

Exercicio 2:
Cálculo cercha tradicional

Curso de construción en madeira

CÁLCULO CERCHA DE ESTRUCTURA DE CUBIERTA

Cálculo de estructura de cubierta compuesta por cerchas como elemento principal, con los siguientes datos de partida:

Madera pino de clase resistente C18 (propiedades según SE-M pg115)

Estructura en interior: Clase de servicio 1.

Luz de cercha: 8 m.

Separación entre pórticos: 2,5 m.

Material de cubierta: Panel sándwich: $0,226 \text{ kN/m}^2$

Enlistonado: $0,05 \text{ kN/m}^2$ (SE-AE pg19).

Pizarra sin enlistonado con solaple doble: $0,3 \text{ kN/m}^2$ (SE-AE pg19)

Correas de pino C18 de sección $145 \times 95 \text{ mm}$ separadas 1,22 m entre ejes.

Localización: Lugo. Zona de clima invernal 1.

Altitud topográfica: 500 m.

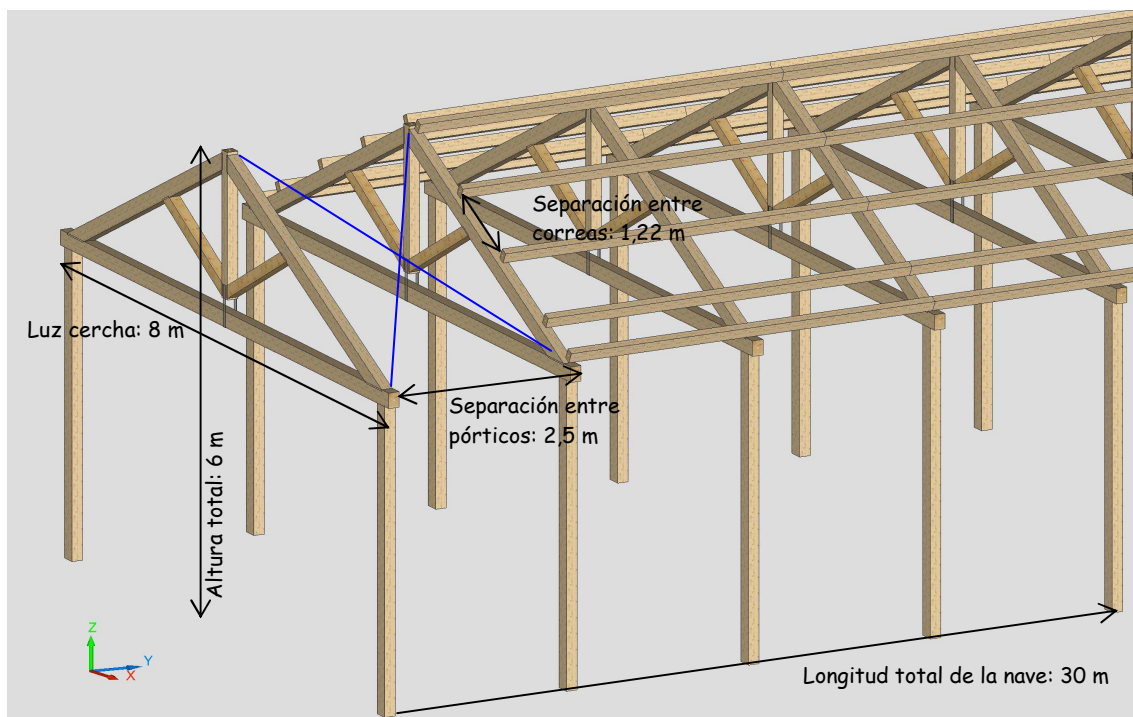
Pendiente de cubierta: 50 %; $\alpha = 26,56^\circ$

Longitud de la edificación: 30 m.

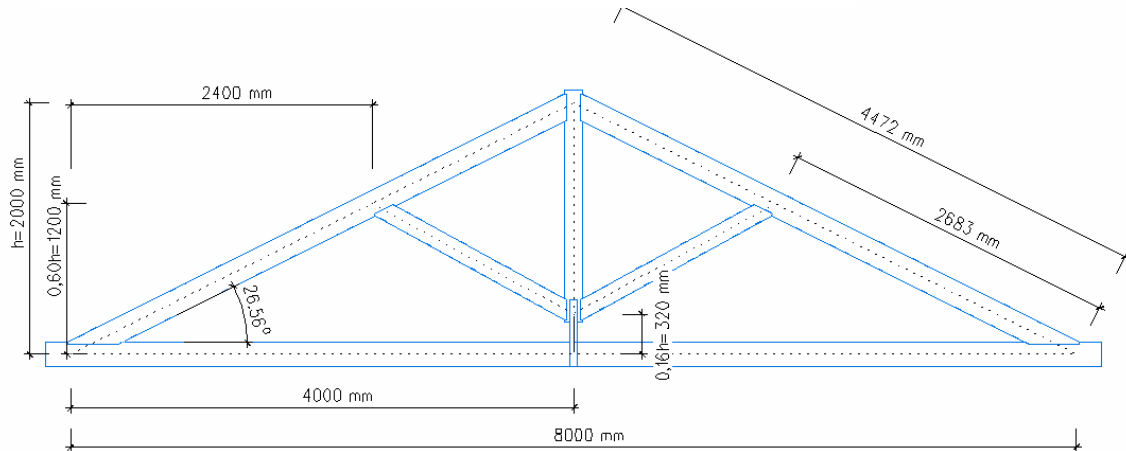
Altura de cumbrera: 6 m.

Zona urbana en general, industrial o forestal.

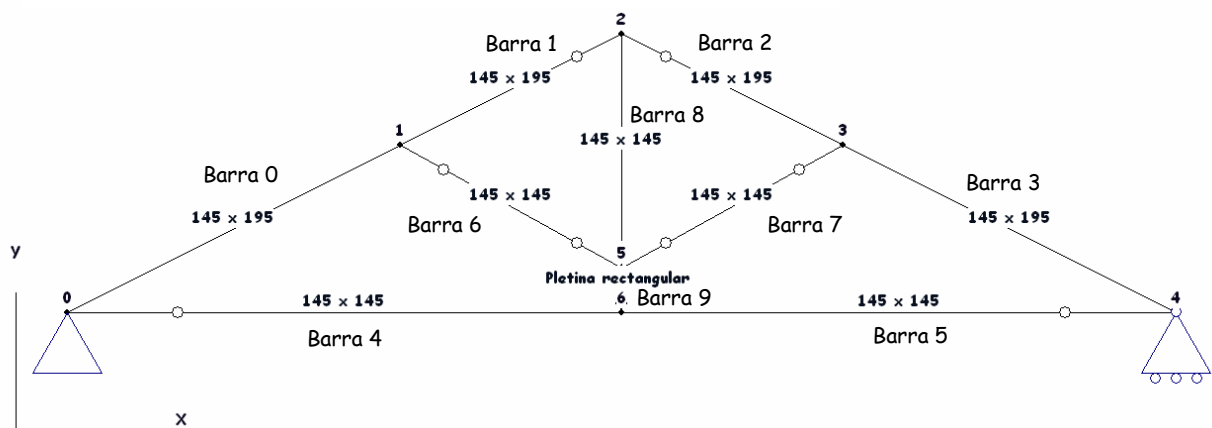
Vista general de la cubierta.



Esquema de la estructura de cercha planteada.



Esquema de propuesta de dimensionado para el cálculo de la cercha.



Nudo 0:
articulación fija.

Nudo 4: articulación en
deslizadera según eje x
del plano de la cercha.

1. HIPÓTESIS DE CÁLCULO

Hipótesis 1: Cargas permanentes. Duración: permanente

Hipótesis 2: Sobrecarga de mantenimiento. Duración: corta.

Hipótesis 3: Sobrecarga de Nieve: altitud menor de 1000 m. Duración: Corta.

Hipótesis 4: Sobrecarga de Viento transversal A. Duración: corta.

Hipótesis 5: Sobrecarga de Viento transversal B. Duración: corta.

Hipótesis 6: Sobrecarga de Viento longitudinal. Duración: corta.

CARGAS PERMANENTES

H1: Cargas permanentes.

Peso propio de la cercha:

- Peso propio de los pares de sección 145x195 mm con una densidad de 380 kg/m³ (C18): $0,145 \cdot 0,195 \cdot 380 = 10,74 \text{ kg/m} = 0,107 \text{ kN/m}$
- Peso propio de pendolón, tornapuntas y tirante de sección 145x145 mm con una densidad de 380 kg/m³ (C18): $0,145 \cdot 0,145 \cdot 380 = 8 \text{ kg/m} = 0,08 \text{ kN/m}$

Peso que aportan las correas de sección 95x145 mm separadas 1,22 m entre sí y con una densidad de 380 kg/m³ (C18) a cada par:

Peso de cada correa: $0,095 \cdot 0,145 \cdot 2,5 \cdot 380 = 13,09 \text{ kg/correa}$

En cada faldón hay 5 correas: $13,09 \cdot 5 = 65,4 \text{ kg por faldón}$

Peso de correa por metro lineal del par (4,47 m): $65,4 / 4,47 = 14,64 \text{ kg/m} = 0,147 \text{ kN/m}$

Peso de material de cubierta x separación entre cerchas:

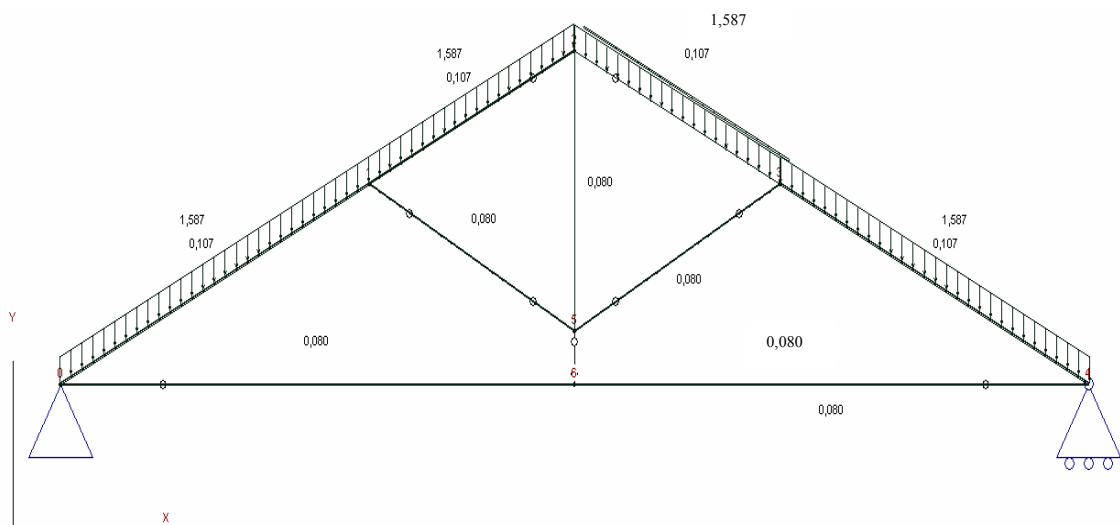
$$q_p = (0,226 + 0,05 + 0,3) \cdot 2,5 = 1,44 \text{ kN/m}$$

Valores de carga permanente de la H1 a introducir en el programa:

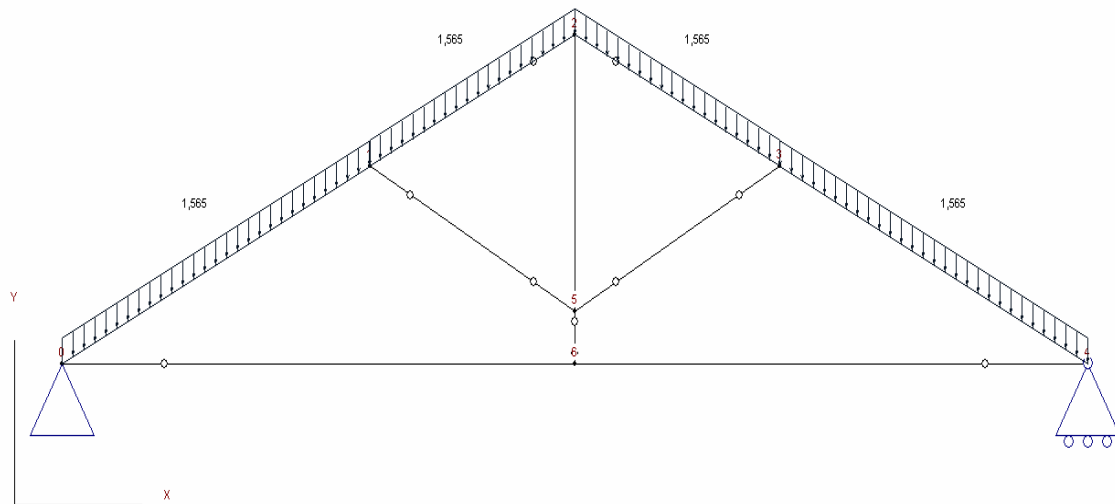
Sobre los pares: Carga uniforme: 1,587 kN/ml

Peso propio de los pares: 0,107 kN/ml

En el resto de los elementos se incluirá el valor de su peso propio: 0,08 kN/ml.



Visualización de cargas H1: cargas permanentes.



Visualización de cargas H3: Sobrecarga de nieve

CARGAS DE VIENTO

Se considera que la acción del viento genera una fuerza perpendicular a la superficie de cada punto expuesto, o presión estática q_e , que puede expresarse como:

$$q_e = q_b \cdot c_e \cdot c_p$$

q_b : presión dinámica del viento.

Lugo se encuentra en Zona C de presión dinámica, $q_b = 0,53 \text{ kN/m}^2$. (SE-AE pg23).

c_e : coeficiente de exposición.

$$c_e = F(F+7k)$$

$$F = k \cdot \ln(\max(z, Z)/L)$$

Grado de aspereza IV:

$$k = 0,22$$

$$L = 0,3$$

$$Z = 5$$

z (m): altura de la edificación, 6 m.

$$F = 0,22 \cdot \ln(6/0,3) = 0,659$$

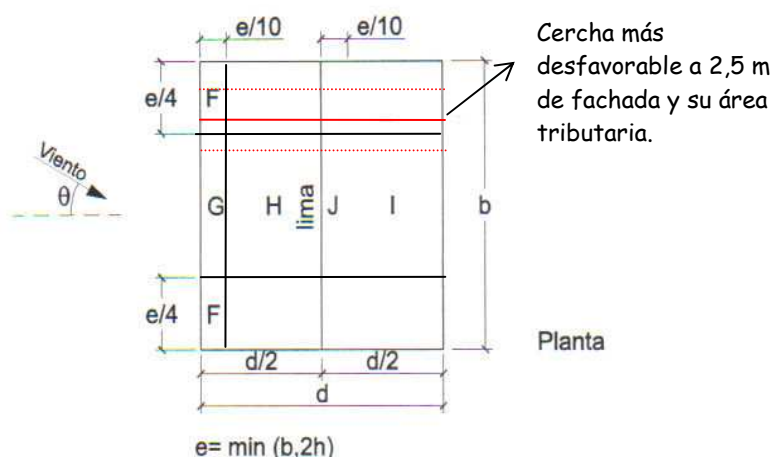
$$c_e = 0,659(0,659 + 7 \cdot 0,22) = 1,449$$

c_p : coeficiente de presión exterior que se obtiene según las tablas del Anexo D del C.T.E. del documento Seguridad Estructural: Bases de cálculo y Acciones en la edificación.

H4: Sobrecarga de Viento transversal A.

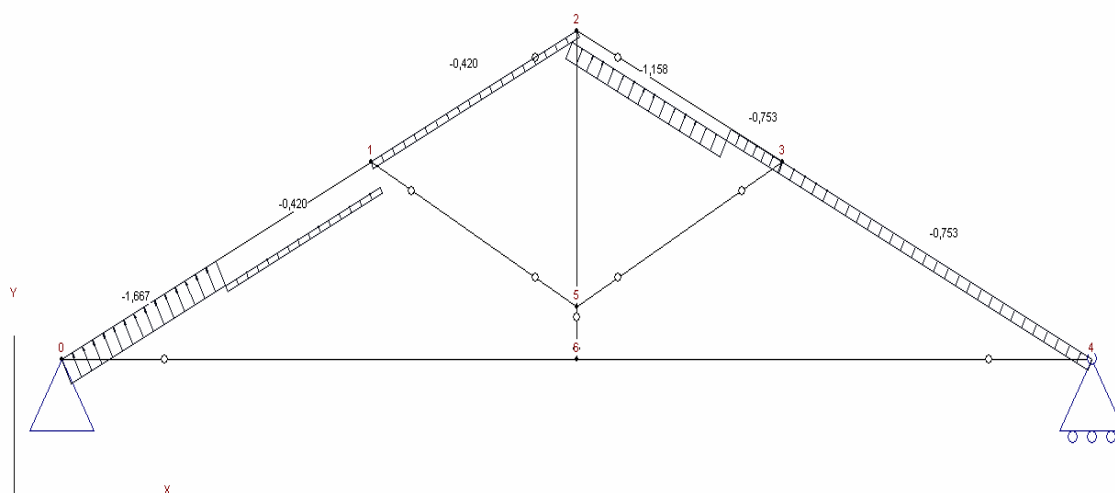
El coeficiente de presión exterior c_p se obtiene de la interpolación de los valores del apartado a) de la tabla D.4 (SE-AE pg30) para cubiertas a dos aguas con un ángulo de $26,56^\circ$ y para las superficies estimadas que se presentan en la siguiente tabla. Para esta hipótesis se toman los valores de viento transversal de succión.

Viento transversal A	
Datos	
P.Dinámica q_b (kN/m ²)	0,52
Coeficiente exposición	1,449
Pendiente (grados)	26,56
z(m)=	6
d(m)=	8
b(m)=	12,5
e(m)=	12



Resultados Viento transversal A					
Zona	F	G	H	I	J
Superficie (m ²)	4,02	32,20	93,91	93,91	40,25
Coefficiente eólico (c _p)	-0,996	-0,624	-0,223	-0,400	-0,615
Presión estática q _e (kN/m ²)	-0,751	-0,470	-0,168	-0,301	-0,463
Presión estática (kN/m)	-1,878	-1,175	-0,420	-0,753	-1,158

La cercha más desfavorable en cuanto a viento se encuentra a 2,5m del pórtico de fachada, viéndose afectada por las cargas de las zonas F,G y H en un faldón y J e I, en el otro. En el primer faldón se ha considerado la influencia del viento proporcional en las zonas F y G.

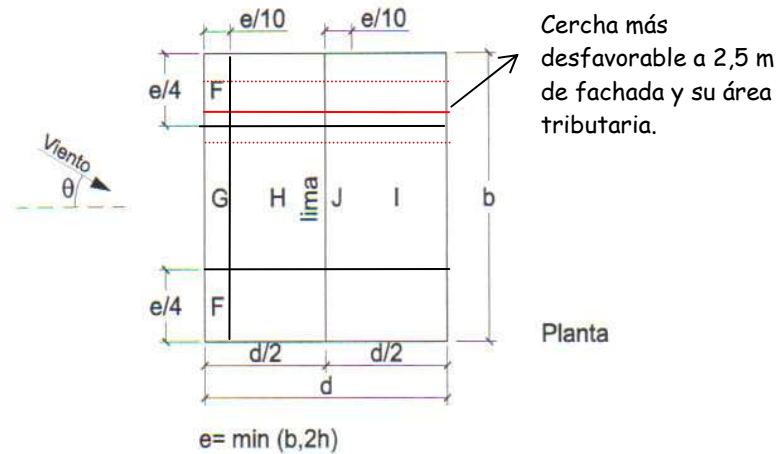


Visualización de cargas H4: Sobrecarga de viento transversal A

H5: Viento transversal B

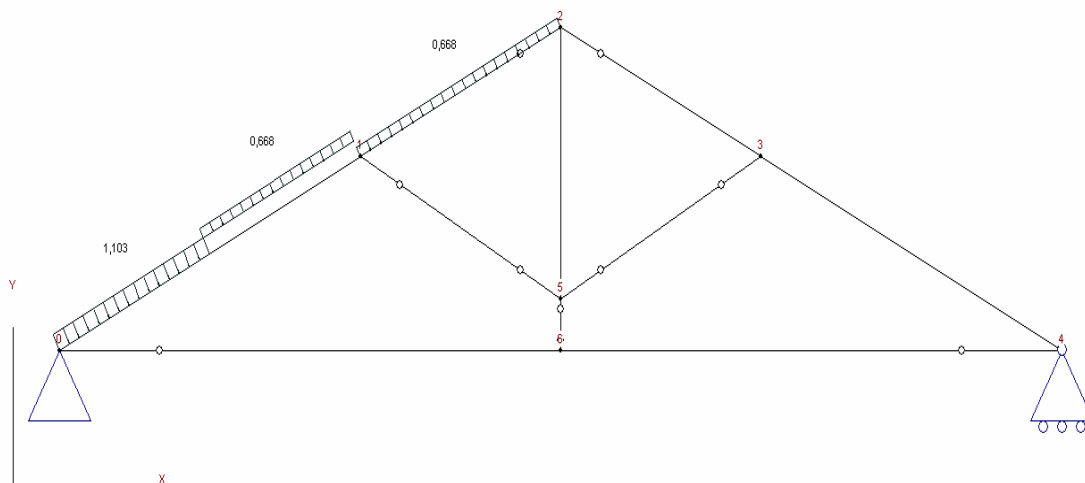
El coeficiente de presión exterior c_p se obtiene de la interpolación de los valores del apartado a) de la tabla D.4 (SE-AE_{pg30}) para cubiertas a dos aguas con un ángulo de 26,56° y para las superficies estimadas que se presentan en la siguiente tabla. Para esta hipótesis se toman los valores de viento de presión.

Viento transversal B	
Datos	
P.Dinámica q_b (kN/m ²)	0,52
Coeficiente exposición	1,449
Pendiente (grados)	26,56
z (m)=	6
d (m)=	8
b (m)=	12,5
e (m)=	12



Resultados Viento transversal B					
Zona	F	G	H	I	J
Superficie (m ²)	4,02	32,20	93,91	93,91	40,25
Coeficiente eólico (c_p)	0,585	0,585	0,354	0	0
Presión estática q_e (kN/m ²)	0,441	0,441	0,267	0	0
Presión estática (kN/m)	1,103	1,103	0,668	0	0

La cercha más desfavorable en cuanto a viento se encuentra a 2,5m del pórtico de fachada, viéndose afectada por las cargas de las zonas F,G y H en un faldón y J e I, en el otro.

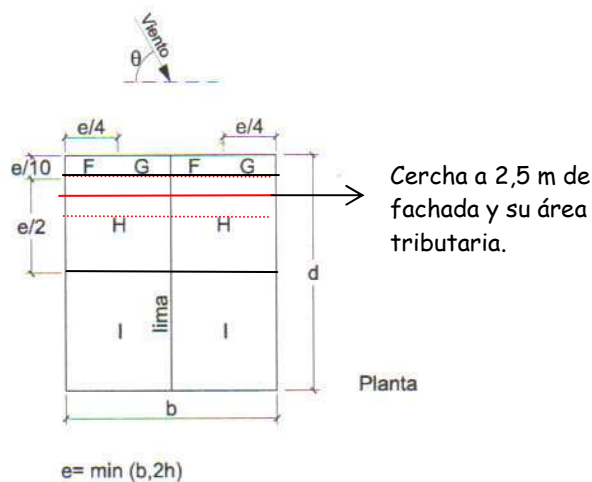


Visualización de cargas H5: Sobrecarga de viento transversal B

H6: Viento longitudinal.

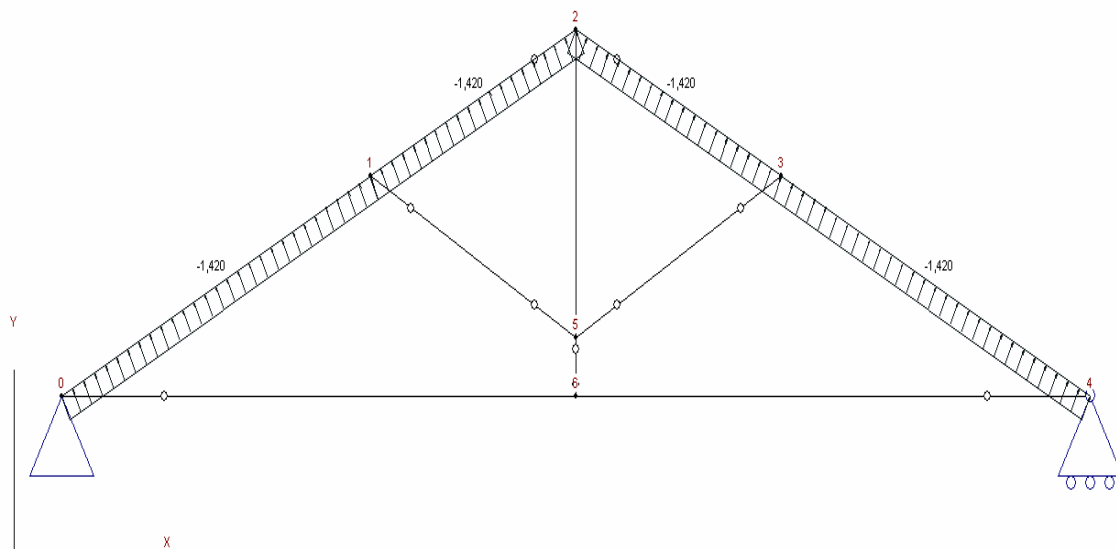
El coeficiente de presión exterior c_p se obtiene de la interpolación de los valores del apartado b) de la tabla D.4 (SE-AE_{pg30}) para cubiertas a dos aguas con un ángulo de 26,56° y para las superficies estimadas que se presentan en la siguiente tabla. El viento longitudinal producirá un efecto de succión sobre la cubierta.

Viento longitudinal	
Datos	
P. Dinámica q_b (kN/m ²)	0,52
Coeficiente exposición	1,449
Pendiente (grados)	26,56
$z(m)=$	6
$d(m)=$	12,5
$b(m)=$	8
$e(m)=$	12



Zona	F	G	H	I
Superficie (m ²)	5,44	5,71	55,75	123,50
Coeficiente eólico (c_p)	-1,496	-1,843	-0,754	-0,500
Presión estática q_e (kN/m ²)	-1,127	-1,388	-0,568	-0,377
Presión estática (kN/m)	-2,818	-3,470	-1,420	-0,943

La cercha más desfavorable en cuanto a viento longitudinal es cualquiera de las cerchas intermedias que se ven afectadas por las cargas de la zona H en los dos faldones.



Visualización de cargas H6: Sobre carga de viento longitudinal

2. COMBINACIONES DE HIPÓTESIS

Combinación	Carga permanente	Sobrecarga mantenimiento	Nieve	Viento transv. A	Viento transv. B	Viento longitudinal
1	1,35					
2	1,35	1,50				
3	1,35		1,50			
4	0,80			1,50		
5	1,35				1,50	
6	0,80					1,50
7	1,35	1,50	0,75		0,90	
8	1,35		1,50		0,90	

3. COMPROBACIÓN PAR DE CERCHA (BARRA 0) FLEXOCOMPRESIÓN

Las condiciones que deben cumplirse en el caso de una flexocompresión con pandeo son las siguientes:

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{\chi_{c,y} \cdot f_{c,0,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1$$

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{\chi_{c,z} \cdot f_{c,0,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1$$

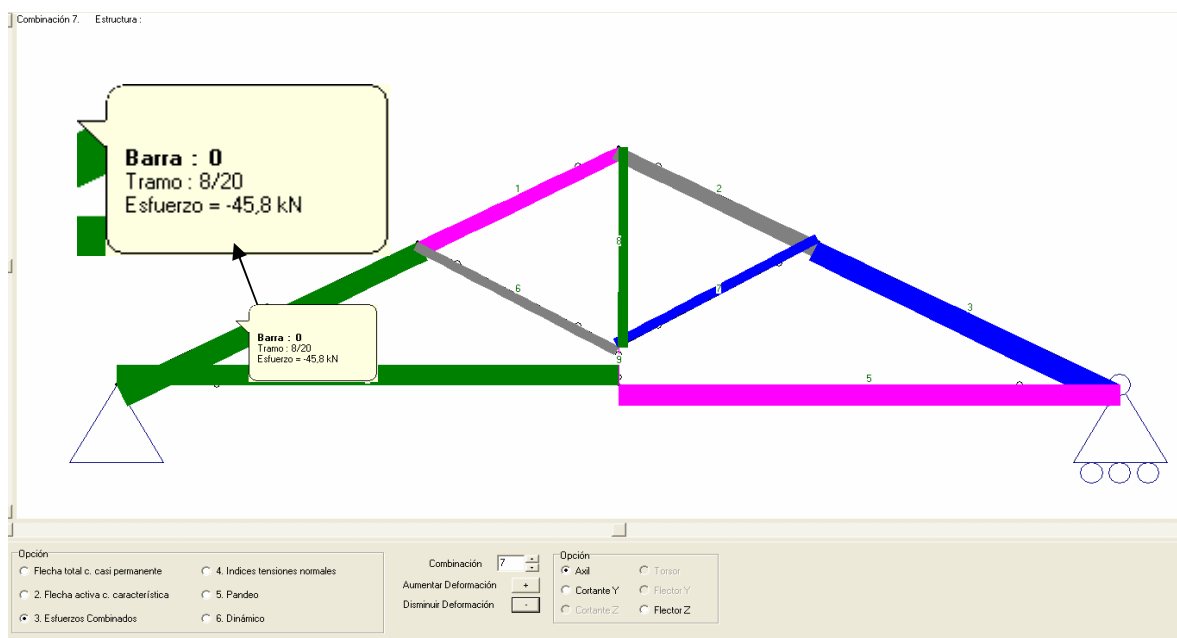
En este caso todas las cargas siguen la dirección del eje z, provocando flexión únicamente en torno al eje y. Por lo tanto, las expresiones anteriores se simplifican de la siguiente manera:

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{\chi_{c,y} \cdot f_{c,0,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} \leq 1$$

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{\chi_{c,z} \cdot f_{c,0,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} \leq 1$$

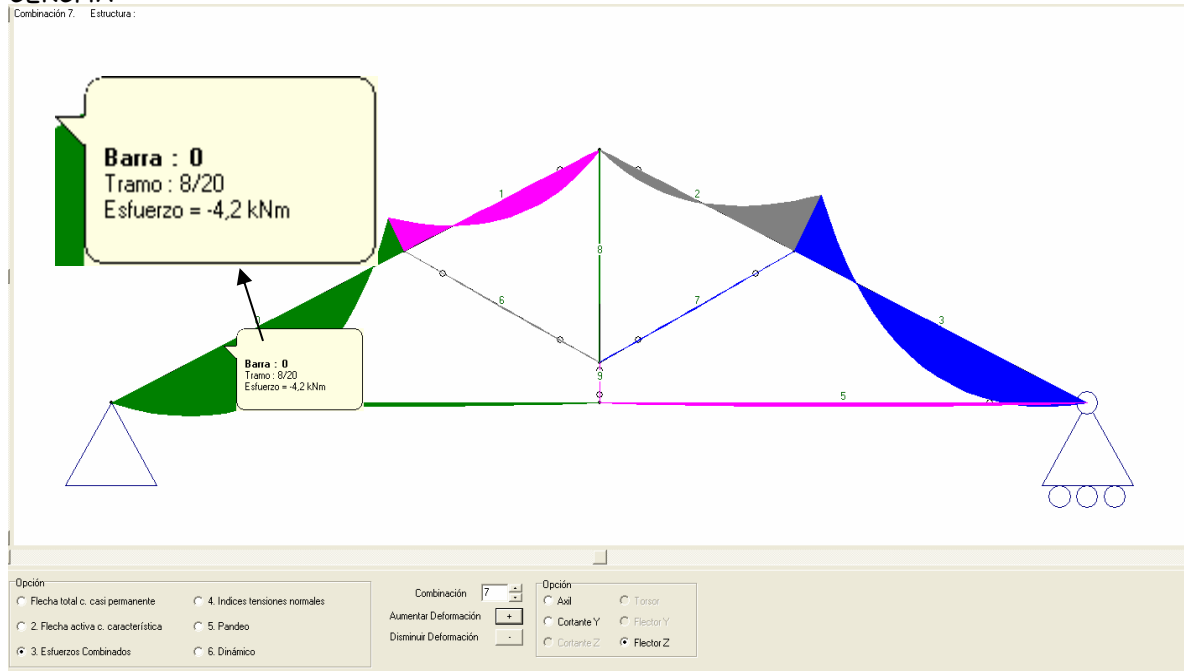
Para el cálculo de la flexocompresión, es necesario conocer los valores de axil y momento flector en la peor sección y para la combinación más desfavorable. Estos valores se obtienen de los resultados de esfuerzos obtenidos con el software empleado. En este caso, el programa Estrumad 2007 indica la peor sección (8 de 20) y la combinación más desfavorable para el caso del par (combinación 7) para la cual ha realizado la comprobación de la pieza.

AXIL MÁXIMO EN LA SECCIÓN 8/20 PARA LA COMBINACIÓN 7



Visualización de esfuerzos combinados de Estrumad 2007

MOMENTO MÁXIMO EN LA SECCIÓN 8/20 PARA LA COMBINACIÓN 7 EN EL PAR DE LA CERCHA



Visualización de esfuerzos combinados de Estrumad 2007

La barra del par tiene una sección de 145x195 mm con un axil máximo de compresión de 45.800 N y un momento flector respecto al eje y de 4.200 N·m.

Tensión de cálculo a compresión paralela a la fibra :

$$\sigma_{c,0,d} = \frac{N_d}{Area} = \frac{45.800}{145 \cdot 195} = 1,62 \text{ N/mm}^2$$

Resistencia de cálculo a compresión paralela a la fibra :

$$f_{c,0,d} = k_{mod} \frac{f_{c,0,k}}{\gamma_M} = 0,90 \frac{18}{1,3} = 12,46 \text{ N/mm}^2$$

k_{mod} : madera maciza, CS 1, duración de la carga corta. SE - M pg6

$f_{c,0,k}$: resistencia característica a compresión paralela a la fibra SE - M pg115

γ_M : situación persistentes o transitorias, madera maciza. SE - M pg6

Coeficiente de pandeo respecto al eje y.

I_y : Momento de inercia respecto al eje y.

$$I_y = \frac{b \cdot h^3}{12} = \frac{145 \cdot 195^3}{12} = 89.596.406 \text{ mm}^4$$

i_y : Radio de giro de la sección respecto al eje y.

$$i_y = \sqrt{\frac{I_y}{A}} = \sqrt{\frac{89.596.406}{145 \cdot 195}} = 56,29 \text{ mm}$$

Longitud eficaz de pandeo

$$L_{k,y} = \beta_y \cdot L = 12.680 = 2.680 \text{ mm}$$

L : Longitud de la pieza comprimida, 2680 mm (esquema xxxx).

β_y : para el plano de la estructura se considera la barra como biarticulada, valor del coeficiente 1.

(SE - Mpg125).

Esbeltez mecánica de una pieza comprimida para el pandeo en el plano xz, flectando respecto al eje y.

$$\lambda_y = \frac{L_{k,y}}{i_y} = \frac{2.680}{56,29} = 47,61$$

Tensión crítica de pandeo

$$\sigma_{c,crit,y} = \pi^2 \frac{E_{0,k}}{\lambda_y^2} = \pi^2 \frac{6.000}{47,61^2} = 26,12 \text{ N/mm}^2$$

$E_{0,k}$: Valor característico del módulo de elasticidad paralelo a la fibra correspondiente al 5% percentil (SE - Mpg115). Para una clase resistente C18 su valor es 6.000 N/mm².

$\lambda_{rel,y}$: Esbeltez relativa.

$$\lambda_{rel,y} = \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{\sigma_{c,crit,y}}} = \sqrt{\frac{18}{26,12}} = 0,83$$

$f_{c,0,k}$: resistencia característica a compresión paralela a la fibra SE - M pg115

$$k_y = 0,5 \cdot (1 + \beta_c \cdot (\lambda_{rel,y} - 0,3) + \lambda_{rel,y}^2) = 0,5 \cdot (1 + 0,2 \cdot (0,83 - 0,3) + 0,83^2) = 0,90$$

β_c : Factor asociado a la rectitud de las piezas.

$\beta_c = 0,2$ para madera maciza.

$\beta_c = 0,1$ para madera laminada encolada y microlaminada.

Coefficiente de pandeo respecto al eje y :

$$\chi_{c,y} = \frac{1}{k_y + \sqrt{k_y^2 - \lambda_{rel,y}^2}} = \frac{1}{0,90 + \sqrt{0,90^2 - 0,83^2}} = 0,80$$

Coefficiente de pandeo respecto al eje z.

I_z : Momento de inercia respecto al eje z.

$$I_z = \frac{b \cdot h^3}{12} = \frac{195 \cdot 145^3}{12} = 49.540.156 \text{ mm}^4$$

i_z : Radio de giro de la sección respecto al eje z.

$$i_z = \sqrt{\frac{I_z}{A}} = \sqrt{\frac{49.540.156}{145 \cdot 195}} = 41,9 \text{ mm}$$

Longitud eficaz de pandeo

$$L_{k,z} = \beta_z \cdot L = 1,67 \cdot 2.680 = 4.476 \text{ mm}$$

L : Longitud de la pieza comprimida, 2680 mm (esquema xxxx).

β_z : para el plano perpendicular al de la estructura se considera que la barra puede pandear en la longitud total del par hasta la cumbrera. El coeficiente de pandeo en este caso será :

$$\frac{\text{Longitud total del par hasta cumbrera}}{\text{longitud de la barra hasta tornapunta}} = \frac{4.476}{2.680} = 1,67$$

Esbeltez mecánica de una pieza comprimida para el pandeo en el plano xy, flectando respecto al eje z.

$$\lambda_z = \frac{L_{k,z}}{i_z} = \frac{4.476}{41,9} = 106,8$$

Tensión crítica de pandeo

$$\sigma_{c,crit,z} = \pi^2 \frac{E_{0,k}}{\lambda_z^2} = \pi^2 \frac{6.000}{106,8^2} = 5,19 \text{ N/mm}^2$$

$E_{0,k}$: Valor característico del módulo de elasticidad paralelo a la fibra correspondiente al 5% percentil (SE - Mpg115). Para una clase resistente C18 su valor es 6.000 N/mm².

$\lambda_{rel,z}$: Esbeltez relativa.

$$\lambda_{rel,z} = \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{\sigma_{c,crit,z}}} = \sqrt{\frac{18}{5,19}} = 1,86$$

$f_{c,0,k}$: resistencia característica a compresión paralela a la fibra SE - Mpg115

$$k_z = 0,5 \cdot (1 + \beta_c \cdot (\lambda_{rel,z} - 0,3) + \lambda_{rel,z}^2) = 0,5 \cdot (1 + 0,2 \cdot (1,86 - 0,3) + 1,86^2) = 2,39$$

β_c : Factor asociado a la rectitud de las piezas.

$\beta_c = 0,2$ para madera maciza.

Coefficiente de pandeo respecto al eje z :

$$X_{c,z} = \frac{1}{k_z + \sqrt{k_z^2 - \lambda_{rel,z}^2}} = \frac{1}{2,39 + \sqrt{2,39^2 - 1,86^2}} = 0,26$$

Tensión de cálculo a flexión respecto al eje y :

$$\sigma_{m,y,d} = \frac{M_d}{W_y} = \frac{4.200.000}{9.18938} = 4,57 \text{ N/mm}^2$$

M_d : Momento de cálculo para la combinación más desfavorable

W_y : Módulo resistente. Para una sección rectangular :

$$W_y = \frac{b \cdot h^2}{6} = \frac{145 \cdot 195^2}{6} = 918.938 \text{ mm}^3$$

Resistencia de cálculo a flexión respecto al eje x :

$$f_{m,y,d} = K_{mod} \cdot \frac{K_h \cdot f_{m,k}}{\gamma_M} = 0,9 \cdot \frac{1,18}{1,3} = 12,46 \text{ N/mm}^2$$

K_{mod} : madera maciza, CS 1, duración de la carga corta. SE - Mpg6

K_h : factor de altura. h es mayor que 150 mm, por tanto el valor de K_h es 1.

$f_{m,k}$: Valor característico de la resistencia a flexión (SE - Mpg115).

γ_M : coeficiente parcial de seguridad para la propiedad del material (SE - Mpg6).

K_m : factor que tiene en cuenta la redistribución de tensiones y la falta de homogeneidad del material en la sección

transversal y adopta los siguientes valores :

K_m : 0,7 para secciones rectangulares de madera maciza, madera laminada y madera microlaminada.

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{\chi_{c,y} \cdot f_{c,0,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} = \frac{1,62}{0,80 \cdot 12,46} + \frac{4,57}{12,46} = 0,53 \leq 1$$

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{\chi_{c,z} \cdot f_{c,0,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} = \frac{1,62}{0,26 \cdot 12,46} + 0,70 \cdot \frac{4,57}{12,46} = 0,76 \leq 1$$

Por tanto el par de sección 145x195 mm sometido a flexocompresión con pandeo se encuentra al 76 % de su capacidad en cuanto a estado límite último.

4. COMPROBACIÓN TIRANTE DE LA CERCHA (BARRA 4) FLEXOTRACCIÓN

Las condiciones que deben cumplirse en el caso de una flexotracción son las siguientes:

$$\frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1$$

$$\frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1$$

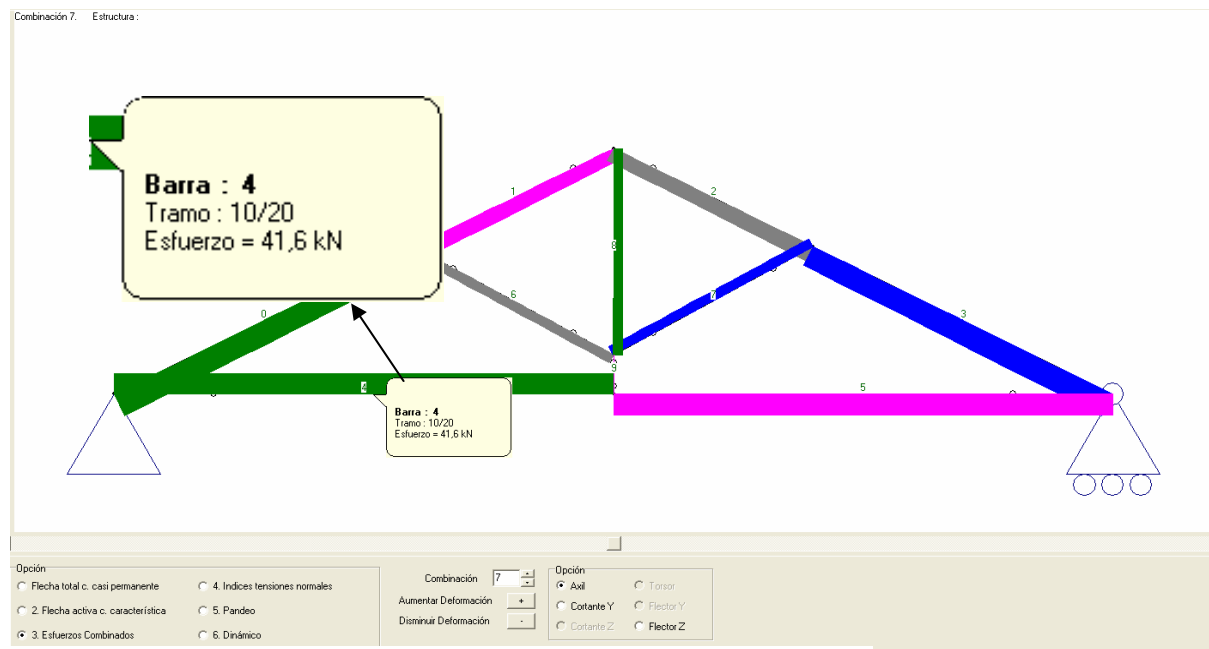
En este caso todas las cargas siguen la dirección del eje z, provocando flexión únicamente en torno al eje y. Por lo tanto, las expresiones anteriores se simplifican de la siguiente manera:

$$\frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} \leq 1$$

$$\frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} \leq 1$$

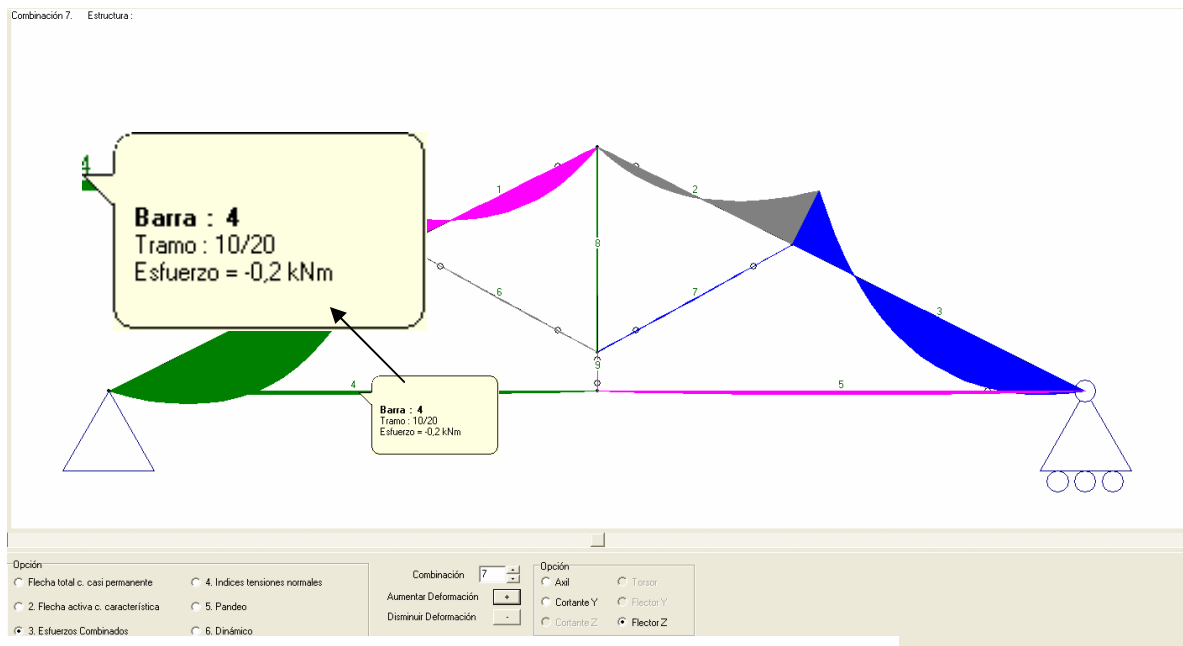
Para el cálculo a flexotracción es necesario conocer los valores de axil y momento flector en la peor sección y para la combinación más desfavorable. Estos valores se obtienen de los resultados de esfuerzos obtenidos con el software empleado. El programa Estrumad indica la peor sección (10 de 20) y la combinación más desfavorable para el caso del tirante (combinación 7) para la cual ha realizado la comprobación.

AXIL MÁXIMO EN LA SECCIÓN 10/20 PARA LA COMBINACIÓN 7



Visualización de esfuerzos combinados Estrumad 2007

MOMENTO MÁXIMO EN LA SECCIÓN 10/20 PARA LA COMBINACIÓN 7



Visualización de esfuerzos combinados de Estrumad 2007

La barra del tirante tiene una sección de 145x145 mm con un axil máximo de tracción de 41.600 N y un momento flector respecto al eje y de 200 N·m.

Tensión de cálculo a compresión paralela a la fibra :

$$\sigma_{t,0,d} = \frac{N_d}{Area} = \frac{41.600}{145 \cdot 145} = 1,98 \text{ N/mm}^2$$

N_d : valor del axil de tracción para la combinación más desfavorable.

A : áreal de la sección (b·h).

Resistencia de cálculo a tracción paralela a la fibra :

$$f_{t,0,d} = k_{mod} \frac{k_h \cdot f_{t,0,k}}{\gamma_M} = 0,9 \frac{1 \cdot 11}{1,3} = 7,62 \text{ N/mm}^2$$

k_{mod} : madera maciza, CS 1, duración de la carga corta. SE - M pg6

k_h : factor de altura. Se aplicará en piezas de madera aserrada con canto menor de 150 mm.

Para madera aserrada :

$$k_h = \left(\frac{150}{h} \right)^{0,2} = \left(\frac{150}{145} \right)^{0,2} = 1,006 \approx 1$$

$f_{t,0,k}$: Valor característico de la resistencia a tracción paralela a la fibra (SE - M pg115).

γ_M : coeficiente parcial de seguridad para la propiedad del material (SE - Mpg6).

Tensión de cálculo a flexión respecto al eje y :

$$\sigma_{m,y,d} = \frac{M_d}{W_y} = \frac{200.000}{508.104} = 0,39 \text{ N/mm}^2$$

M_d : Momento de cálculo para la combinación más desfavorable

W_y : Módulo resistente. Para una sección rectangular :

$$W_y = \frac{b \cdot h^2}{6} = \frac{145 \cdot 145^2}{6} = 508.104 \text{ mm}^3$$

Resistencia de cálculo a flexión respecto al eje x :

$$f_{m,y,d} = K_{mod} \cdot \frac{K_h \cdot f_{m,k}}{\gamma_M} = 0,9 \cdot \frac{1,18}{1,3} = 12,46 \text{ N/mm}^2$$

K_{mod} : madera maciza, CS 1, duración de la carga corta. SE - M pg6

K_h : factor de altura. Se aplicará en piezas de madera aserrada con canto menor de 150 mm.

Para madera aserrada :

$$K_h = \left(\frac{150}{h} \right)^{0,2} = \left(\frac{150}{145} \right)^{0,2} = 1,006 \approx 1$$

$f_{m,k}$: Valor característico de la resistencia a flexión (SE - M pg115).

γ_M : coeficiente parcial de seguridad para la propiedad del material (SE - M pg6).

K_m : factor que tiene en cuenta la redistribución de tensiones y la falta de homogeneidad del material en la sección transversal y adopta los siguientes valores :

K_m : 0,7 para secciones rectangulares de madera maciza, madera laminada y madera microlaminada.

K_m : 1,0 para otras secciones y otros productos de la madera.

En este caso todas las cargas siguen la dirección del eje z, provocando flexión únicamente en torno al eje y. Por lo tanto, las expresiones anteriores se simplifican de la siguiente manera:

$$\frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} = \frac{1,98}{7,62} + \frac{0,39}{12,46} = 0,29 \leq 1$$

$$\frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d}} + K_m \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} = \frac{1,98}{7,62} + 0,7 \frac{0,39}{12,46} = 0,28 \leq 1$$

Por tanto, el tirante de sección 145x145 mm sometido a flexotracción se encuentra al 29 % de su capacidad en cuanto a estado límite último.

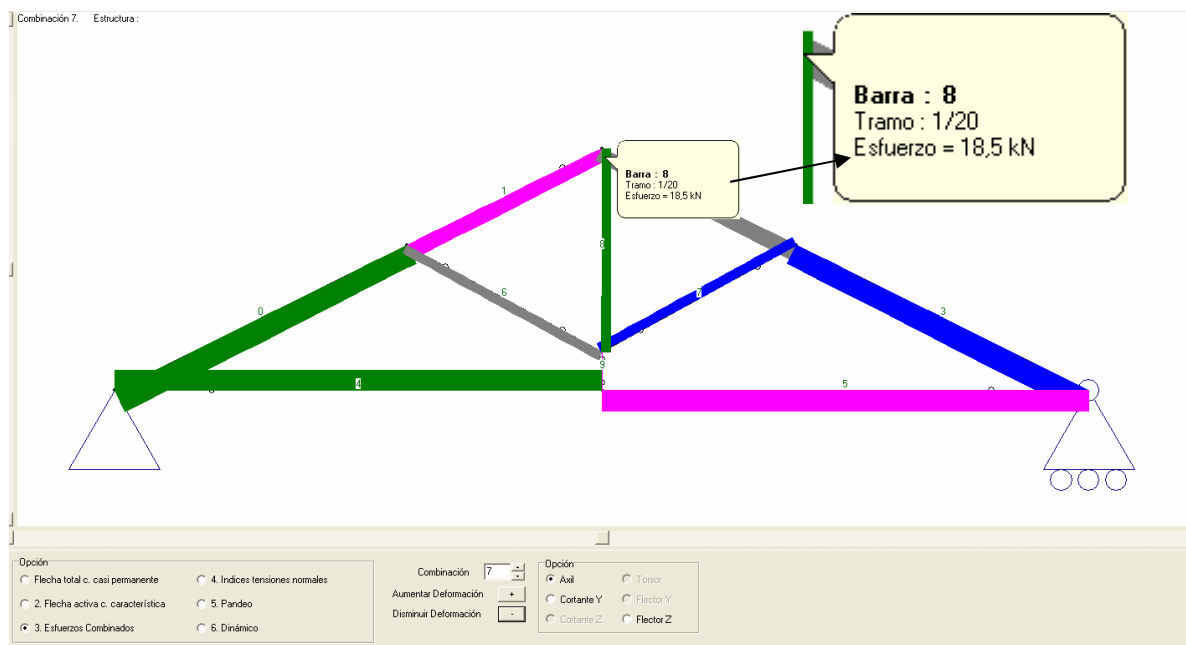
En el caso de que la cercha se diseñe con uniones tradicionales, es necesario comprobar manualmente las secciones reducidas del tirante que se vean rebajadas en los puntos de unión.

5.COMPROBACIÓN DE PENDOLÓN DE CERCHA (BARRA 8) TRACCIÓN UNIFORME PARALELA A LA FIBRA.

Las condiciones que deben cumplirse en el caso de una tracción uniforme paralela a la fibra son las siguientes:

$$\frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d}} \leq 1$$

Para el cálculo de la tensión a tracción paralela es necesario conocer el valor del axil en la peor sección y para la combinación más desfavorable en el caso del pendolón (barra 8). Este valor se obtiene de los resultados de esfuerzos obtenidos con el software empleado. El programa Estrumad indica la peor sección (0 de 20) y la combinación más desfavorable para el caso del pendolón (combinación 7) para la cual ha realizado la comprobación.



Visualización de esfuerzos combinados de Estrumad 2007

La barra del pendolón tiene una sección de 145x145 mm con un axil máximo de tracción de 18.500 N.

Tensión de cálculo a tracción paralela a la fibra :

$$\sigma_{t,0,d} = \frac{N_d}{Area} = \frac{18.500}{145 \cdot 145} = 0,88 \text{ N/mm}^2$$

N_d : valor del axil de tracción para la combinación más desfavorable.

A : áreal de la sección ($b \cdot h$).

Resistencia de cálculo a tracción paralela a la fibra :

$$f_{t,0,d} = k_{mod} \frac{k_h \cdot f_{t,0,k}}{\gamma_M} = 0,9 \frac{1,11}{1,3} = 7,62 \text{ N/mm}^2$$

k_{mod} : madera maciza, CS 1, duración de la carga corta. SE - M pg6

k_h : factor de altura. Se aplicará en piezas de madera aserrada con canto menor de 150 mm.

Para madera aserrada :

$$k_h = \left(\frac{150}{h} \right)^{0,2} = \left(\frac{150}{145} \right)^{0,2} = 1,006 \approx 1$$

$f_{t,0,k}$: Valor característico de la resistencia a tracción paralela a la fibra (SE - M pg115).

γ_M : coeficiente parcial de seguridad para la propiedad del material (SE - M pg6).

$$\frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d}} = \frac{0,88}{7,62} = 0,115 \leq 1$$

Por tanto, el pendolón de sección 145x145 mm sometido a tracción se encuentra al 11,5 % de su capacidad en cuanto a estado límite último.