# 2



## CONSIDERACIONES SOBRE SU GEOMETRÍA

Tradicionalmente, las estructuras planas en celosía se han diseñado adaptando su geometría al diagrama de momentos flectores soportado, buscando como objetivo la optimización de los materiales. Hoy en día es bien sabido que, en la mayoría de los casos, son los costes de mano de obra, presentes en mayor o menor grado en todas las fases de la construcción de la Estructura, el factor más influyente en el coste global de la misma.

Por ello y en general, la celosía más económica es aquella que presenta una geometría con cordones paralelos y el menor número de barras de relleno entre ellos. La consecuencia es: diagonales de igual longitud y con el mismo ángulo de encuentro con los cordones, además de un menor número de uniones (nudos) a ejecutar.



Pratt

### DISPOSICIÓN DE RIOSTRAS TIPO N

Longitud total de barras de relleno = 100

Barras de relleno = 16

Uniones = 32



Warren con montantes

### DISPOSICIÓN DE RIOSTRAS TIPO KT

Longitud total de barras de relleno = 86

Barras de relleno = 14

Uniones = 28



WARREN

### DISPOSICIÓN DE RIOSTRAS TIPO K

Longitud total de barras de relleno = 62

Barras de relleno = 9

Uniones = 18

- 1) Menor número de barras de relleno.
- 2) Menor número de nudos.
- 3) Cordones paralelos:  
diagonales de igual longitud  
y el mismo ángulo de encuentro

Reducción  
de COSTES

Fabricación

## CONSIDERACIONES SOBRE LA TIPOLOGÍA DE LAS UNIONES

Uno de los componentes del coste global de una Estructura con mayor incidencia de la mano de obra es la fabricación. Por lo tanto, contribuir a su minoración en una celosía, pasará no sólo por la reducción del número de nudos, del número de diagonales, de igualar su longitud y ángulo de encuentro, ... , también será necesario diseñar uniones lo más sencillas posible que facilite su ejecución en taller.

Todo esto pasa necesariamente por utilizar:

### PERFILES TIPO "RHS" (\*) EN CORDONES Y DIAGONALES

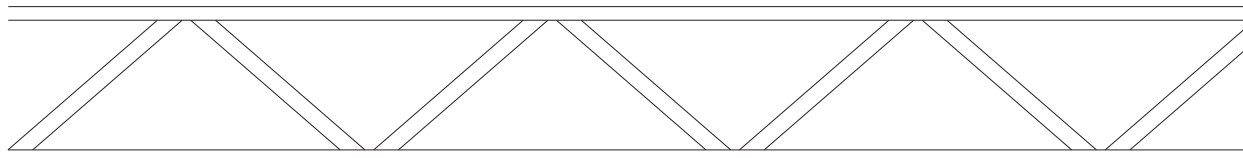
#### CORTES PLANOS



(\*) RHS: Rectangular Hollow Section (Perfiles Tubulares cuadrados y rectangulares)

### UNIONES DIRECTAS SOLDADAS CON ESPACIAMIENTO

#### UN ÚNICO CORTE



Otro tipo de perfil tubular y/o tipología de unión, probablemente reducirían el capítulo de materiales pero incrementarían sin duda los costes de fabricación.

# DISEÑO DE UNA CELOSÍA CON PERFIL TUBULAR DE ACERO

## 3



### PROCEDIMIENTO DE CÁLCULO Y RECOMENDACIONES INICIALES

I. **Determinación de cargas y sobrecargas** a soportar por la celosía.

II. **Definición de la geometría de la celosía:** tipología, canto y ángulo de encuentro de las barras de relleno, entre otros parámetros.

a) Tipología recomendada: **WARREN** con la primera diagonal traccionada, salvo cargas importantes localizadas entre nudos, lo que nos llevaría quizás a adoptar la tipología Warren con montantes.

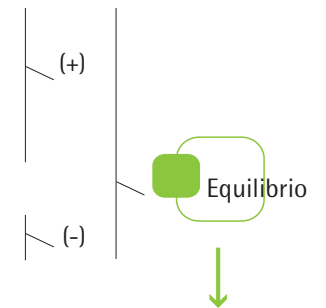
b) Canto ( $h$ ) ( $luz = l$ ):  $\frac{l}{15} \leq h \leq \frac{l}{10}$  (generalmente:  $h = \frac{l}{15}$ ).  
[6]

c) Ángulo de encuentro de las diagonales ( $\theta$ ):

c.1 Se recomienda:  $\theta \geq 30^\circ$ . Ángulos  $\theta < 30^\circ$  dificultan la ejecución de la soldadura en el talón de la unión por falta de accesibilidad de la antorcha.  
[6]

c.2 Reducir  $\theta$  supone (aumentarlo obviamente lo contrario):

- Mejorar la eficiencia de la unión.
- Disminuir el número de diagonales y de uniones.
- Favorecer el diseño de uniones con espaciamiento.
- Aumentar la sección del cordón comprimido



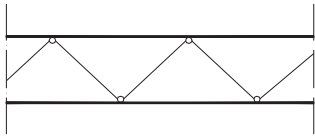
Reducción de los **COSTES** derivados del conjunto

Material | Fabricación

### III. Determinación de los esfuerzos axiales de cálculo en todas las barras:

[6]

- a) Inicialmente se adoptan todas las líneas de eje de los elementos, concurrentes en los nudos.
- b) Modelo de cálculo: Se asume que los cordones son elementos continuos y que las diagonales se comportan como barras articuladas en sus extremos, con lo que, en el caso de cargas aplicadas en los nudos de la celosía, todos los elementos que constituyen la estructura estarán sometidos únicamente a esfuerzos axiales (tracción o compresión).



### IV. Dimensionado de barras:

- a) Longitudes eficaces de pandeo ( $l_e$ ): [4] [5]

Se parte de uniones soldadas directas entre Perfiles Tubulares de acero, donde toda la sección va a intervenir en la entrega y recepción de los esfuerzos, por lo que en realidad, las barras de relleno de una viga en celosía soldada, están parcialmente empotradas en los cordones. Sin embargo, el modelo adoptado para el cálculo estático descrito en el punto anterior, supone las uniones de las barras de relleno articuladas a los cordones. Como consecuencia, en el dimensionado de barras se reduce la longitud teórica del elemento, para obtener la longitud eficaz de pandeo:

#### Cordones:

- En el plano:  $l_{e,c} = 0,9 \times$  longitud teórica entre nudos
- Fuera del plano:  $l_{e,c} = 0,9 \times$  longitud teórica entre *puntos arriostros*.



#### Barras de relleno:

- En y fuera del plano:  $l_{e,d} = 0,75 \times$  longitud teórica entre nudos.

- b) Características de los Perfiles:

- b.1 Perfiles recomendados: RHS con un ratio  $\frac{h}{t} < 37,2$  [5]

El cumplimiento de esta condición, garantiza la posibilidad de alcanzar el límite elástico en la fibra extrema de la sección, sin riesgo de que puedan darse efectos de pandeo local.

- b.2 Seleccionar para los cordones perfiles RHS con relaciones anchura/espesor  $15 < \frac{b_0}{t_0} < 25$ , en previsión de una mayor eficiencia de las uniones. [6]

- b.3 Seleccionar para las barras de relleno perfiles RHS de sección transversal cuadrada, con menor espesor de pared que los adoptados para los cordones, lo que favorecerá también el buen comportamiento de las uniones. [6]

- b.4 Estandarizar las barras de relleno a unas pocas dimensiones (1, 2 ó como máximo 3, dependiendo de la luz). Su peso en el cómputo global de la celosía no es relevante, generalmente en torno a un 15 %-20 %.





### c) Tipo y grado de acero:

En general, se recomienda adoptar perfiles tubulares de mayor límite elástico para los cordones que para las barras de relleno, de este modo, también se mejora la eficiencia de las uniones. [6]

En este sentido, el mercado del perfil tubular ofrece como más habituales:

para  $t \leq 6 \text{ mm}$  → S 275 J0H →  $f_y = 275 \text{ N/mm}^2$

para  $t \geq 8 \text{ mm}$  → S 355 J2H →  $f_y = 355 \text{ N/mm}^2$

### V. Diseño de uniones:

- a) Se debe buscar el mayor grado de prefabricación posible, para sacar el máximo partido de los medios y condiciones de trabajo disponibles en taller. De esta manera, se reducirán al máximo el número de operaciones a realizar en obra, minimizando el desplazamiento de medios y personal cualificado a la misma. Con esta filosofía, las uniones se ejecutarán:

**Soldadas para fabricación en taller:**

Nudos de la celosía, uniones en prolongación de cordones (hasta la longitud total de celosía impuesta por las limitaciones del espacio disponible en taller y en obra, el transporte, etc.) y resto de detalles constructivos.



**Atornilladas para montaje en obra:**

Uniones celosía - pilar, unión de subconjuntos, ...



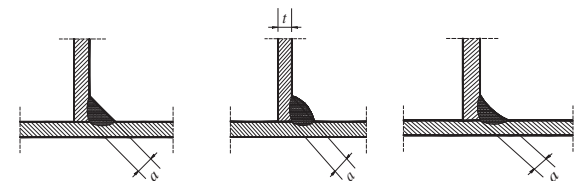
Reducción de los COSTES derivados del conjunto

Fabricación

Transporte

Montaje

- b) Cálculo de soldaduras. Una unión soldada organizada alrededor del perímetro completo de una barra de relleno mediante una soldadura a tope, una soldadura en ángulo, o una combinación de ambas, debe proporcionar una resistencia no inferior al esfuerzo transmitido por la barra. Esto lo garantizan los siguientes espesores de garganta mínima (a) para las soldaduras, asumiendo los electrodos y tipos de acero adecuados:



$a \geq 1,00 t$ , para S 275

$a \geq 1,07 t$ , para S 355

c) Tipología de nudos recomendada para la celosía: nudos en "K" con espaciamiento. Se comprobará que la geometría del nudo y las dimensiones de los elementos que concurren en él, satisfagan el campo de validez de las ecuaciones de comprobación de su eficiencia, poniendo especial atención a los límites de excentricidad. [4] [6]

### VI. Comprobación de la eficiencia de los nudos de la celosía:

a) La verificación del comportamiento de los nudos, se debe realizar siguiendo las recomendaciones recogidas en las Guías de Diseño números 1 y 3 de la colección "Construcción con Perfiles Tubulares de Acero", editadas por el CIDECT (Comité Internacional para el Desarrollo y Estudio de la Construcción Tubular). Recomendaciones que han sido incluidas en los Eurocódigos (EC-3).



b) Para considerar el nudo como eficiente (unión suficiente), los valores de cálculo de los esfuerzos axiales en las diagonales no deben superar las correspondientes resistencias de cálculo del nudo:  $N_{Rd,i} \geq N_{Sd,d}$  [4]

c) Si las resistencias de cálculo del nudo (eficiencias) no son adecuadas, se aconseja actuar primero sobre su geometría, antes de proceder a cambios en las barras de relleno y/o cordones, y volver a comprobar la capacidad del nudo.



d) Caso de excentricidades, comprobar el efecto de los momentos primarios sobre el cordón comprimido, realizando el cálculo de comprobación para la interacción esfuerzo axial y momento flector.

### VII. Comprobación de las deformaciones:

La flecha obtenida por los métodos de cálculo tradicionales, basados en criterios elásticos, lleva a resultados optimistas respecto de las deformaciones reales obtenidas en celosías ejecutadas empleando nudos con espaciamiento. La experiencia sitúa la diferencia en un 15% aproximadamente.

En estos casos, la deformación (flecha) real de la celosía se obtendrá aplicando un coeficiente de mayoración de 1,15 sobre el resultado conseguido bajo criterios elásticos. [6]





## EJEMPLO DE APLICACIÓN

# 4

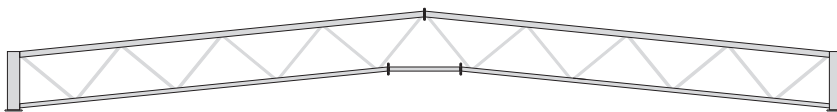
### 4.1

#### DESCRIPCIÓN

Pórtico de 40 m de luz y 9 m de altura en alero, formado por dintel en celosía y soportes monoperfil empotrados en su base, ambos resueltos mediante Perfiles Tubulares de acero RHS. La cubierta se resuelve a dos aguas con pendientes del 7%.

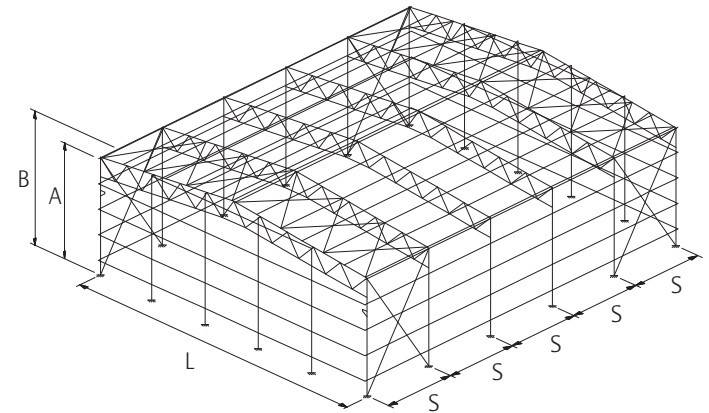
La celosía del dintel, cuyo diseño y dimensionado es objeto de esta Guía, se propone de canto constante (tipo Warren), con cordones paralelos y barras de relleno de igual longitud y ángulo de corte en sus extremos.

El pórtico se concibe con el dintel celosía empotrado a los soportes, formando estos últimos con sus prolongaciones, los montantes de los extremos del dintel.



### 4.2

#### HIPÓTESIS DE CÁLCULO (Nomenclatura según Eurocódigos)



#### 1. CARGAS PERMANENTES

Panel de cubierta ( $G_{k1}$ ).....	0,20 kN/m <sup>2</sup>
Peso Propio del dintel ( $G_{k2}$ ).....	según el dimensionado adoptado (*)
Peso Propio de las correas ( $G_{k3}$ ) (RHS 140 x 80 x 4).....	0,07 kN/m <sup>2</sup>

(\*) Para realizar el predimensionado, se estima como peso del dintel el 50% del peso del cerramiento. [9]

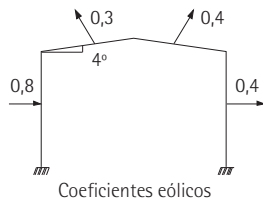
## 2. SOBRECARGAS

Nieve ( $Q_{k1}$ ) ..... 0,80 kN/m<sup>2</sup> [1]

Uso ( $Q_{k2}$ ) (accesible sólo para mantenimiento) ..... 0,75 kN/m<sup>2</sup> [3]

No se consideran simultáneamente las acciones procedentes de la nieve y de uso, sólo la más desfavorable. [9]

Viento ( $Q_{k3}$ ) (presión dinámica en situación normal y  $0 < B < 10$  m) ..... 0,50 kN/m<sup>2</sup> [1]



## 3. COEFICIENTES DE MAYORACIÓN (método simplificado) (\*\*) [4]

ESTADO LÍMITE	ÚLTIMO	DE SERVICIO
Cargas permanentes ( $\gamma_G$ )	1,35	1,00
Cargas variables ( $\gamma_Q$ )	1,50	1,00

## 4. COEFICIENTES DE MINORACIÓN DEL MATERIAL [2] [4]

Para aceros con límite elástico mínimo garantizado  $\gamma_M = 1,0$

Para el resto de aceros  $\gamma_M = 1,1$

## 5. GEOMETRÍA DEL PÓRTICO

Luz entre pilares (L) ..... 40 m  
 Altura de Alero (A) ..... 9 m  
 Modulación entre Pórticos (S) ..... 6 m  
 Pendiente de Cubierta ..... 7 %



## 6. MATERIALES

Perfiles Tubulares de espesor de pared < 8 mm ..... S 275 J0H

Perfiles Tubulares de espesor de pared  $\geq$  8 mm ..... S 355 J2H

## 7. LÍMITES DE DEFORMACIÓN [2] [4]

Dintel (vertical) (según EC-3: techos en general) ..... L/250

(según NBE EA-95: vigas de cubierta) ..... L/200

Ante la no coincidencia en los límites de deformación, se adopta el más restrictivo.

(\*\*) Se adoptan las consideraciones del método simplificado para darle un carácter general al ejemplo; no se indica cuál es el uso del edificio.



## 4.3

### PREDIMENSIONADO

Es considerado como una buena práctica, el realizar un cálculo aproximado de la estructura previo al definitivo, que siendo sencillo y rápido, permita aproximarnos a la solución que posteriormente se obtendrá en el dimensionado definitivo, evitando así los tan indeseables retornos en el cálculo.

#### I. Determinación de cargas y sobrecargas a soportar por la celosía



Para determinar los valores de cálculo de las cargas que actúan sobre la estructura en situaciones de cálculo permanentes y transitorias, se utilizará una de las expresiones siguientes, eligiéndose aquella que presente el valor superior: [4]

Considerando sólo la acción variable más desfavorable:

$$\sum_j \gamma_{G,j} G_{k,j} + \gamma_{Q,1} Q_{k,1}$$

Con todas las acciones variables desfavorables:

$$\sum_j \gamma_{G,j} G_{k,j} + 0,9 \sum_{i \geq 1} \gamma_{Q,i} Q_{k,i}$$

En principio, para una inclinación de cubierta de 4° (7 % de pendiente), los esfuerzos eólicos actuantes sobre la celosía se prevén de succión. Dado que este efecto es favorable, por simplificación en los cálculos y situándose del lado de la seguridad, no se consideran en el predimensionado. Sin embargo, en el cálculo definitivo habrá que tenerlos en cuenta dada la posibilidad de la aparición del fenómeno "inversión de esfuerzos", lo que haría entrar al cordón inferior en compresión, teniendo por tanto que comprobar su estabilidad frente a pandeo y adoptar los arriostramientos necesarios.

$$q [kN/m] = \left[ \sum_j \gamma_{G,j} G_{k,j} + \gamma_{Q,1} Q_{k,1} \right] \cdot s$$

$$q = [1,35 \cdot (0,20 + 0,10 + 0,07) [kN/m^2] + 1,5 \cdot 0,80 [kN/m^2]] \cdot 6 [m]$$

$$q = 10,21 \text{ kN/m}$$

## II. Definición de la geometría de la celosía

Tipología: Warren con la primera diagonal traccionada.

$$\text{Canto: } h = L/15$$

Ángulo de las diagonales:  $\theta \geq 30^\circ$

Según la NBE EA-95, para barras cuya proyección horizontal exceda de 6 m, se tendrá en cuenta la flexión debida a su peso propio. Tomaremos por tanto este valor (6 m), como límite para la distancia entre nudos en los cordones. En general, no es aconsejable que las distancias entre nudos sean grandes, ya que cuanto mayor sea este valor, mayor resultará la esbeltez de la barra y menor por tanto el aprovechamiento del perfil. La NBE EA-95 recomienda una esbeltez  $\lambda \leq 200$  para elementos comprimidos.

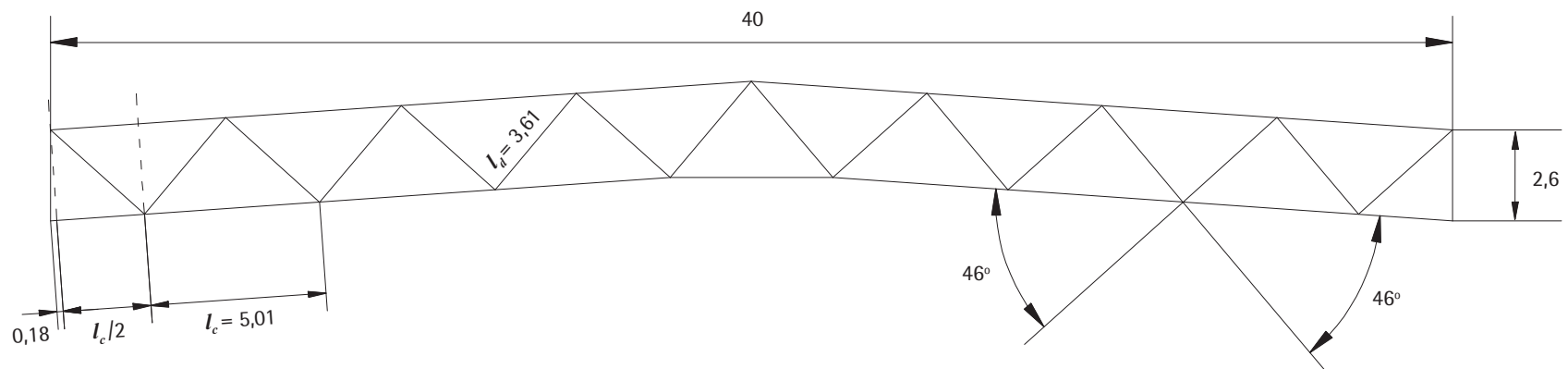
$$\text{Canto: } h = 40/15 \approx 2,6 \text{ m}$$

Ángulo de las diagonales:

$$\theta = 38^\circ \Rightarrow l_c = 6,68 \text{ m} \Rightarrow (12 \text{ diagonales; } 13 \text{ nudos})$$

$$\theta = 46^\circ \Rightarrow l_c = 5,01 \text{ m} \Rightarrow (16 \text{ diagonales; } 17 \text{ nudos}) \quad \text{O.K.}$$

$$\theta = 52^\circ \Rightarrow l_c = 4,01 \text{ m} \Rightarrow (20 \text{ diagonales; } 21 \text{ nudos})$$



### III. Determinación de los esfuerzos axiales en las barras de la celosía.

Cordones:

Se considera el dintel como una viga biapoyada, cuyo momento flector máximo es:

$$M[kN \cdot m] = \frac{q \cdot L^2}{8} \Rightarrow N_{sd,c}[kN] = \frac{M}{h} \quad [8] [12]$$

Diagonales:

Se considera que las diagonales soportarán los esfuerzos cortantes

$$Q[kN] = \frac{q \cdot L}{2} \Rightarrow N_{sd,d}[kN] = \frac{Q}{\text{sen } \theta} \quad [8] [12]$$

Cordones:

Esfuerzo axial en el cordón:

$$N_{sd,c} = \frac{10,21 \cdot 40^2}{8 \cdot 2,6} = 785,38 \text{ kN}$$

Diagonales:

Esfuerzo axial en las diagonales:

$$N_{sd,d} = \frac{10,21 \cdot 40}{2 \cdot \text{sen } 46^\circ} = 283,87 \text{ kN}$$



#### IV. Predimensionado de barras.

Cordón superior: (a compresión).

$$N_{Rd} = \chi \cdot A \frac{f_y}{\gamma_M} \geq N_{Sd,c} \quad [4]$$

$\chi$  (factor de reducción) =  $f(\bar{\lambda})$  (esbeltez adimensional)  $\rightarrow$  Curvas Europeas de Pandeo  $\rightarrow$  (curva "b" para elementos conformados en frío utilizando el límite elástico del material de base  $f_{yb}$ ). [4]

$$\bar{\lambda} \text{ (esbeltez adimensional)} = \frac{\lambda}{\lambda_E} = \frac{l_{e,c}/i_{min}}{\pi \cdot \sqrt{E/f_y}}, \text{ siendo } i_{min}$$

el radio de giro mínimo del perfil seleccionado.

Longitud eficaz de pandeo:  $l_{e,c} = 0,9 \cdot l_c$

Recomendaciones:

- $f_y = 355 \text{ N/mm}^2$
- Adoptar un material con un  $f_y$  mínimo garantizado, por lo que se considerará  $\gamma_M = 1$  [2]
- $h/t$  del perfil < 37,2
- $b/t$  del cordón entre 15 y 25

Cordón superior: (a compresión).

$$\text{A partir de: } \bar{\lambda} = \frac{(0,9 \cdot 501) / i_{min}}{\pi \cdot \sqrt{210000 / 355}} = \frac{5,90}{i_{min}}$$

y siendo (parametrización de la Curva Europea "b" de Pandeo):

$$\chi = f(\bar{\lambda}) \left\{ \begin{array}{l} \phi = 0,5 \left[ 1 + 0,34 (\bar{\lambda} - 0,2) + \bar{\lambda}^2 \right] \\ \chi = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \bar{\lambda}^2}} ; \text{ siempre } \chi \leq 1 \end{array} \right. \quad [4] [5]$$

el perfil elegido deberá cumplir que:

$$N_{Rd} \geq N_{Sd,c} \Rightarrow \chi \cdot A \geq \frac{785,38 \text{ [kN]} \cdot 1}{355 \cdot 10^{-1} \text{ [kN/cm}^2]} = 22,12 \text{ cm}^2$$



Cordón superior. Selección provisional del perfil:

Para la elección del perfil tubular adecuado, y en general para cualquier tipo de perfil, es recomendable la consulta previa de existencias al fabricante, para así poder adoptar como perfiles "alternativa" aquellos que dispongan de stock garantizado.

	PERFIL (RHS)	Masa (kg/m)	$\lambda \leq 200$	$h/t < 37,2$	$15 < b/t < 25$	$\chi \cdot A \geq 22,12 \text{ cm}^2$	
Alternativas	180 x 100 x 8	31,4	113,01	22,5	12,5	13,99	NO OK
	200 x 100 x 8	33,9	111,61	25,0	12,5	15,44	NO OK
	200 x 150 x 8	40,2	75,78	25,0	18,8	30,89	OK
	250 x 150 x 8	46,5	73,68	31,3	18,8	36,86	OK



**Cordón inferior:** Aunque en sus tramos extremos va a estar comprimido, para el predimensionado lo consideraremos todo él trabajando únicamente a tracción. En el cálculo definitivo si se deberá tener en cuenta.

$$\text{Resistencia axial: } N_{Rd} = A \frac{f_y}{\gamma_M} \geq N_{Sd.c} \quad [4]$$

Recomendaciones:

- $f_y = 355 \text{ N/mm}^2$
- Adoptar un material con un  $f_y$  mínimo garantizado, por lo que se considerará  $\gamma_M = 1$  [2]
- $h/t$  del perfil  $< 37,2$
- $b/t$  del cordón entre 15 y 25

**Cordón inferior:**

El perfil elegido cumplirá que:

$$N_{Rd} \geq N_{Sd.c} \Rightarrow A \geq \frac{785,38 \text{ [kN]} \cdot 1}{355 \cdot 10^{-1} \text{ [kN / cm}^2]} = 22,12 \text{ cm}^2$$



**Cordón inferior. Selección provisional del perfil:**

Para la elección del perfil tubular adecuado, y en general para cualquier tipo de perfil, es recomendable la consulta previa de existencias al fabricante, para así poder adoptar como perfiles "alternativa" aquellos que dispongan de stock garantizado.

	PERFIL (RHS)	Masa (kg/m)	$h/t < 37,2$	$15 < b/t < 25$	$A \geq 22,12 \text{ cm}^2$	
<i>Alternativas</i>	100 x 100 x 8	21,4	12,5	12,5	27,2	NO OK
	120 x 120 x 8	26,4	15	15	33,6	OK

En el caso de las diagonales, teniendo en cuenta que la mitad de ellas trabajarán a tracción y la otra mitad a compresión, se llevarán a cabo dos comprobaciones, de igual modo que lo realizado anteriormente para los cordones.



Diagonales a compresión:

$$N_{Rd} = \chi \cdot A \frac{f_y}{\gamma_M} \geq N_{Sd,d} \quad [4]$$

$\chi$  (factor de reducción) =  $f(\bar{\lambda})$  (esbeltez adimensional)  $\rightarrow$  Curvas Europeas de Pandeo  $\rightarrow$  (curva "b" para elementos conformados en frío utilizando el límite elástico del material de base  $f_{yb}$ ). [4]

$$\bar{\lambda} \text{ (esbeltez adimensional)} = \frac{\lambda}{\lambda_E} = \frac{l_{e,d}/i_{min}}{\pi \cdot \sqrt{E/f_y}}, \text{ siendo } i_{min}$$

el radio de giro mínimo del perfil seleccionado.

Longitud eficaz de pandeo:  $l_{e,d} = 0,75 \cdot l_d$

Recomendaciones:

- $f_y = 275 \text{ N/mm}^2$
- Adoptar un material con un  $f_y$  mínimo garantizado, por lo que se considerará  $\gamma_M = 1$  [2]
- $h/t$  del perfil  $< 37,2$

Diagonales a compresión:

$$\text{A partir de: } \bar{\lambda} = \frac{(0,75 \cdot 361)/i_{min}}{\pi \cdot \sqrt{210000}/275} = \frac{3,12}{i_{min}}$$

y siendo (parametrización de la Curva Europea "b" de Pandeo):

$$\chi = f(\bar{\lambda}) \left\{ \begin{array}{l} \phi = 0,5 \left[ 1 + 0,34 (\bar{\lambda} - 0,2) + \bar{\lambda}^2 \right] \\ \chi = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \bar{\lambda}^2}} ; \text{ siempre } \chi \leq 1 \end{array} \right. \quad [4] [5]$$

el perfil elegido deberá cumplir que:

$$N_{Rd} \geq N_{Sd,d} \Rightarrow \chi \cdot A \geq \frac{283,87 \text{ [kN]} \cdot 1}{275 \cdot 10^{-1} \text{ [kN/cm}^2]} = 10,32 \text{ cm}^2$$

Diagonales a compresión. Selección provisional del perfil:

Para la elección del perfil tubular adecuado, y en general para cualquier tipo de perfil, es recomendable la consulta previa de existencias al fabricante, para así poder adoptar como perfiles "alternativa" aquellos que dispongan de stock garantizado.

	PERFIL (RHS)	Masa (kg/m)	$\lambda \leq 200$	$h/t < 37,2$	$\chi \cdot A \geq 10,32 \text{ cm}^2$	
Alternativas	90 x 90 x 4	10,5	77,8	22,5	8,79	NO OK
	100 x 100 x 4	11,7	69,6	25,0	10,80	OK



Diagonales a tracción:

$$N_{Rd} = A \frac{f_y}{\gamma_M} \geq N_{Sd,d} \quad [4]$$

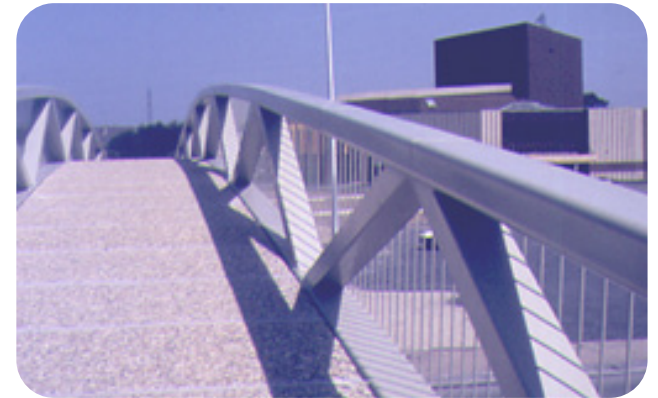
Recomendaciones:

- $f_y = 275 \text{ N/mm}^2$
- Adoptar un material con un  $f_y$  mínimo garantizado, por lo que se considerará  $\gamma_M = 1$  [2]
- $h/t$  del perfil  $< 37,2$

Diagonales a tracción:

El perfil elegido cumplirá que:

$$N_{Rd} \geq N_{Sd,d} \Rightarrow A \geq \frac{283,87 \text{ [kN]} \cdot 1}{275 \cdot 10^{-1} \text{ [kN/cm}^2]} = 10,32 \text{ cm}^2$$



Diagonales a tracción: Selección provisional del perfil:

Para la elección del perfil tubular adecuado, y en general para cualquier tipo de perfil, es recomendable la consulta previa de existencias al fabricante, para así poder adoptar como perfiles "alternativa" aquellos que dispongan de stock garantizado.

PERFIL (RHS)	Masa (kg/m)	$h/t < 37,2$	$A \geq 10,32 \text{ cm}^2$	
80 x 80 x 4	9,22	20	11,7	OK

## V. Diseño de uniones.

El diseño de las uniones se realizará en el cálculo definitivo, en paralelo con la comprobación de su eficiencia.

## VI. Comprobación de la eficiencia de los nudos de la celosía.

Teniendo en cuenta que la mayoría de las recomendaciones indicadas, tienen por objeto dimensionar la perfilería en previsión de un comportamiento eficiente de los nudos, la comprobación de los mismos y su diseño definitivo se realizará en el cálculo y dimensionado final.

## VII. Comprobación previa de las deformaciones.

Flecha de la celosía:

La flecha de una viga en celosía puede asimilarse a la de una viga de alma llena de momento de inercia igual al 75 % del correspondiente a los cordones. [10]

$$I_v \approx 0,75 \frac{h^2 \cdot A_c \cdot A_r}{(A_c + A_r)}$$

donde:  $A_c$  es el área del cordón superior  
 $A_r$  es el área del cordón inferior  
 $h$  es el canto de la celosía

Considerado el dintel en celosía (ver apartado III) como una viga biapoyada (supuesto muy del lado de la seguridad, dado que el dintel se ejecutará empotrado a los soportes), la flecha vendrá dada por la expresión:

$$f = \frac{5 \cdot q_s \cdot l^4}{384 \cdot E \cdot I} \quad [mm] \quad [8] [12]$$

donde  $q_s$  es la carga de servicio (sin mayorar) sobre el dintel.

Flecha de la celosía:

Momento de inercia asimilado:

$$I_v = 0,75 \frac{260^2 \cdot 51,2 \cdot 33,6}{(51,2 + 33,6)} = 1,03 \cdot 10^6 \text{ cm}^4$$

Flecha según el supuesto de viga biapoyada:

$$q_s = [1 \cdot (0,20 + 0,10 + 0,07) \text{ [kN/m}^2] + 1 \cdot 0,80 \text{ [kN/m}^2] \cdot 6 \text{ [m]}$$

$$q_s = 7,03 \text{ kN/m}$$

$$f = \frac{5 \cdot 7,03 \text{ [N/mm]} \cdot 40000^4 \text{ [mm]}^4}{384 \cdot 210000 \text{ [N/mm}^2] \cdot 1,03 \cdot 10^{10} \text{ [mm}^4]} = 108 \text{ mm}$$

$$f = 108 \text{ mm} < \frac{l}{250} = \frac{40000}{250} = 160 \text{ mm}$$



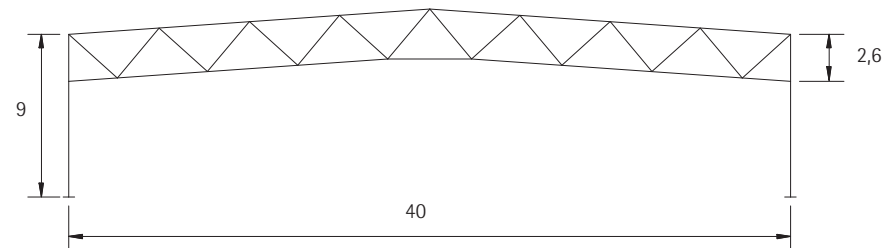


## 4.4

### CÁLCULO DEFINITIVO

Finalizado el dimensionado previo de la celosía se acomete su cálculo y comprobación definitivos, para lo cual se ha seleccionado un software de cálculo global de Estructura Metálica basado en métodos de cálculo matricial. [12]

Se introduce el pórtico del ejemplo de aplicación descrito anteriormente:



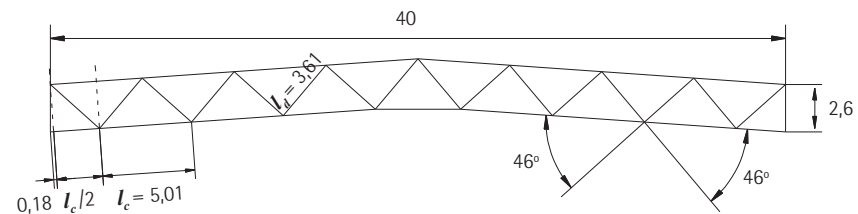
#### I. Determinación de cargas y sobrecargas a soportar por la celosía

Siguiendo las pautas de funcionamiento del software seleccionado, se introducen las cargas y sobrecargas bajo los criterios marcados en el predimensionado, teniendo en cuenta ahora la sobrecarga de viento.

En el caso particular del peso propio del dintel, señalar que será ahora el propio programa de cálculo el que, al incorporar los perfiles seleccionados en el predimensionado, lo tenga en cuenta de manera automática.

#### II. Definición de la geometría de la celosía.

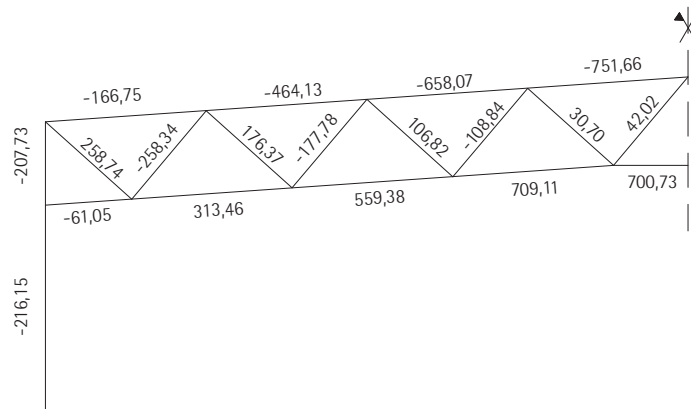
Se adopta como definitiva la diseñada en el punto correspondiente del predimensionado.



### III. Determinación de los esfuerzos axiales en las barras de la celosía.

En la discretización de la estructura y de la celosía en concreto, se tendrá en cuenta lo señalado como modelo de cálculo en el punto III apartado b) del Procedimiento de Cálculo y Recomendaciones Iniciales propuesto: "Se asume que los cordones son elementos continuos y que las diagonales se comportan como barras articuladas en sus extremos". Posteriormente, en el dimensionado de barras comprimidas, se utilizarán las longitudes eficaces de pandeo.

Los resultados aportados por el programa de cálculo utilizado, correspondientes a la envolvente de esfuerzos pésimos de cada barra, son los siguientes:



### IV. Dimensionado de barras.

Cordón superior:

Para su dimensionado, se ha tomado el esfuerzo de cálculo máximo suministrado por el programa:  $N_{Sd.c.sup} = -751,66 \text{ kN}$ .

Este valor es inferior y próximo al manejo en el predimensionado ( $-785,38 \text{ kN}$ ), por lo que el Perfil Tubular seleccionado entonces para el cordón superior: RHS 200 x 150 x 8 con acero S 355 J2H, se adopta como definitivo.

PERFIL (RHS)	Masa (kg/m)	$\lambda \leq 200$	$h/t < 37,2$	$15 < b/t < 25$	$\chi A \geq 21,17 \text{ cm}^2$	
200 x 150 x 8	40,2	75,78	25,0	18,8	30,89	OK



### Cordón inferior:

El esfuerzo de cálculo máximo a tracción suministrado por el programa es de  $N_{Sd.c.inf} = 709,11 \text{ kN}$ , inferior y no muy lejano al utilizado para su predimensionado ( $785,38 \text{ kN}$ ), por lo que en un principio podría mantenerse el Perfil Tubular entonces seleccionado.

No obstante, como se anticipaba en el predimensionado, el primer tramo del cordón inferior del dintel está sometido a esfuerzo de compresión ( $N_{Sd.c.inf} = -61,05 \text{ kN}$ ), lo que obliga a arriostrarlo lateralmente para asegurar su correcto funcionamiento. Como alternativa podría realizarse un estudio sobre el Perfil Tubular adoptado en el predimensionado (RHS 120 x 120 x 8 con acero S 355 J2H), con el objeto de comprobar su suficiencia sin arriostros laterales, sin embargo, ello exigiría la aplicación de un método relativamente complejo que queda fuera del ámbito de esta Guía.

A continuación se desarrolla el cálculo de la longitud máxima admisible entre puntos arriostrados para que el perfil RHS 120 x 120 x 8 pueda soportar el esfuerzo de compresión señalado. Esto permitirá establecer los puntos necesarios de arriostros laterales del citado perfil.

Cordón inferior: long. máx. admisible entre puntos arriostrados

$$\text{Resistencia axial: } N_{Rd} = \chi \cdot A \frac{f_y}{\gamma_M} \geq N_{Sd.c.inf} \quad [4]$$

$$\bar{\lambda} \text{ (esbeltez adimensional)} = \frac{\lambda}{\lambda_E} = \frac{0,9 \cdot l_{t,p} / i_{\min}}{\pi \cdot \sqrt{E / f_y}}, \text{ siendo } l_{t,p}$$

la longitud teórica entre puntos arriostrados.

Perfil Tubular seleccionado:

- RHS 120 x 120 x 8 (S 355 J2H)
- $f_y = 355 \text{ N/mm}^2$
- Supuesto un material con un  $f_y$  mínimo garantizado, por lo que se considera  $\gamma_M = 1$  [2]

Longitud eficaz de pandeo en el plano perpendicular a la celosía:  $l_{e,c} = 0,9 \times$  longitud teórica entre *puntos arriostrados*.

Limitaciones: La NBE EA-95

- recomienda una esbeltez  $\bar{\lambda} \leq 200$  para piezas comprimidas.
- establece una esbeltez  $\bar{\lambda} \leq 300$  para piezas traccionadas.

Cordón inferior: long. máx. admisible entre puntos arriostrados

Esfuerzo axial de cálculo:  $N_{Sd.c.inf} = -61,05 \text{ kN}$

$$\chi \geq \frac{61,05 \text{ [kN]} \cdot 1}{355 \cdot 10^{-1} \text{ [kN/cm}^2\text{]} \cdot 33,6} = 0,0512$$

Curva Europea "b" de pandeo

$$\chi = f(\bar{\lambda}) \left\{ \begin{array}{l} \phi = 0,5 [1 + 0,34 (\bar{\lambda} - 0,2) + \bar{\lambda}^2] \\ \chi = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \bar{\lambda}^2}} ; \text{ siempre } \chi \leq 1 \end{array} \right. \quad [4] [5]$$

$$\chi \geq 0,0512 \Rightarrow \bar{\lambda} \leq 4,23$$

$$\bar{\lambda} = \frac{0,9 \cdot l_{t,p} / 4,49}{\pi \cdot \sqrt{210000 / 355}} \leq 4,23 \Rightarrow l_{t,p} \leq 16 \text{ m}$$



Cordón inferior: longitud máxima admisible entre puntos arriostrados

Resumen:

1. El cálculo señala la necesidad de disponer sobre el cordón inferior arriostramientos laterales cada 16 m máximo entre ellos, para garantizar su correcto funcionamiento como pieza comprimida ( $l_{t,p} \leq 16 \text{ m}$ ).
2. Limitaciones de la esbeltez según la NBE EA-95:

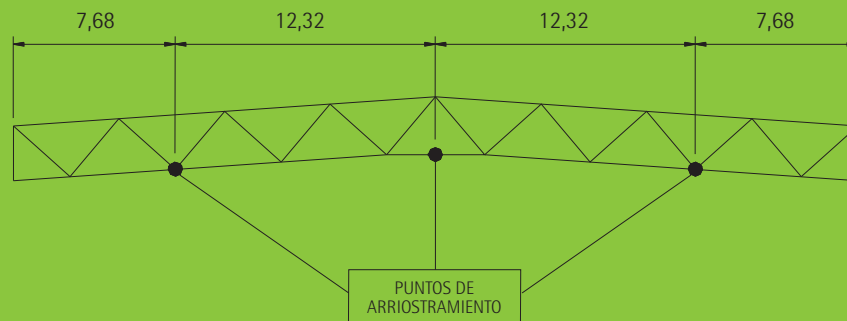
$$\lambda = \frac{0,9 \cdot l_{t,p}}{i} \leq 200 \Rightarrow l_{t,p} \leq \frac{200 \cdot 4,49}{0,9} = 998 \text{ cm} \approx 10 \text{ m} \text{ para piezas comprimidas}$$

$$\lambda = \frac{0,9 \cdot l_{t,p}}{i} \leq 300 \Rightarrow l_{t,p} \leq \frac{300 \cdot 4,49}{0,9} = 1497 \text{ cm} \approx 15 \text{ m} \text{ para piezas traccionadas}$$

Conclusiones:

1. En los tramos del cordón sometidos a esfuerzos de compresión se deben disponer los arriostramientos laterales con una separación menor de 16 m, recomendándose (NBE EA-95) se haga inferior a 10 m.
2. Los tramos sometidos a tracción (NBE EA-95) se deben arriostrar en puntos cuya separación no exceda de 15 m.

Solución adoptada:





### Diagonales

Para el predimensionado de las diagonales, se introdujo la simplificación de seleccionar provisionalmente un Perfil Tubular para las comprimidas (RHS 100x100x4) y otro Perfil Tubular diferente para las traccionadas (RHS 80x80x4). Sin embargo ahora, conociendo el esfuerzo de cálculo máximo que ha de soportar cada barra, se tiene la posibilidad de seleccionar y unificar perfiles bajo criterios de grado de sollicitación.

Para el ejemplo que nos ocupa, se definen únicamente dos tipos de Perfiles Tubulares para las diagonales, el más robusto para las externas (las más cargadas) y el más esbelto para las centrales (las menos solicitadas).

#### Diagonales externas:

Las cuatro primeras diagonales de ambos extremos del dintel (8 en total) se unifican, seleccionando para todas ellas un mismo Perfil Tubular.

Para su dimensionado, se ha tomado el esfuerzo de cálculo máximo suministrado por el programa correspondiente a la diagonal del grupo en situación más desfavorable, y que coincide con el de la diagonal más comprimida del grupo  $N_{sd,d,e} = -258,34 \text{ kN}$ .

También en este caso, como sucedió con el cordón superior, el valor señalado es inferior y próximo al utilizado para el predimensionado de las diagonales a compresión (  $-283,87 \text{ kN}$  ), por lo que el Perfil Tubular seleccionado entonces: **RHS 100 x 100 x 4** con acero **S 275 JOH**, se adopta como definitivo.

PERFIL (RHS)	Masa (kg/m)	$\lambda \leq 200$	$h/t < 37,2$	$\chi_A \geq 9,39 \text{ cm}^2$	
100 x 100 x 4	11,7	69,6	25,0	10,80	OK

#### Diagonales centrales:

Las diagonales centrales del dintel (8 en total) también se unifican, seleccionando para todas ellas un mismo Perfil Tubular.

También en este caso, para el dimensionado, se ha tomado el esfuerzo de cálculo máximo suministrado por el programa correspondiente a la diagonal del grupo en situación más desfavorable, y que coincide también con el de la diagonal más comprimida del grupo  $N_{sd,d,e} = -108,84 \text{ kN}$ .

Diagonales centrales:

$$N_{Rd} = \chi \cdot A \frac{f_y}{\gamma_M} \geq N_{Sd.d.c} \quad [4]$$

$\chi$  (factor de reducción) =  $f(\bar{\lambda})$  (esbeltez adimensional)  $\rightarrow$   
Curvas Europeas de Pandeo  $\rightarrow$  (curva "b" para elementos conformados en frío utilizando el límite elástico del material de base  $f_{yb}$ ). [4]

$$\bar{\lambda} \text{ (esbeltez adimensional)} = \frac{\lambda}{\lambda_E} = \frac{l_{e,d}/i_{min}}{\pi \cdot \sqrt{E/f_y}}, \text{ siendo } i_{min}$$

el radio de giro mínimo del perfil seleccionado.

Longitud eficaz de pandeo:  $l_{e,d} = 0,75 \cdot l_d$

Recomendaciones:

- $f_y = 275 \text{ N/mm}^2$
- Adoptar un material con un  $f_y$  mínimo garantizado, por lo que se considerará  $\gamma_M = 1$  [2]
- $t \leq 6 \text{ mm}$
- $h/t$  del perfil  $< 37,2$

Diagonales centrales:

$$\text{A partir de: } \bar{\lambda} = \frac{(0,75 \cdot 361)/i_{min}}{\pi \cdot \sqrt{210000}/275} = \frac{3,12}{i_{min}}$$

y siendo (parametrización de la Curva Europea "b" de Pandeo):

$$\chi = f(\bar{\lambda}) \left\{ \begin{array}{l} \phi = 0,5 [1 + 0,34 (\bar{\lambda} - 0,2) + \bar{\lambda}^2] \\ \chi = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \bar{\lambda}^2}} \end{array} \right. ; \text{ siempre } \chi \leq 1$$

[4] [5]

el perfil elegido deberá cumplir que:

$$N_{Rd} \geq N_{Sd.d.c} \Rightarrow \chi \cdot A \geq \frac{108,84 [kN] \cdot 1}{275 \cdot 10^{-1} [kN/cm^2]} = 3,96 \text{ cm}^2$$

El perfil RHS 80 x 80 x 4, seleccionado provisionalmente en el predimensionado para las diagonales a tracción, resulta disponer ahora de un relativo margen, lo que sugiere la comprobación de otros perfiles de dimensiones inferiores.

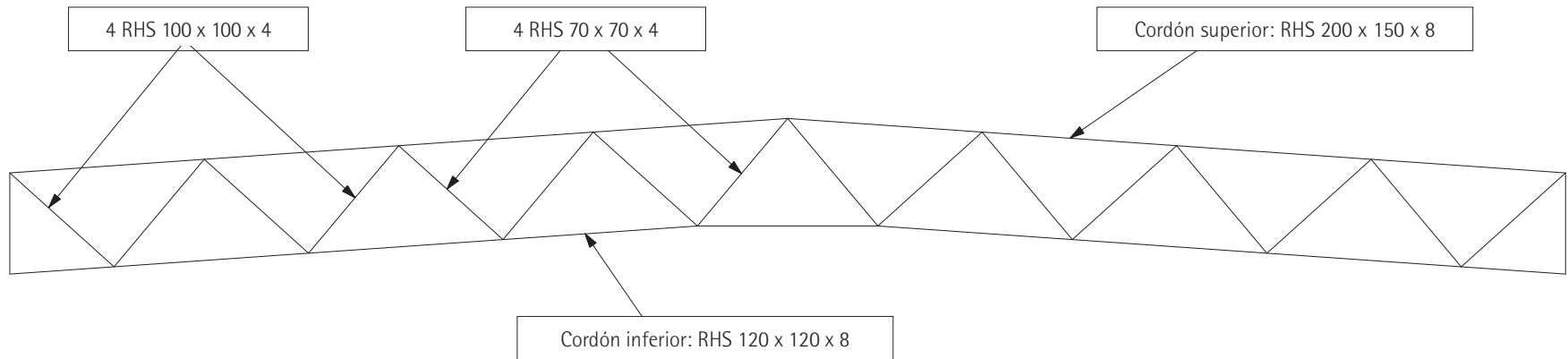
Se adopta como definitivo para las diagonales centrales un Perfil Tubular RHS 70 x 70 x 4 con acero S 275 J0H.

Diagonales centrales. Selección definitiva del perfil:

Para la elección del perfil tubular adecuado, y en general para cualquier tipo de perfil, es recomendable la consulta previa de existencias al fabricante, para así poder adoptar como perfiles "alternativa" aquellos que dispongan de stock garantizado.

	PERFIL (RHS)	Masa (kg/m)	$\lambda \leq 200$	$h/t < 37,2$	$\chi A \geq 3,96 \text{ cm}^2$	
Alternativas	80 x 80 x 4	9,22	88,2	20	6,86	OK
	70 x 70 x 4	7,97	104,4	17,5	5,00	OK

En la figura siguiente se muestra la recopilación de los perfiles adoptados en el proceso de cálculo definitivo del dintel en celosía:



## V. Diseño de uniones.

### Geometría

Como ya se ha mencionado con anterioridad, razonamientos basados en reducción de costes recomiendan la utilización de uniones en K con espaciamiento. Es por ello por lo que se ha adoptado para la celosía la tipología estructural "WARREN".

Por otro lado, la introducción de la geometría adoptada para la celosía en el software de cálculo, se ha realizado inicialmente con las líneas ejes de los elementos, concurrentes en los nudos.

Al incorporar ahora la perfilera adoptada, se está en condiciones de comprobar nudo a nudo si efectivamente se dispone de espaciamiento entre las diagonales concurrentes en el nudo o no, y si, existiendo espaciamiento, este satisface el campo de validez de las ecuaciones de comprobación de la eficiencia del nudo.

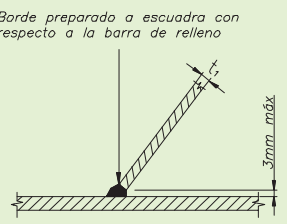
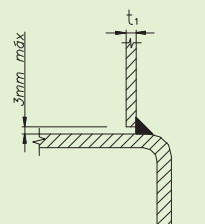
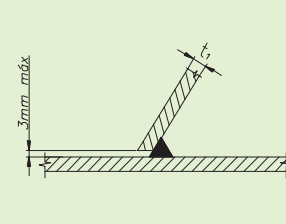
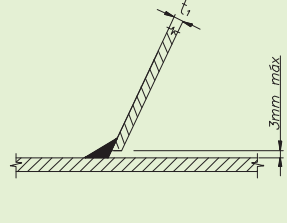
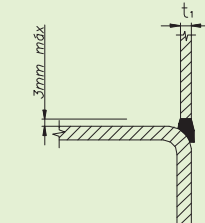
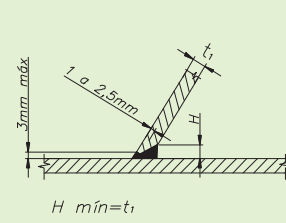
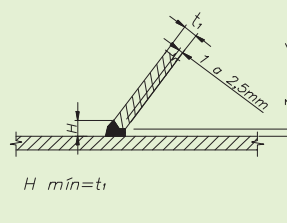
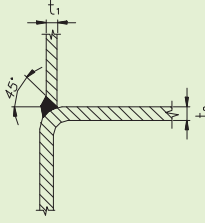
Si como consecuencia de lo anterior, o como recurso para mejorar la eficiencia del nudo, fuera necesaria la modificación de la geometría del mismo, las excentricidades provocadas deberán también satisfacer los límites de validez de las ecuaciones de comprobación de la eficiencia. Por tanto, el diseño definitivo de los nudos, se concretará en gran medida en paralelo con la comprobación de su eficiencia.

También conviene recordar en este punto, que para dar por finalizado el proceso de verificación de la eficiencia de los nudos y cálculo de la celosía, será necesario comprobar antes sobre el cordón superior (comprimido), la interacción entre el esfuerzo axial y el flector actuante efecto directo de las excentricidades adoptadas. Además de la comprobación del cumplimiento de las limitaciones para las deformaciones.

## Soldadura

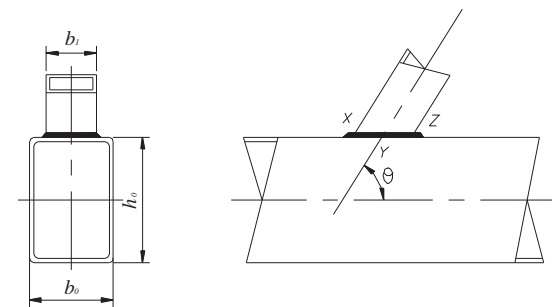
La unión soldada de las diagonales a los cordones se realizará en todo el perímetro del perfil tubular, mediante soldadura a tope, soldadura en ángulo o combinación de ambas (ver detalles constructivos en figura)

### DETALLES SOLDADURA

<p>X<sub>1</sub></p> <p>Borde preparado a escuadra con respecto a la barra de relleno</p> 	<p>Y<sub>1</sub></p> 	<p>Z<sub>1</sub></p> 
<p>X<sub>2</sub></p> 	<p>Y<sub>2</sub></p> 	<p>Z<sub>2</sub></p>  <p>H mín=t<sub>1</sub></p>
<p>X<sub>3</sub></p>  <p>H mín=t<sub>1</sub></p>	<p>Y<sub>3</sub></p> 	

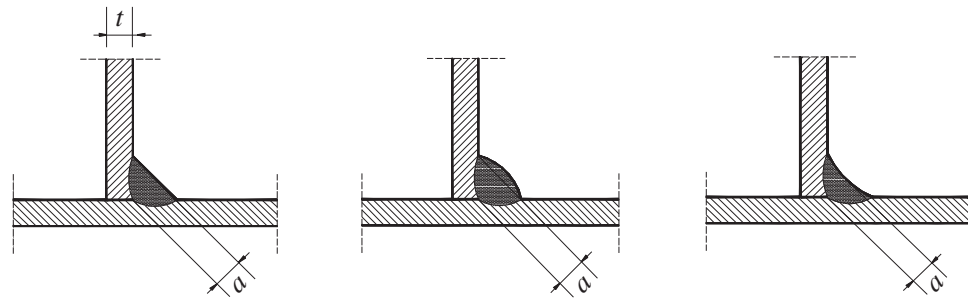
Condiciones básicas de aplicación de soldaduras en ángulo y a tope.  
t<sub>1</sub> = espesor de pared de la barra de relleno

X <sub>1</sub>	$30^\circ \leq \theta \leq 60^\circ$ y todos los espesores	$b_1/b_0 \leq 0,85$ y $t_1 < 8 \text{ mm}$	$\theta \geq 30^\circ$ y $t_1 < 8 \text{ mm}$
X <sub>2</sub>	$\theta > 60^\circ$ y $t_1 < 8 \text{ mm}$	$0,85 < b_1/b_0 \leq 1,00$ y $t_1 < 8 \text{ mm}$	$\theta \geq 30^\circ$ y $t_1 \geq 8 \text{ mm}$
X <sub>3</sub>	$\theta > 60^\circ$ y $t_1 \geq 8 \text{ mm}$	$b_1/b_0 \leq 1,00$ y $t_1 \geq 8 \text{ mm}$	





El espesor de garganta mínimo para las soldaduras, considerando la utilización de un material de aportación y tipo de acero adecuados, será:



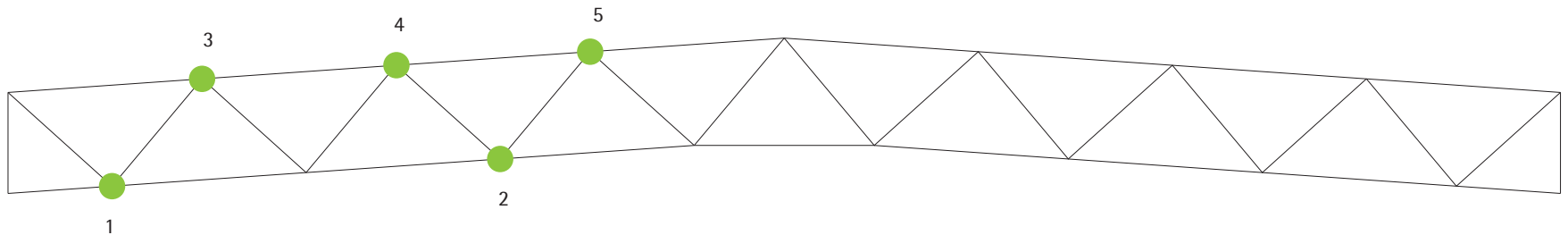
$$a \geq 1,00 t, \text{ para S 275}$$

$$a \geq 1,07 t, \text{ para S 355}$$

#### VI. Comprobación de la eficiencia de los nudos de la celosía.

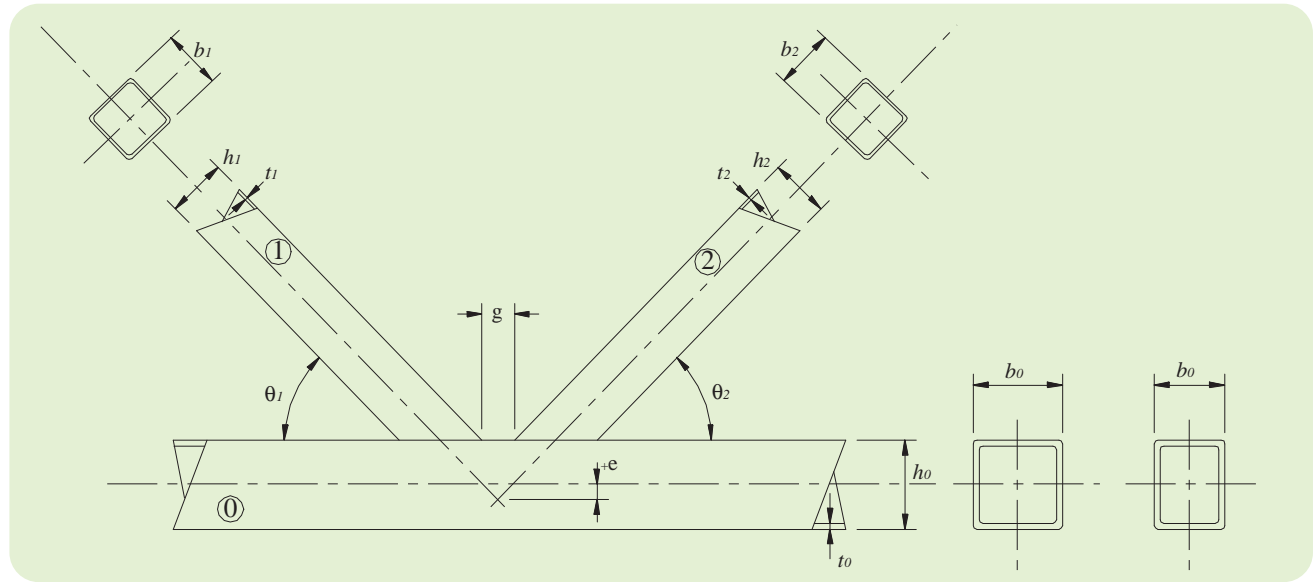
Todos los nudos de la celosía se diseñan en forma de K, con espaciamento entre diagonales en su encuentro con el cordón. No obstante, en el ejemplo que nos ocupa, se pueden distinguir cinco tipos distintos de nudos, atendiendo a la tipología y dimensiones de las barras que los forman. Por lo tanto, tendrán que realizarse un mínimo de cinco comprobaciones de eficiencia, una por cada tipo de nudo, y sobre aquel de cada tipo que se encuentre en la situación más desfavorable.

Según esto, los nudos a comprobar serían los siguientes:



Con el objeto de simplificar la exposición de los cálculos y favorecer la comprensión de los mismos, se desarrollará únicamente la formulación correspondiente a dos de los cinco nudos señalados: los números 1 y 3, los más solicitados en cada cordón.

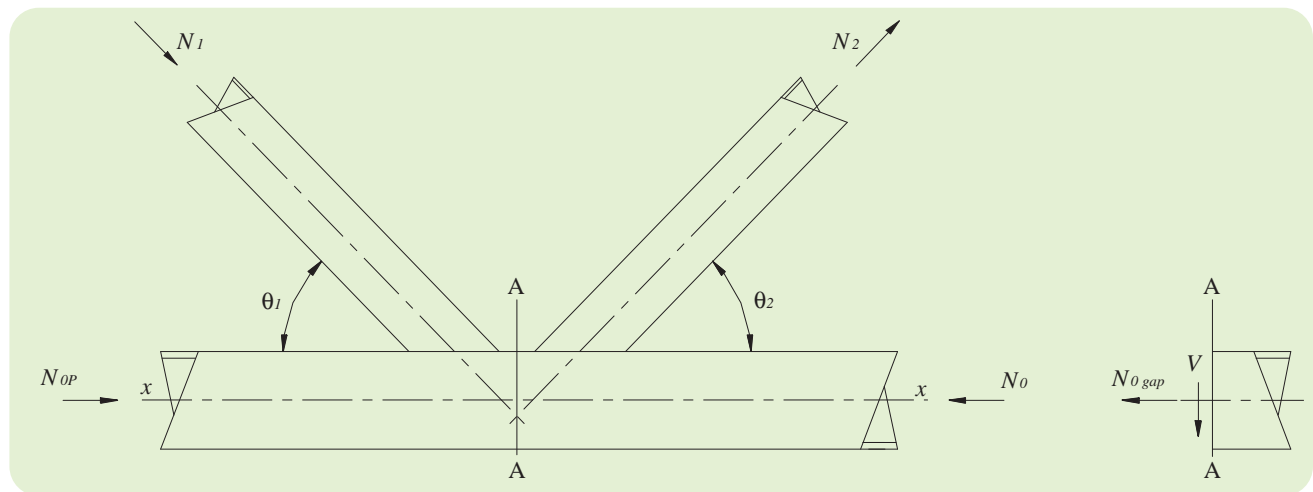
Parámetros de la geometría del nudo en K:



Esfuerzos actuantes en el nudo en K:

$$N_{0gap} = \left| \overrightarrow{N_{1x}} + \overrightarrow{N_{0P}} \right|$$

$$N_{1x} = N_1 \cdot \cos\theta_1$$



COMPROBACIÓN DE LA EFICIENCIA DEL NUDO 1

MODELO: Uniones en K con espaciamento entre cordón RHS-cuadrado y diagonales RHS-cuadrados

[6]

Rangos de validez. Tabla 2.

$\beta = \frac{b_1 + b_2 + h_1 + h_2}{4b_0}$	$b_i/t_i$		$b_o/t_o$	$\frac{b_1 + b_2}{2 \cdot b_i}$	$g$	$e$
$\beta \geq 0,35$ adicionalmente $\frac{b_i}{b_0} \geq 0,1 + 0,01 \frac{b_o}{t_o}$	Compresión $\leq 1,25 \sqrt{\frac{E}{f_{y1}}}$ $\leq 35$	Tracción $\leq 35$	$15 \leq \frac{b_o}{t_o} \leq 35$  (*)	$0,6 \leq \frac{b_1 + b_2}{2 \cdot b_i} \leq 1,3$  (*)	$0,5(1 - \beta) \leq \frac{g}{b_o} \leq 1,5(1 - \beta)$ adicionalmente $g \geq t_1 + t_2$ (**)	$-0,55 \leq \frac{e}{h_o} \leq 0,25$

(\*) Si no se respetan estos límites, la unión puede comprobarse como si tuviera un cordón rectangular.

(\*\*) Si  $\frac{g}{b_o} > 1,5(1 - \beta)$  tratar como una unión en T ó Y.

Resistencia de cálculo de las uniones:

Base: *plastificación de la cara del cordón* ( $\beta \leq 1,0$ )

$$N_{Rd,i}^* = 8,9 \cdot \frac{f_{y0} \cdot t_0^2}{\text{sen}\theta_i} \cdot \beta \cdot \gamma^{0,5} \cdot f(n) \geq N_{Sd,i} \quad \text{donde:}$$

$$\gamma = \frac{b_o}{2 \cdot t_o}$$

$$f(n) = 1,0 \text{ para } n \geq 0 \text{ (tracción)}$$

$$f(n) = 1,3 + \frac{0,4}{\beta} \cdot n \leq 1,0 \text{ para } n < 0 \text{ (compresión)}$$

$$n = \frac{N_o}{A_o \cdot f_{yo}}$$

## COMPROBACIÓN DE LA EFICIENCIA DEL NUDO 1

CORDÓN: RHS 120 x 120 x 8 (S 355 J2H)

DIAGONALES: 2 RHS 100 x 100 x 4 (S 275 J0H)

Comprobación del cumplimiento de los rangos de validez. Tabla 2.

$\beta = \frac{b_1 + b_2 + h_1 + h_2}{4b_0}$	$b_i/t_i$		$b_o/t_o$	$\frac{b_1 + b_2}{2 \cdot b_i}$	$g$	$e$
$\beta = 0,83 \geq 0,35$ adicionalmente $0,83 \geq 0,1 + 0,01 \frac{120}{8} = 0,25$	Compresión	Tracción	$15 \leq 15 \leq 35$	$0,6 \leq 1 \leq 1,3$	$0,5(1 - 0,83) \leq \frac{g}{120} \leq 1,5(1 - 0,83)$ $10 \text{ mm} \leq g \leq 30 \text{ mm}$ adicionalmente $g \geq 4 + 4 = 8 \text{ mm}$	$-0,55 \leq \frac{e}{120} \leq 0,25$ $-66 \text{ mm} \leq e \leq 30 \text{ mm}$
	$25 \leq 1,25 \sqrt{\frac{2,1 \times 10^4}{275}} = 34,5$ $25 \leq 35$	$25 \leq 35$				

Resistencia de cálculo de las uniones:

Base: *plastificación de la cara del cordón* ( $\beta = 0,83 \leq 1,0$ )

$$\gamma = \frac{120}{2 \times 8} = 7,5$$

$$N_0 = -61,05 \text{ kN}$$

$$n = \frac{-61,05 \text{ [kN]}}{33,6 \times 10^2 \text{ [mm}^2\text{]} \times 355 \times 10^{-3} \text{ [kN/mm}^2\text{]}} = -0,05 \leq 0$$

$$f(n) = 1,3 + \frac{0,4}{0,83} \times (-0,05) = 1,28 \Rightarrow f(n) = 1,0$$

$$N_{Rd.1}^* = N_{Rd.2}^* = 8,9 \times \frac{355 \times 8^2}{\text{sen}46^\circ} \times 0,83 \times 7,5^{0,5} \times 1,0 = 638,96 \text{ kN}$$

$$N_{Rd.1y2}^* = 638,96 \text{ kN} \geq |N_{Sd.1}| = |-258,34| \text{ kN} \text{ y también } \geq N_{Sd.2} = 258,74 \text{ kN}$$

O.K.

**CONCLUSIÓN:** El nudo 1 funcionará correctamente para un espaciamiento "g" entre 10 mm y 30 mm y una excentricidad "e" entre -66 mm y 30 mm.

**Nota:** La utilización del programa CIDJOINT para la ejecución automática de estas comprobaciones puede dar lugar a resultados ligeramente diferentes, debido al mayor número de decimales aportadas por el sistema a los cálculos.

### COMPROBACIÓN DE LA EFICIENCIA DEL NUDO 3

MODELO: Uniones en K con espaciamiento entre cordón RHS-rectangular y diagonales RHS-cuadrados

[6]

Rangos de validez. Tabla 3.

$\beta = \frac{b_1 + b_2 + h_1 + h_2}{4b_0}$	$b_i/t_i$		$h_i/b_i$	$\frac{b_0/t_0}{h_0/t_0}$	$g$	$e$
$\beta \geq 0,35$ adicionalmente $\frac{b_i}{b_0} \geq 0,1 + 0,01 \frac{b_0}{t_0}$	Compresión $\leq 1,25 \sqrt{\frac{E}{f_{y1}}}$ $\leq 35$	Tracción $\leq 35$	$0,5 \leq \frac{h_i}{b_i} \leq 2$	$\leq 35$	$0,5(1 - \beta) \leq \frac{g}{b_0} \leq 1,5(1 - \beta)$ adicionalmente $g \geq t_1 + t_2$ (*)	$-0,55 \leq \frac{e}{h_0} \leq 0,25$

(\*) Si  $\frac{g}{b_0} > 1,5(1 - \beta)$  tratar como una unión en T ó Y.

Resistencia de cálculo de las uniones:

Base: *fluencia de la cara del cordón*

$$N_{Rd,i}^* = 8,9 \cdot \frac{f_{y0} \cdot t_0^2}{\text{sen}\theta_i} \cdot \beta \cdot \gamma^{0,5} \cdot f(n) \geq N_{Sd,i} \quad \text{donde:}$$

$$\gamma = \frac{b_0}{2 \cdot t_0}$$

$$f(n) = 1,0 \text{ para } n \geq 0 \text{ (tracción)}$$

$$f(n) = 1,3 + \frac{0,4}{\beta} \cdot n \leq 1,0 \text{ para } n < 0 \text{ (compresión)}$$

$$n = \frac{N_o}{A_o \cdot f_{yo}}$$

### COMPROBACIÓN DE LA EFICIENCIA DEL NUDO 3

CORDÓN: RHS 200 x 150 x 8 (S 355 J2H)

DIAGONALES: 2 RHS 100 x 100 x 4 (S 275 J0H)

Comprobación del cumplimiento de los rangos de validez. Tabla 3.

$\beta = \frac{b_1 + b_2 + h_1 + h_2}{4b_0}$	$b_i / t_i$		$h_i / b_i$	$\frac{b_0 / t_0}{h_0 / t_0}$	$g$	$e$
$\beta = 0,67 \geq 0,35$ adicionalmente $0,67 \geq 0,1 + 0,01 \frac{150}{8} = 0,29$	Compresión	Tracción	$0,5 \leq 1 \leq 2$	$18,75 \leq 35$  $25 \leq 35$	$0,5(1 - 0,67) \leq \frac{g}{150} \leq 1,5(1 - 0,67)$ $25 \text{ mm} \leq g \leq 75 \text{ mm}$ adicionalmente $g \geq 4 + 4 = 8 \text{ mm}$	$-0,55 \leq \frac{e}{200} \leq 0,25$ $-110 \text{ mm} \leq e \leq 50 \text{ mm}$
	$25 \leq 1,25 \sqrt{\frac{2,1 \times 10^4}{275}} = 34,5$	$25 \leq 35$				

Resistencia de cálculo de las uniones:

Base: fluencia de la cara del cordón

$$\gamma = \frac{150}{2 \times 8} = 9,38$$

$$N_0 = -464,13 \text{ kN}$$

$$n = \frac{-464,13 \text{ [kN]}}{51,2 \times 10^2 \text{ [mm}^2\text{]} \times 355 \times 10^{-3} \text{ [kN/mm}^2\text{]}} = -0,26 \leq 0$$

$$f(n) = 1,3 + \frac{0,4}{0,67} (-0,26) = 1,15 \Rightarrow f(n) = 1,0$$

$$N_{Rd.1}^* = N_{Rd.2}^* = 8,9 \times \frac{355 \times 8^2}{\text{sen} 46^\circ} \times 0,67 \times 9,38^{0,5} \times 1,0 = 573,95 \text{ kN}$$

$$N_{Rd.1y2}^* = 573,95 \text{ kN} \geq |N_{Sd.1}| = | -258,34 | \text{ kN} \quad \text{y también} \geq N_{Sd.2} = 176,37 \text{ kN}$$

O.K.

**Nota:** La utilización del programa CIDJOINT para la ejecución automática de estas comprobaciones puede dar lugar a resultados ligeramente diferentes, debido al mayor número de decimales aportadas por el sistema a los cálculos.

COMPROBACIÓN DE LA EFICIENCIA DEL NUDO 3

Base: *esfuerzo cortante del cordón*

$$N_{Rd.i}^* = \frac{f_{y0} \cdot A_v}{\sqrt{3} \cdot \text{sen}\theta_i} \geq N_{Sd.i}$$

$$N_{Rd.0gap}^* = (A_0 - A_v) f_{y0} + A_v \cdot f_{y0} \left[ 1 - (V/V_p)^2 \right]^{0.5} \geq N_{Sd.0gap}$$

donde:

$$A_v = (2h_0 + \alpha \cdot b_0) \cdot t_0 \quad \alpha = \left( \frac{1}{1 + \frac{4g^2}{3t_0^2}} \right)^{0.5}$$

$$V_p = \frac{f_{y0} \cdot A_v}{\sqrt{3}}$$

$$V = \text{máx.} (N_i \cdot \text{sen}\theta_i)$$

Base: *anchura eficaz*

$$N_{Rd.i}^* = f_{yi} \cdot t_i [2h_i - 4t_i + b_i + b_e] \geq N_{Sd.i} \quad \text{donde:} \quad b_e = \frac{10}{b_0/t_0} \cdot \frac{f_{y0} \cdot t_0}{f_{yi} \cdot t_i} \cdot b_i \leq b_i$$

Base: *punzonamiento* (se debe comprobar cuando se cumpla:  $\beta \leq 1 - \frac{1}{\gamma}$ )

$$N_{Rd.i}^* = \frac{f_{y0} \cdot t_0}{\sqrt{3} \cdot \text{sen}\theta_i} \cdot \left[ \frac{2h_i}{\text{sen}\theta_i} + b_i + b_{ep} \right] \geq N_{Sd.i} \quad \text{donde:} \quad b_{ep} = \frac{10}{b_0/t_0} \cdot b_i \leq b_i$$

COMPROBACIÓN DE LA EFICIENCIA DEL NUDO 3

Base: *esfuerzo cortante del cordón*

Con el fin de cubrir un margen de error en la operación de corte de las diagonales, se aconseja adoptar como espaciamiento "g" un valor intermedio de su rango de validez, entre 25 y 75, p.e.: g=55 mm.

$$\alpha = \left( \frac{1}{1 + \frac{4 \times 55^2}{3 \times 8^2}} \right)^{0,5} = 0,12$$

$$A_v = (2 \times 200 + 0,12 \times 150) \cdot 8 = 3349,98 \text{ mm}^2$$

$$N_{Rd.1}^* = N_{Rd.2}^* = \frac{355 \times 10^{-3} \times 3349,98}{\sqrt{3} \times \text{sen} 46^\circ} = 954,50 \text{ kN}$$

$$N_{Rd.1y2}^* = 954,50 \text{ kN} > |N_{Sd.1}| = |-258,34| \text{ kN} \text{ y también } > N_{Sd.2} = 176,37 \text{ kN}$$

O.K.

$$N_{Sd.0 \text{ gap}} = 258,34 \times \cos 46^\circ + 166,75 = 346,21 \text{ kN}$$

$$V = 258,34 \times \text{sen} 46^\circ = 185,83 \text{ kN}$$

$$V_p = \frac{355 \times 10^{-3} \times 3349,98}{\sqrt{3}} = 686,61 \text{ kN}$$

$$N_{Rd.0 \text{ gap}}^* = (51,2 \times 10^2 - 3349,98) \times 355 \times 10^{-3} + 3349,98 \times 355 \times 10^{-3} \left[ 1 - \left( \frac{185,83}{686,61} \right)^2 \right]^{0,5} = 1773,22 \text{ kN} (1) \geq N_{Sd.0 \text{ gap}} = 346,21 \text{ kN} \quad \text{O.K.}$$

Base: *anchura eficaz*

$$b_e = \frac{10}{150/8} \times \frac{355 \times 8}{275 \times 4} \times 100 = 137,70 \text{ mm} \geq b_1 = b_2 \Rightarrow b_e = b_1 = b_2 = 100 \text{ mm}$$

$$\Rightarrow N_{Rd.1y2}^* = 275 \times 10^{-3} \times 4 [2 \times 100 - 4 \times 4 + 100 + 100] = 422,4 \text{ kN}$$

$$N_{Rd.1y2}^* = 422,4 \text{ kN} > |N_{Sd.1}| = |-258,34| \text{ kN} \text{ y también } > N_{Sd.2} = 176,37 \text{ kN} \quad \text{O.K.}$$

Base: *punzonamiento* (siendo  $\gamma = 9,38$  y  $\beta = 0,67$  se cumple que:  $0,67 \leq 1 - \frac{1}{9,38} = 0,89$ )

$$b_{ep} = \frac{10}{150/8} \times 100 = 53,33 \text{ mm} \leq 100$$

$$\Rightarrow N_{Rd.1}^* = N_{Rd.2}^* = \frac{355 \times 10^{-3} \times 8}{\sqrt{3} \cdot \text{sen} 46^\circ} \times \left[ \frac{2 \times 100}{\text{sen} 46^\circ} + 100 + 53,33 \right] = 983,26 \text{ kN}$$

$$N_{Rd.1y2}^* = 983,26 \text{ kN} > |N_{Sd.1}| = |-258,34| \text{ kN} \text{ y también } > N_{Sd.2} = 176,37 \text{ kN} \quad \text{O.K.}$$

**CONCLUSIÓN:** El nudo 3 funcionará correctamente para un espaciamiento "g" entre 25 mm y 75 mm y una excentricidad "e" entre -110 mm y 50 mm.

**Nota:** La utilización del programa CIDJOINT para la ejecución automática de estas comprobaciones puede dar lugar a resultados ligeramente diferentes, debido al mayor número de decimales aportadas por el sistema a los cálculos.

- (1) CIDJOINT tiene implementada la no consideración de los esfuerzos cortantes en esta comprobación cuando estos no superan el 50 % de la capacidad a cortante del cordón. Es por ello por lo que en este caso CIDJOINT da como resultado para  $N_{Rd.0 \text{ gap}}^*$  un valor de 1819,11 kN.



Comprobados todos los nudos y resultando todos ellos eficientes, se recomienda ahora unificar los espaciamientos entre diagonales, con el fin de simplificar en la medida de lo posible la fabricación de la celosía, incorporando de este modo además, un margen de tolerancia para la operación de corte. Se trata de adoptar por tanto un número reducido de valores de "g" diferentes, de manera que se favorezca el armado de la celosía sin errores.

Unificación del espaciamiento (g) entre diagonales en la celosía:

NUDO TIPO		DIAGONALES	$\beta = \frac{b_1 + b_2 + h_1 + h_2}{4b_0}$	$0,5(1-\beta) \leq \frac{g}{b_0} \leq 1,5(1-\beta)$ adicionalmente $g \geq t_1 + t_2$	Espaciamiento (g) adoptado
CORDÓN SUPERIOR RHS 200 x 150 x 8	3	RHS 100 x 100 x 4 (-) RHS 100 x 100 x 4 (+)	0,67	$25 \text{ mm} \leq g \leq 75 \text{ mm}$ $g \geq 8 \text{ mm}$	g=55 mm
	4	RHS 100 x 100 x 4 (-) RHS 70 x 70 x 4 (+)	0,57	$32,5 \text{ mm} \leq g \leq 97,5 \text{ mm}$ $g \geq 8 \text{ mm}$	
	5	RHS 70 x 70 x 4 (-) RHS 70 x 70 x 4 (+)	0,47	$40 \text{ mm} \leq g \leq 120 \text{ mm}$ $g \geq 8 \text{ mm}$	
CORDÓN INFERIOR RHS 120 x 120 x 8	1	RHS 100 x 100 x 4 (-) RHS 100 x 100 x 4 (+)	0,83	$10 \text{ mm} \leq g \leq 30 \text{ mm}$ $g \geq 8 \text{ mm}$	g=20 mm
	2	RHS 70 x 70 x 4 (-) RHS 70 x 70 x 4 (+)	0,58	$25 \text{ mm} \leq g \leq 75 \text{ mm}$ $g \geq 8 \text{ mm}$	g=55 mm

Para dar por terminada la verificación de la eficiencia de los nudos, queda únicamente por comprobar el efecto sobre el cordón comprimido de los momentos flectores causados por las excentricidades obtenidas.

Teniendo en cuenta que el nudo designado con el número 3 es el más solicitado de los que se forman sobre el cordón superior (comprimido), se realiza la comprobación sobre él.

Al espaciamiento entre diagonales adoptado para este nudo,  $g=55$  mm, le corresponde una excentricidad  $e= -0,45$  mm. No obstante, se ha llevado a cabo la comprobación sobre la situación más desfavorable, es decir, suponiendo el espaciamiento, dentro de su rango de validez ( $25 \text{ mm} \leq g \leq 75 \text{ mm}$ ), al que corresponde la máxima excentricidad, esto es,  $g = 25 \text{ mm} \Rightarrow e = -15,1 \text{ mm}$ . [6] [13]

$$\frac{N_{Sd}}{N_{Rd}} + k \cdot \frac{M_{Sd}}{M_{Rd}} \leq 1$$

$$N_{Sd} = N_0 = 464,13 \text{ kN}$$

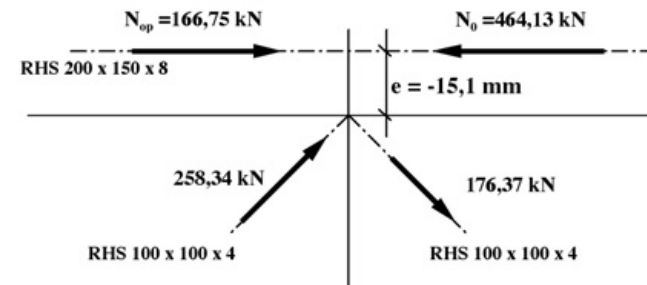
$$M_{Sd} = \frac{M_e}{2} = 2,25 \text{ kNm}$$

$$k = \text{Coef. de ponderación} \leq 1,5$$

$$N_{Rd} = \chi_y \cdot A_0 \cdot \frac{f_{y0}}{\gamma_M} = 1323,4 \text{ kN} \quad \left( \bar{\lambda}_y = \frac{5,90}{7,43} = 0,794 \Rightarrow \chi_y = 0,728 \right)$$

(Clase de sección del RHS 200 x 150 x 8 en S355J2 H : 1  $\Rightarrow M_{Rd}$  plástico)

$$M_{Rd} = W_{pl0} \cdot \frac{f_{y0}}{\gamma_M} = 344000 \text{ [mm}^3] \times \frac{0,355 \text{ [kN/mm}^2]}{1} = 122,12 \text{ kNm}$$



El momento causado por esta excentricidad será de  $M_e = (N_0 - N_{op}) \cdot e = (464,13 - 166,75) \times 0,0151 = 4,49 \text{ kNm}$

Siendo la longitud y la rigidez  $E \cdot I$  de los elementos del cordón superior, iguales a la izquierda y a la derecha del nudo, el momento  $M_e$  puede distribuirse por igual sobre ambos elementos, es decir, habrán de calcularse adicionalmente para  $M_{Sd} = 2,25 \text{ kNm}$ .

Tomando de los dos elementos el más crítico, se comprueba ahora como una viga-columna mediante la ecuación de interacción a flexo-compresión:[4][5]

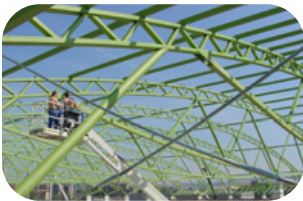
$$\frac{464,13}{1323,4} + k \cdot \frac{2,25}{122,12} = 0,351 + k \cdot 0,018 \leq 1 \text{ siendo } k \leq 1,5 \text{ es imposible que la situación analizada sea crítica, por lo que se dan definitivamente como válidos los resultados obtenidos anteriormente.}$$

## VII. Comprobación de las deformaciones:

Flecha máxima:

El valor de la flecha en el centro de la celosía, determinada por el programa en base a criterios elásticos, es de  $f = 91,50 \text{ mm}$ . La experiencia sitúa la flecha real obtenida en una celosía ejecutada empleando nudos en "k" con espaciamiento, en un 15 % sobre el valor anterior.

$$f_{real} = 91,50 \cdot 1,15 = 105 \text{ mm} < \frac{L}{250} = \frac{40000}{250} = 160 \text{ mm} \Rightarrow \text{O.K.}$$



→ **E**n la presente Guía se han utilizado únicamente Perfiles Tubulares según norma **UNE-EN 10219**: "Perfiles huecos para la construcción conformados en frío de acero no aleado y de grano fino"

→ Durante el desarrollo del proceso de cálculo expuesto, se ha mencionado en varias ocasiones la conveniencia, a la hora de abordar el diseño de cualquier estructura de acero, de consultar la disponibilidad en el mercado de los diferentes perfiles seleccionados. Trabajar con prontuarios actualizados y a ser posible verificados por Fabricantes y/o Distribuidores, es garantía de eliminación de problemas y de sobrecostes en el acopio de los materiales prescritos.

A través de la página Web del Instituto para la Construcción Tubular: [www.ICTubular.es](http://www.ICTubular.es), se puede acceder a los datos actualizados de las gamas productivas de los Fabricantes de Perfiles Tubulares Socios de

ICT, así como a la disponibilidad de cualquier tipo de Perfil Tubular por parte de los Distribuidores Socios de ICT.

Si se desea más información, la web del ICT permite enlazar directamente con las web particulares de los Socios y, en páginas posteriores, se aportan las direcciones completas para posibilitar los contactos directos con cada uno de ellos.

→ El cálculo y comprobación de los elementos de la celosía comprimidos o flexo-comprimidos, se ha realizado en base a la curva europea de pandeo "b", más favorable para el cálculo que la curva "c". Esto es posible siempre y cuando se tengan garantías de que el límite elástico del perfil tubular suministrado sea el del acero base antes de su conformado en frío ( $f_{yb}$ ). [4]

Los fabricantes de Perfiles Tubulares para la construcción conformados en frío licenciatarios de la Marca AENOR de producto certificado, **garantizan** que el límite elástico de los productos suministrados es el del acero base ( $f_{yb}$ ) antes del conformado en frío



→ En la tabla siguiente se recoge un resumen de la medición del dintel en celosía diseñado en la presente Guía:

ELEMENTO ESTRUCTURAL	PERFIL ADOPTADO	PESO (kg)	%	Kg/m <sup>2</sup>
Cordón Superior	RHS 200 x 150 x 8	1.611,36	49,8	13,48
Cordón Inferior	RHS 120 x 120 x 8	1.057,04	32,7	
Diagonales	8 RHS 100 x 100 x 4	338,38	17,5	
	8 RHS 70 x 70 x 4	229,72		
		3.236,50	100	

Como puede observarse, la contribución del cordón superior al peso total de la celosía es la más importante (49,8 %), por lo que merecerá la pena concentrar en él los esfuerzos de optimización.

Por el contrario, la contribución en el peso total de la celosía por parte de las diagonales supone únicamente el 17,5 %, lo que permite asegurar que los costes introducidos en el coste global de la celosía son mayoritariamente debidos a la fabricación. Tratar por tanto de reducir su peso no es relevante.

La selección de Perfiles Tubulares para la celosía se ha realizado en base a referencias con stock garantizado. Sin embargo la utilización de referencias de gama general de fabricación podría haber permitido un mayor ajuste



en el peso, no obstante, la incidencia del peso del dintel obtenido por m<sup>2</sup> cubierto (13,48 Kg/m<sup>2</sup>) se considera muy reducida en relación a la que se obtendría con otro tipo de perfiles, materiales o tipologías.

→ Para la verificación de las uniones, ICT pone a disposición de los profesionales calculistas en su página web (descarga gratuita) el software CIDJOINT [13], donde se recogen todas las recomendaciones incluidas en las Guías de Diseño 1 y 3, editadas por el CIDECT (Comité Internacional para el Desarrollo y Estudio de la Construcción Tubular) y que han sido implementadas en el EC-3.

## REFERENCIAS

# 6

- [1] **NBE/AE-88** "Acciones en la Edificación". Ministerio de Fomento.
- [2] **NBE/EA-95**: "Estructuras de acero en edificación". Ministerio de Fomento.
- [3] **Eurocódigo 1**: Bases de proyecto y acciones en estructuras.
- [4] **Eurocódigo 3**: Proyecto de estructuras de acero.
- [5] **Guía de Diseño nº 2**: "Estabilidad estructural de perfiles tubulares". CIDECT: Comité Internacional para el Desarrollo y el Estudio de la Construcción Tubular.
- [6] **Guía de Diseño nº 3**: "Para nudos de perfiles tubulares rectangulares (RHS) bajo cargas predominantemente estáticas". CIDECT: Comité Internacional para el Desarrollo y el Estudio de la Construcción Tubular.
- [7] **Manual de Estructuras Metálicas de edificios urbanos**. Ministerio de Fomento.
- [8] **El proyectista de estructuras metálicas**. Robert Nonnast.
- [9] **Design of Structural Steelwork Lattice Framed Industrial Building**. The Steel Construction Institute.
- [10] **Estructuras de acero**. R. Argüelles Álvarez, R. Argüelles Bustillo, F. Arriaga Martitegui, J. R. Atienza Reales, J. J. Martínez Calleja.
- [11] **Estructuras especiales en edificación. Análisis y cálculo – 1ª parte**. Valentín Quintas Ripoll.
- [12] **Metal 3D – 2002.i** – Programa de cálculo de estructuras metálicas. CYPE Ingenieros.
- [13] **CIDJOINT** – Programa para la verificación de uniones. CIDECT.



La Asociación "Instituto para la Construcción Tubular" - I.C.T. -, promovida por los Fabricantes Nacionales de Perfil Tubular de acero, se constituyó a finales de 1996 como una organización de ámbito nacional, no comercial y sin fines lucrativos. Su objetivo es promover el empleo del Perfil Tubular de acero como elemento de construcción en todo tipo de estructuras de edificación, obra civil y maquinaria en el mercado español.

Para fomentar e impulsar el uso del Perfil Tubular de acero, I.C.T. desarrolla tres tipos de actividades:

**Divulgativas**, en las que se dan a conocer las ventajas y beneficios económicos de la Construcción Tubular.

**De creación de herramientas**, en las que se gestiona y coordina la obtención de herramientas específicas de cálculo y diseño, para su posterior divulgación.

**De formación**, orientada hacia el correcto empleo de las herramientas anteriores.

Algunas de estas actividades se concretan en:

- Participación en estudios e investigaciones para incrementar el conocimiento de los Perfiles Tubulares de acero y su aplicación en la construcción, así como para obtener diseños prácticos y soluciones estándares y económicas.
- Edición de publicaciones técnicas sobre criterios y métodos de diseño y cálculo actualizados.
- Captación, desarrollo y divulgación de herramientas, diseños modulares y estándares.
- Organización de jornadas técnicas.
- Formación sobre construcción tubular para profesionales y para alumnos de los centros universitarios de arquitectura e ingeniería.
- Asesoramiento técnico, que permita al profesional que acomete por primera vez un proyecto de estructura tubular, desarrollarlo con mayor seguridad.

- Cooperación con los organismos públicos o privados responsables de regulaciones, recomendaciones y normativas de diseño práctico, tanto de ámbito nacional como internacional.

En suma, I.C.T. desarrolla todas aquellas actividades de promoción técnica sobre el Perfil Tubular de acero, que redunden en una buena práctica de la Ingeniería y en una Arquitectura adecuada, contribuyendo de esta manera, a una mejora constante en la calidad de las Construcciones Tubulares.

Las publicaciones técnicas disponibles en ICT, de edición propia o traducidas al español de las editadas por el CIDECT, son las siguientes:

**Colección Guías de Diseño “Construcción con Perfiles Tubulares de Acero”:**

- Guía nº 1:** **Nudos de perfiles tubulares circulares (CHS) bajo cargas predominantemente estáticas;** J. Wardenier, Y. Kurobane, J.A. Packer, D. Dutta, N. Yeomans.
- Guía nº 2:** **Estabilidad estructural de perfiles tubulares;** J. Rondal, K.-G. Würker, D. Dutta, J. Wardenier, N. Yeomans.
- Guía nº 3:** **Nudos de perfiles tubulares rectangulares (RHS) bajo cargas predominantemente estáticas;** J.A. Packer, J. Wardenier, Y. Kurobane, D. Dutta, N. Yeomans.
- Guía nº 4:** **Columnas de perfiles tubulares estructurales sometidas a fuego;** L. Twilt, R. Hass, W. Klingsch, M. Edwards, D. Dutta.
- Guía nº 5:** **Columnas de perfiles tubulares rellenos de hormigón bajo cargas estáticas;** R. Bergmann, C. Matsui, C. Meisma, D. Dutta.

**Guía nº 6:** **Perfiles tubulares estructurales en aplicaciones mecánicas;** J. Wardenier, D. Dutta, N. Yeomans, J.A. Packer, Ö. Bucak.

**Guía nº 7:** **Fabricación, ensamble y montaje de estructuras de perfiles tubulares;** D. Dutta, J. Wardenier, N. Yeomans, K. Sakae, Ö. Bucak, J.A. Packer.

**Guía nº 8:** **Nudos soldados de perfiles tubulares circulares y rectangulares sometidos a sollicitaciones de Fatiga;** X.-L. Zhao, S. Herion, J.A. Packer, R.S. Puthli, G. Sedlacek, J. Wardenier, K. Weynand, A.M. van Wingerde, N.F. Yeomans.

**Las estructuras tubulares en la Arquitectura;** Mick Eekhout; T.U. Delft – CIDECT –.

**Perfiles Tubulares en Aplicaciones Estructurales;** J. Wardenier.

**Cd-Rom:** **HAGAs mejores naves industriales de Perfiles Tubulares de Acero**

**CIDJOINT:** Software de fácil manejo para el cálculo de la resistencia de las uniones directas entre Perfiles Tubulares y uniones entre estos y otros tipos de perfiles, según criterios de las Guías de Diseño 1 y 3 del CIDECT y del EC-3.

**STABILITY:** Programa de fácil manejo para el cálculo de la resistencia de Perfiles Tubulares sometidos a esfuerzos de flexo-compresión, según criterios de la Guía de Diseño 2 del CIDECT y del EC-3.

## LISTADO DE SOCIOS

Los actuales miembros del ICT son (2007):

### FABRICANTES DE PERFIL TUBULAR DE ACERO:

Alfonso Gallardo, S.A.  
Ctra. Jerez-Zafra, s/n  
06380 JEREZ DE LOS CABALLEROS (Badajoz)  
Tel.: 924 759 000 Fax: 924 759 010  
www.grupointustrialag.com

Chinchurreta, S.A.  
Bº San Pedro, 11 (Apdo. 6)  
20560 OÑATE (Guipúzcoa)  
Tel.: 943 781 312 Fax: 943 781 411  
www.chinchurreta.com

Conducciones y Derivados, S.A. – CONDESA –  
Parque Tecnológico de Álava, Edificio E-6  
2ª Planta, Oficina 206  
01510 MIÑANO MAYOR (Álava)  
Tel.: 945 297 140 Fax: 945 194 331  
www.condesa.com

Tubos y Flejes, S.A. – TUFLESA –  
Apdo. 74 – Mula, s/n  
30565 LAS TORRES DE COTILLAS (Murcia)  
Tel.: 968 626 198 Fax: 968 627 213  
www.tuflesa.es

Laminaciones Arregui, S.L.  
Canal de Santo Tomás, s/n  
01013 VITORIA (Álava)  
Tel.: 945 121 100 Fax: 945 289 223  
www.arregui.com

### ALMACENISTAS DE PERFIL TUBULAR DE ACERO:

ARCELOR Diistribución Norte S.L.  
Larrazabal, 2  
48970 BASAURI (Bizkaia)  
Tel.: 944 872 500 Fax: 944 407 039  
www.grupovelasco.com

Freire Hermanos, S.A.  
Aptdo. 1060, Ctra. Coruña – Carballo, Km. 2,5  
15008 LA CORUÑA  
Tel.: 981 174 848 Fax: 981 174 772  
www.freirehnos.es

Granallados y Tubos, S.A. – GRATUSA –  
Antillón, s/n. Políg. El Pilar.  
50014 ZARAGOZA  
Tel.: 976 474 072 Fax: 976 474 206  
www.gratusa.es

Proveedora de Tubos Occidental, S.L.  
Políg. Ind. L'Empalme, c/ Girona, 18  
43713 SANT JAUME DELS DOMENYS (Tarragona)  
Tel.: 902 375 375 Fax: 902 375 376  
www.protubsa.com

Grupo ROS CASARES  
Urarte, 13 – Políg. Ind. Ali-Gobeo  
01010 VITORIA (Álava)  
Tel.: 945 240 300 Fax: 945 240 958  
www.roscares.com

### Grupo HIEMESA

Políg. Ind. Can Trias, c/ Luis Vives, 10  
08232 VILADECALLS (Barcelona)  
Tel.: 93 733 99 77 Fax: 93 733 99 78  
www.hiemesa.com

### Hierros Leiza, S.L.

Políg. Ind. 26 – parcela 28  
20115 ASTIGARRAGA (Guipúzcoa)  
Tel.: 943 555 800 Fax: 943 557 501

### UTILIZADORES DE PERFIL TUBULAR DE ACERO:

#### Ideas en Metal, S.A.

Políg. Ind. Los Campones, s/n. Tremañes  
33211 GIJÓN (Asturias)  
Tel.: 985 308 980 Fax: 985 308 981  
www.ideasenmetal.com

### ENTIDADES COLABORADORAS:

#### Unión de Almacenistas de Hierros de España –UAHE–

Príncipe de Vergara, 74  
28006 MADRID  
Tel.: 91 411 06 98 Fax: 91 411 18 34  
www.uahe.org



Se ha tenido especial cuidado en asegurar la objetividad de todos los datos e información presentados en esta Guía, así como la exactitud de los valores numéricos. Hasta donde podemos conocer, en la medida de nuestros conocimientos, en el momento de su publicación, toda la información contenida en esta Guía es exacta.

El ICT, sus miembros y los autores no asumen responsabilidad alguna por los errores o interpretación incorrecta de la información contenida en esta Guía o del uso que de ella se haga.

**Instituto para la Construcción Tubular – ICT –**  
Parque Tecnológico de Álava, Edificio E-5, Oficina 005  
01510 MIÑANO MAYOR (Álava)  
Tel.: 945 297232  
Fax: 945 296974  
e-mail: [ict@ictubular.es](mailto:ict@ictubular.es)  
web: [www.ictubular.es](http://www.ictubular.es)



# Guía de Diseño

PARA ESTRUCTURAS EN CELOSÍA  
RESUELTAS CON PERFILES TUBULARES  
DE ACERO

## Fe de erratas (Edición 2007)

### Página: 10

✘ Donde dice: “ $h$ ”

✔ Debe decir: “ $\leq h \leq$ ”

✘ Donde dice: “ $\theta < 30^\circ$ ”

✔ Debe decir: “ $\theta \geq 30^\circ$ ”

b) Canto ( $h$ ) (luz =  $l$ ):  $\frac{l}{15} \leq h \leq \frac{l}{10}$  (generalmente:  $h = \frac{l}{15}$ ). [6]

c) Ángulo de encuentro de las diagonales ( $\theta$ ):  
c.1 Se recomienda:  $\theta \geq 30^\circ$ . Ángulos  $\theta < 30^\circ$  dificultan la ejecución de la soldadura en el talón de la unión por falta de accesibilidad de la antorcha. [6]

### Página: 12

✘ Donde dice: “para  $t \leq 6$  mm”  
“para  $t \geq 8$  mm”

✔ Debe decir: “para  $t \leq 6$  mm”  
“para  $t \geq 8$  mm”

para $t \leq 6$ mm	→	S 275 J0H	→	$f_y = 275$ N/mm <sup>2</sup>
para $t \geq 8$ mm	→	S 355 J2H	→	$f_y = 355$ N/mm <sup>2</sup>

✘ Donde dice: “ $a \leq 1,00 t$ , para S 275”  
“ $a \leq 1,07 t$ , para S 355”

✔ Debe decir: “ $a \geq 1,00 t$ , para S 275”  
“ $a \geq 1,07 t$ , para S 355”

$a \geq 1,00 t$ , para S 275
$a \geq 1,07 t$ , para S 355

### Página: 13

✘ Donde dice: “ $N^*_{Rd,i} \leq N_{Sd,d}$ ”

✔ Debe decir: “ $N^*_{Rd,i} \geq N_{Sd,d}$ ”

$$N^*_{Rd,i} \geq N_{Sd,d}$$

### Página: 15

✘ Donde dice: “.... de pared  $\leq 8$  mm”

✔ Debe decir: “.... de pared  $\geq 8$  mm”

Perfiles Tubulares de espesor de pared $\leq 8$ mm	.....	S 275 J0H
Perfiles Tubulares de espesor de pared $\geq 8$ mm	.....	S 355 J2H

### Páginas: 19, 21, 25, 28 y 29 (en las tablas de perfiles)

✘ Donde dice: “ $\lambda \leq 200$ ”  
“ $\chi_A \leq \dots$  cm<sup>2</sup>”

✔ Debe decir: “ $\lambda \leq 200$ ”  
“ $\chi_A \geq \dots$  cm<sup>2</sup>”

**Páginas: 20 y 22 (en las tablas de perfiles)**

Donde dice: “A .... cm<sup>2</sup>”

Debe decir: “A ≥ .... cm<sup>2</sup>”

**Página: 23**

Donde dice: “[mm]<sup>4</sup>”

Debe decir: “[mm<sup>4</sup>]”

$$f = \frac{5 \cdot 7,03 [N/mm] \cdot 40000 [mm]^4}{384 \cdot 210000 [N/mm^2] \cdot 1,03 \cdot 10^{-6} [mm^4]} = 108 mm$$
$$f = 108 mm < L/250 = 40000/250 = 160 mm$$

**Página: 26**

Donde dice: “λ 200”

Debe decir: “λ ≤ 200”

Donde dice: “λ 300”

Debe decir: “λ ≤ 300”

Cordón inferior: long. máx. admisible entre puntos arriostrados

Resistencia axial:  $N_{sa} = \chi \cdot A \cdot \frac{f_y}{\gamma_M} \geq N_{sax,inf}$  [4]

$\bar{\lambda}$  (esbeltez adimensional) =  $\frac{\lambda}{\lambda_E} = \frac{0,9 l_{cr} / i_{min}}{\pi \cdot \sqrt{E / f_y}}$ , siendo  $l_{cr}$  la longitud teórica entre puntos arriostrados.

Perfil Tubular seleccionado:

- RHS 120 x 120 x 8 (S 355 J2H)
- $f_y = 355 N/mm^2$
- Supuesto un material con un  $f_y$  mínimo garantizado, por lo que se considera  $\gamma_M = 1$  [2]

Longitud eficaz de pandeo en el plano perpendicular a la celosía:  $l_{cr} = 0,9 \times$  longitud teórica entre *puntos arriostrados*.

Limitaciones: La NBE EA-95

- recomienda una esbeltez  $\lambda \leq 200$  para piezas comprimidas.
- establece una esbeltez  $\lambda \leq 300$  para piezas traccionadas.

**Página: 26**

Donde dice: “  $\chi \geq \frac{61,05[kN] \cdot 1}{355 \cdot 10^{-1} [kN/cm^2] \cdot 33,6} = 0,0512$  ”

Debe decir: “  $\chi \geq \frac{61,05[kN] \cdot 1}{355 \cdot 10^{-1} [kN/cm^2] \cdot 33,6 [cm^2]} = 0,0512$  ”

**Página: 32**

Donde dice: “a 1,00 t, para S 275”  
“a 1,07 t, para S 355”

Debe decir: “a ≥ 1,00 t, para S 275”  
“a ≥ 1,07 t, para S 355”

