

Resumo teoría

Curso de construcción en madeira 2007

1. CÁLCULO DE LA DEFORMACIÓN (Ejemplo 1: viga de forjado)

Ecuación simplificada (sin considerar la influencia del esfuerzo cortante para estimar el valor de la flecha inicial para cargas uniformes:

$$f = \frac{5}{384} \frac{q \cdot l^4}{E \cdot I}$$

Ecuación simplificada (sin considerar la influencia del esfuerzo cortante) para estimar el valor de la flecha inicial para una carga puntual P actuando en el centro del vano:

$$f = \frac{P \cdot l^3}{48 \cdot E \cdot I}$$

q: valor de la carga permanente.

P: valor de la carga puntual.

l: longitud de la pieza.

E: módulo de elasticidad, $E_{0,m}$

I: momento de inercia de la sección media. Para una sección rectangular:

$$I = \frac{b \cdot h^3}{12}$$

W_1 : flecha de la viga debida a las acciones permanentes.

$$W_1 = f_p$$

W_2 : flecha de la viga debida a los efectos de larga duración de las acciones permanentes.

$$W_2 = f_p \cdot k_{def}$$

k_{def} : factor de deformación (SE-M pg18).

W_3 : flecha debida a las cargas variables.

$$W_3 = f_v$$

W_{act} : flecha activa, deformación que considera la deformación causada por la fluencia de lo permanente (W_2) y la causada por las cargas variables (W_3).

$$W_{act} = W_2 + W_3$$

W_{max} : flecha máxima, deformación que considera la deformación debida a las cargas permanentes considerando su fluencia y la deformación debida a las cargas variables considerando su fluencia en combinación casi permanente.

$$W_{max} = f_p(1 + k_{def}) + f_v \psi_2(1 + k_{def})$$

ψ_2 : coeficiente de simultaneidad (SE Pg11)

k_{def} : factor de deformación (SE-M pg18).

Limitaciones en cuando a deformación establecidas en el CTE (SE Pg12).

Integridad: para la combinación de acciones característica considerando sólo las deformaciones que se producen después de la puesta en obra del elemento, la flecha relativa es menor que:

1/500 en pisos con tabiques frágiles o pavimentos rígidos sin juntas.

1/400 en pisos con tabiques ordinarios o pavimentos rígidos con juntas.

1/300 en el resto de los casos.

Confort de los usuarios: para combinación de acciones característica, considerando solamente las acciones de corta duración, la flecha relativa, es menor que 1/350.

Apariencia de la obra: para combinación de acciones casi permanente, la flecha relativa es menor que 1/300.

2. COMPROBACIÓN TRACCIÓN UNIFORME PARALELA A LA FIBRA (Ejemplo 2: pendolón cercha)

Comprobación tracción simple CTE, SE-M pg 28:

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

Tensión de cálculo a tracción paralela a la fibra :

$$\sigma_{t,0,d} = \frac{N_d}{Area}$$

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

A : área neta de la sección. Se deduce decontando de la sección bruta taladros, muescas y rebajes excepto clavos con diámetro inferior a 6 mm. Con varios elementos de fijación se descuentan todos los agujeros dentro de una distancia igual a la mitad de la separación mínima entre herrajes.

Resistencia de cálculo a tracción paralela a la fibra :

$$f_{t,0,d} = k_{mod} \frac{k_h \cdot f_{t,0,k}}{\gamma_M}$$

k_{mod} : factor de modificación (SE - M pg 6)

k_h : factor de altura. Se aplicará en piezas de madera aserrada con canto menor de 150 mm ó 600 mm en el caso de madera laminada. Para madera aserrada :

$$k_h = \left(\frac{150}{h} \right)^{0,2} \leq 1,3$$

Para madera laminada :

$$k_h = \left(\frac{600}{h} \right)^{0,1} \leq 1,1$$

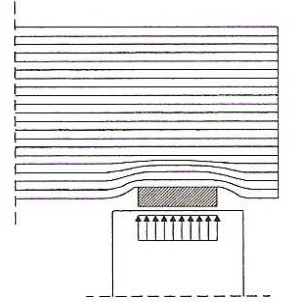
$f_{t,0,k}$: Valor característico de la resistencia a tracción paralela a la fibra (SE - M pg115).

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

3. COMPROBACIÓN A COMPRESIÓN UNIFORME PERPENDICULAR A LA FIBRA (Ejemplo 3: apoyo vigas de pasarela)

Comprobación a compresión uniforme perpendicular a la fibra según SE-M_{pg24}.

$$\frac{\sigma_{c,90,d}}{k_{c,90} \cdot f_{c,90,d}} \leq 1$$



Tensión de cálculo a compresión perpendicular a la fibra :

$$\sigma_{c,90,d} = \frac{V_d}{A}$$

V_d : valor de reacción vertical en el apoyo de la viga.

A : área neta de la sección. Se deduce decontando de la sección bruta taladros, muescas y rebajes excepto clavos con diámetro inferior a 6 mm. Con varios elementos de fijación se descuentan todos los agujeros dentro de una distancia igual a la mitad de la separación mínima entre herrajes.

Resistencia de cálculo a compresión perpendicular a la fibra :

$$f_{c,90,d} = k_{mod} \frac{f_{c,90,k}}{\gamma_M}$$

k_{mod} : clase de servicio 3 y duración de la carga corta (SE - M pg 6)

$f_{c,90,k}$: Valor característico de la resistencia a compresión perpendicular a la fibra (SE - M pg115).

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

$k_{c,90}$: factor que tiene en cuenta la distribución de la carga, la posibilidad de hienda y la deformación máxima por compresión perpendicular.

Para $k_{c,90}$ debe tomarse valor igual a 1 excepto para los casos concretos especificados en el CTE, SE-M_{pg24}.

4. COMPROBACIÓN FLEXIÓN SIMPLE (Ejemplo 1: viga de forjado)

Comprobación a flexión simple según CTE (SE-M pg26).

$$\frac{\sigma_{m,d}}{f_{m,d}} \leq 1$$

Tensión de cálculo a flexión :

$$\sigma_{m,d} = \frac{M_d}{W}$$

M_d : Momento de cálculo para la combinación más desfavorable

W : Módulo resistente. Para una sección rectangular :

$$W = \frac{b \cdot h^2}{6}$$

Resistencia de cálculo a flexión para forjados :

$$f_{m,d} = K_{mod} \cdot \frac{k_{sys} k_h \cdot f_{m,k}}{\gamma_M}$$

k_{sys} : factor de carga compartida (SE - M pg 4)

K_{mod} : factor de modificación (SE - M pg 6)

k_h : factor de altura. Se aplicará en piezas de madera aserrada con canto menor de 150 mm ó 600 mm en el caso de madera laminada. Para madera aserrada :

$$k_h = \left(\frac{150}{h} \right)^{0,2} \leq 1,3$$

Para madera laminada :

$$k_h = \left(\frac{600}{h} \right)^{0,1} \leq 1,1$$

$f_{m,k}$: Valor característico de la resistencia a flexión (SE - M pg 115).

γ_M : coeficiente parcial de seguridad para la propiedad del material (SE - M pg 6).

5. COMPROBACIÓN A FLEXIÓN ESVIADA (Ejemplo 4: correas de viga curva con copete).

Comprobación a flexión esviada según CTE, SE-M pag26.

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

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

Tensión de cálculo a flexión :

$$\sigma_{m,y,d} = \frac{M_{y,d}}{W_y}$$

$M_{d,y}$: Momento de cálculo respecto al eje y para la combinación más desfavorable

W_y : Módulo resistente respecto al eje y. Para una sección rectangular :

$$W = \frac{b \cdot h^2}{6}$$

$$\sigma_{m,z,d} = \frac{M_{z,d}}{W_z}$$

$M_{d,z}$: Momento de cálculo respecto al eje z para la combinación más desfavorable

W_z : Módulo resistente respecto al eje z. Para una sección rectangular :

$$W_z = \frac{h \cdot b^2}{6}$$

Resistencia de cálculo a flexión ::

$$f_{m,d} = K_{mod} \cdot \frac{k_{sys} K_h \cdot f_{m,k}}{\gamma_M}$$

k_{sys} : factor de carga compartida (SE - M pg4)

K_{mod} : factor de modificación (SE - M pg6)

k_h : factor de altura. Se aplicará en piezas de madera aserrada con canto menor de 150 mm ó 600 mm en el caso de madera laminada. Para madera aserrada :

$$k_h = \left(\frac{150}{h} \right)^{0,2} \leq 1,3$$

Para madera laminada :

$$k_h = \left(\frac{600}{h} \right)^{0,1} \leq 1,1$$

$f_{m,k}$: 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 el efecto de redistribución de tensiones y la falta de homogeneidad del material en la sección transversal y adopta los valores siguientes:

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

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

6. COMPROBACIÓN A CORTANTE (Ejemplo 1: viga de forjado)

Comprobación a cortante según CTE (SE-M pg26).

$$\frac{\tau_d}{f_{v,d}} \leq 1$$

τ_d : tensión de cálculo de cortante.

$f_{v,d}$: resistencia de cálculo a esfuerzo cortante.

Tensión de cálculo a cortante :

$$\tau_d = 1,5 \cdot \frac{V_d}{b \cdot h}$$

V_d : esfuerzo cortante

Resistencia de cálculo a esfuerzo cortante :

$$f_{v,d} = k_{\text{mod}} \cdot \frac{f_{v,k}}{\gamma_M}$$

k_{mod} : factor de modificación (SE - M pg6)

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

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

7. COMPROBACIÓN DE COMPRESIÓN INCLINADA RESPECTO A LA FIBRA (Ejemplo 4: apoyo viga curva con copete).

Comprobación a compresión inclinada a la fibra según CTE (SE-M pg28)

$$\sigma_{c,\alpha,d} \leq \frac{f_{c,0,d}}{\frac{f_{c,0,d}}{f_{c,90,d}} \operatorname{sen}^2 \alpha + \cos^2 \alpha}$$

$\sigma_{c,\alpha,d}$: tensión de cálculo a compresión con dirección α respecto a la fibra

$f_{c,0,d}$: resistencia de cálculo a compresión paralela a la fibra

$f_{c,90,d}$: resistencia de cálculo a compresión perpendicular a la fibra

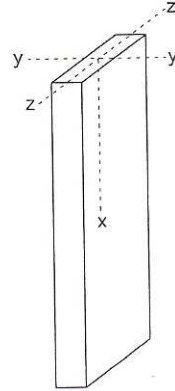
α : ángulo de inclinación de la fibra respecto a la dirección de la carga.

8. COMPROBACIÓN FLEXOTRACCIÓN (Ejemplo 2: tirante de cercha)

Comprobación flexocompresión con pandeo según CTE, SE-M pg 28:

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

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



Tensión de cálculo a tracción paralela a la fibra :

$$\sigma_{t,0,d} = \frac{N_d}{Area}$$

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

A : área neta de la sección. Se deduce decontando de la sección bruta taladros, muescas y rebajes excepto clavos con diámetro inferior a 6 mm. Con varios elementos de fijación se descuentan todos los agujeros dentro de una distancia igual a la mitad de la separación mínima entre herrajes.

Resistencia de cálculo a tracción paralela a la fibra :

$$f_{t,0,d} = k_{mod} \frac{k_h \cdot f_{t,0,k}}{\gamma_M}$$

k_{mod} : factor de modificación (SE - M pg 6)

k_h : factor de altura. Se plicará en piezas de madera aserrada con canto menor de 150 mm ó 600 mm en el caso de madera laminada. Para madera aserrada :

$$k_h = \left(\frac{150}{h} \right)^{0,2} \leq 1,3$$

Para madera laminada :

$$k_h = \left(\frac{600}{h} \right)^{0,1} \leq 1,1$$

$f_{t,0,k}$: 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).

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.

Resistencia de cálculo a flexión respecto al eje y :

$$f_{m,y,d} = k_{mod} \frac{k_h \cdot f_{m,k}}{\gamma_M}$$

k_{mod} : factor de modificación (SE - M pg6)

k_h : factor de altura. Se plicará en piezas de madera aserrada con canto menor de 150 mm ó 600 mm en el caso de madera laminada. Para madera aserrada :

$$k_h = \left(\frac{150}{h} \right)^{0,2} \leq 1,3$$

Para madera laminada :

$$k_h = \left(\frac{600}{h} \right)^{0,1} \leq 1,1$$

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

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

Tensión de cálculo a flexión respecto al eje y :

$$\sigma_{m,y,d} = \frac{M_d}{W_y}$$

M_d : Momento de cálculo para la combinación más desfavorable

W_y : Módulo resistente. Para una sección rectangular :

$$W_y = \frac{b \cdot h^2}{6}$$

Las expresiones con subíndice z, hacen referencia a los momentos, resistencias y coeficientes de pandeo respecto al eje z.

9. COMPROBACIÓN FLEXOCOMPRESIÓN CON PANDEO (Ejemplo 2: par de cercha)

Comprobación flexocompresión con pandeo según CTE, SE-M pg 29:

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

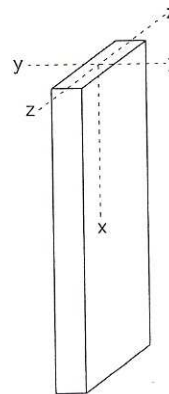
$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{\chi_{c,z} \cdot f_{c,0,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1$$

Tensión de cálculo a compresión paralela a la fibra :

$$\sigma_{c,0,d} = \frac{N_d}{A}$$

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

A : área neta de la sección. Se deduce decontando de la sección bruta taladros, muescas y rebajes excepto clavos con diámetro inferior a 6 mm. Con varios elementos de fijación se descuentan todos los agujeros dentro de una distancia igual a la mitad de la separación mínima entre herrajes.



Resistencia de cálculo a compresión paralela a la fibra :

$$f_{c,0,d} = k_{mod} \frac{f_{c,0,k}}{\gamma_M}$$

k_{mod} : factor de modificación (SE - M pg 6)

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

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

Coefficiente de pandeo respecto al eje y :

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

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

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.

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

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

Tensión crítica de pandeo :

$$\sigma_{c,crit,y} = \pi^2 \frac{E_{0,k}}{\lambda_y^2}$$

$E_{0,k}$: Valor característico del módulo de elasticidad paralelo a la fibra correspondiente al 5% percentil (SE - Mpg115).

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

$$\lambda_y = \frac{L_{k,y}}{i_y}$$

$$L_{k,y} = \beta_y \cdot L$$

L : Longitud de la pieza comprimida.

β_y : Coeficiente que depende de las condiciones de restricción de los extremos de la pieza para el movimiento en el plano xz (SE - Mpg125).

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

$$i_y = \sqrt{\frac{I_y}{A}}$$

I_y : Momento de inercia respecto al eje y.

$$I_y = \frac{b \cdot h^3}{12}$$

$$A = b \cdot h$$

Coefficiente de pandeo respecto al eje z:

Las expresiones con subíndice z, hacen referencia a los momentos, resistencias y coeficientes de pandeo respecto al eje z.

Tensión de cálculo a flexión respecto al eje y :

$$\sigma_{m,y,d} = \frac{M_d}{W_y}$$

M_d : Momento de cálculo para la combinación más desfavorable

W_y : Módulo resistente. Para una sección rectangular :

$$W_y = \frac{b \cdot h^2}{6}$$

Resistencia de cálculo a flexión respecto al eje y :

$$f_{m,y,d} = K_{mod} \cdot \frac{K_h \cdot f_{m,k}}{\gamma_M}$$

K_{mod} : factor de modificación (SE - M pg6)

K_h : factor de altura. Se aplicará en piezas de madera aserrada con canto menor de 150 mm ó 600 mm en el caso de madera laminada. Para madera aserrada :

$$K_h = \left(\frac{150}{h}\right)^{0,2} \leq 1,3$$

Para madera laminada :

$$K_h = \left(\frac{600}{h}\right)^{0,1} \leq 1,1$$

$f_{m,k}$: 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.

10. COMPROBACIÓN A FLEXIÓN CON VUELCO LATERAL (Ejemplo 3: vigas pasarela)

Comprobación a flexión con vuelco lateral según CTE, SE-M pg32:

Comprobación de flexión respecto al eje fuerte y-y, con momento $M_{y,d}$.

$$\frac{\sigma_{m,d}}{k_{crit} \cdot f_{m,d}} \leq 1$$

Tensión de cálculo a flexión :

$$\sigma_{m,d} = \frac{M_d}{W}$$

M_d : Momento de cálculo para la combinación más desfavorable

W : Módulo resistente. Para una sección rectangular :

$$W = \frac{b \cdot h^2}{6}$$

Resistencia de cálculo a flexión :

$$f_{m,d} = k_{mod} \cdot \frac{f_{m,k}}{\gamma_M}$$

k_{mod} : factor de modificación (SE - M pg6)

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

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

Estimación de k_{crit} :

$$\lambda_{rel,m} = \sqrt{\frac{f_{m,k}}{\sigma_{m,crit}}}$$

$$\sigma_{m,crit} = 0,78 \cdot \frac{E_{0,05} \cdot b^2}{L_{ef} \cdot h}$$

$E_{0,05}$ ó E_k : módulo de elasticidad longitudinal característico.

b: anchura de la sección

h: altura de la sección

L_{ef} : longitud eficaz de vuelco lateral: $L \cdot \beta_v$ (tabla 6.2; SE-M pg34)

Si $\lambda_{rel,m} \leq 0,75$ no es necesario realizar comprobación a vuelco lateral.

En caso contrario:

$$k_{crit} = 1$$

$$\text{para } \lambda_{rel,m} \leq 0,75$$

$$k_{crit} = 1,56 - 0,75 \cdot \lambda_{rel,m}$$

$$\text{para } 0,75 \leq \lambda_{rel,m} \leq 1,4$$

$$k_{crit} = 1 / \lambda_{rel,m}^2$$

$$\text{para } 1,4 \leq \lambda_{rel,m}$$

Los valores del coeficiente de vuelco lateral, K_{crit} para vigas de directriz recta y sección rectangular constante, pueden extraerse también de la tabla 6.3. (SE-M pg36) según la clase resistente de la madera y el valor del coeficiente C_e definido según la siguiente expresión:

$$C_e = \sqrt{\frac{l_{ef} \cdot h}{b^2}} \quad (\text{SE-M pg35})$$

l_{ef} : longitud eficaz de vuelco de la viga

h : altura, canto de la sección

b : anchura de la sección

11. COMPROBACIONES SINGULARES EN ZONA DE VÉRTICE

(Ejemplo 4: viga curva con copete)

Comprobación singular en zona de vértice para vigas con partes curvas según CTE (SE-M pg39).

9.1. Comprobación de tensiones de flexión:

$$\sigma_{m,d} \leq k_r \cdot f_{m,d}$$

$$\sigma_{m,d} = k_f \cdot \frac{6 \cdot M_{ap,d}}{b \cdot h_{ap}^2}$$

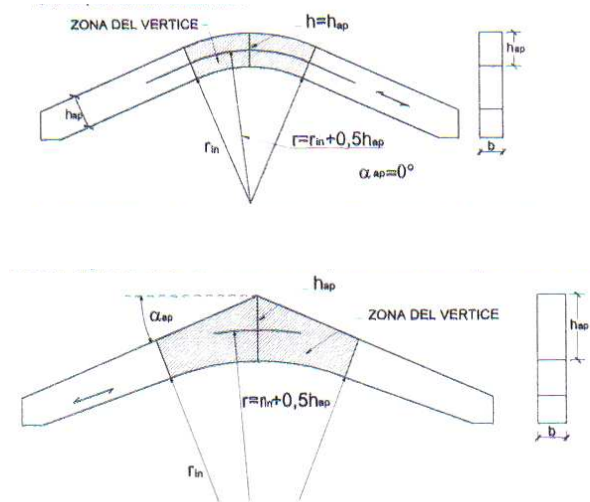
$$k_f = k_1 + k_2 \left(\frac{h_{ap}}{r} \right) + k_3 \left(\frac{h_{ap}}{r} \right)^2 + k_4 \left(\frac{h_{ap}}{r} \right)^3$$

$$k_1 = 1 + 1,4 \cdot \text{tg} \alpha_{ap} + 5,4 \cdot \text{tg}^2 \alpha_{ap}$$

$$k_2 = 0,35 - 8 \cdot \text{tg} \alpha_{ap}$$

$$k_3 = 0,6 + 8,3 \cdot \text{tg} \alpha_{ap} - 7,8 \cdot \text{tg}^2 \alpha_{ap}$$

$$k_4 = 6 \cdot \text{tg}^2 \alpha_{ap}$$



$M_{ap,d}$: momento flector de cálculo en la sección del vértice.

b : anchura de sección

h_{ap} : altura de sección en el vértice de la viga

α_{ap} : ángulo definido en la figura

$f_{m,d}$: resistencia de cálculo a flexión (SE-M pg117)

k_r : coeficiente de curvatura que tienen en cuenta la pérdida de resistencia de la madera debido al curvado de las láminas en el proceso de fabricación. Toma los valores siguientes:

$$k_r = \begin{cases} 1 & \text{para } \frac{r_{in}}{t} \geq 240 \\ 0,76 + 0,001 \frac{r_{in}}{t} & \text{para } \frac{r_{in}}{t} < 240 \end{cases}$$

r_{in} : radio del intradós de la viga

$$r = r_{in} + 0,5 \cdot h_{ap}$$

t : espesor de lámina

9.2. Comprobación de tensiones de tracción perpendicular a la fibra.

$$\sigma_{t,90,d} \leq k_{dis} \cdot k_{vol} \cdot f_{t,90,d}$$

$$\sigma_{t,90,d} = k_p \cdot \frac{6 \cdot M_{ap,d}}{b \cdot h_{ap}^2} - 0,6 \cdot \frac{p_d}{b}$$

p_d : carga distribuida (de compresión) aplicada en la zona de vértice sobre el borde superior de la viga

b : ancho de la viga

$M_{ap,d}$: momento flector de cálculo en la sección de vértice

h_{ap} : altura de la sección en el vértice de la viga

$$k_p = k_5 + k_6 \cdot \left(\frac{h_{ap}}{r}\right) + k_7 \cdot \left(\frac{h_{ap}}{r}\right)^2$$

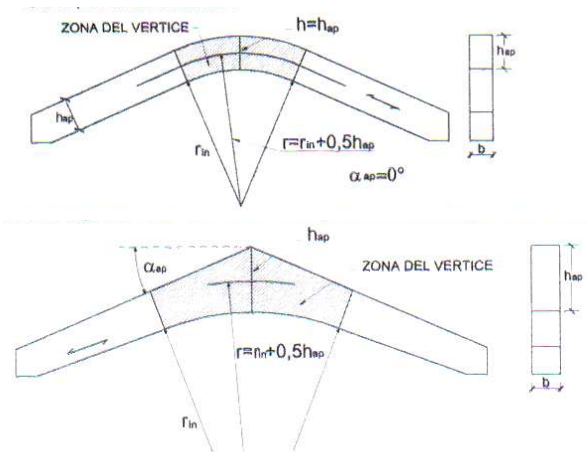
$$k_5 = 0,2 \cdot \operatorname{tg} \alpha_{ap}$$

$$k_6 = 0,25 - 1,5 \cdot \operatorname{tg} \alpha_{ap} + 2,6 \cdot \operatorname{tg}^2 \alpha_{ap}$$

$$k_7 = 2,1 \cdot \operatorname{tg} \alpha_{ap} - 4 \cdot \operatorname{tg}^2 \alpha_{ap}$$

r_{in} : radio del intradós de la viga

$$r = r_{in} + 0,5 \cdot h_{ap}$$



k_{dis} : coeficiente de distribución que adopta el valor de 1,4 para vigas con zona de vértice redondeada, 1,7 para vigas con zonas de vértice triangular.

$$k_{vol} = \left(\frac{0,01}{V}\right)^{0,2}$$

V : volumen de la zona considerada en la comprobación, máximo 2/3 del volumen total de la viga

$f_{t,90,d}$: resistencia de cálculo a tracción perpendicular a la fibra (SE-M pg117)

12. COMPROBACIÓN A FUEGO (Ejemplo 1: vigas de forjado)

Comprobación a fuego según CTE (SI E pg1)

Para asegurar el correcto funcionamiento de la estructura ante el fuego, es necesario comprobar la resistencia de la estructura en cuanto a estado límite último, para una determinada duración del fuego (según tabla 3.1. SI6-2). El método propuesto en el CTE es el método de la sección reducida que se describe a continuación.

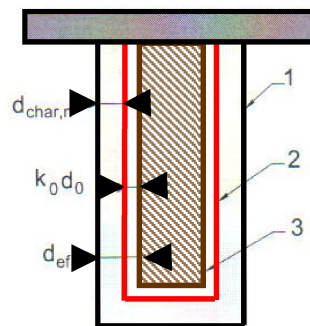
La sección reducida se obtiene eliminando de la sección inicial la profundidad eficaz de carbonización, d_{ef} , alcanzada durante el periodo de tiempo considerado, en las caras expuestas.

$$d_{ef} = d_{char,n} + k_0 \cdot d_0$$

$d_{char,n}$: profundidad carbonizada nominal de cálculo.

d_0 : 7 mm

k_0 : - 1 si $t \geq 20$ min
 - $t/20$ si $t < 20$ min, superficies no protegidas o superficies protegidas si $t_{ch} \leq 20$ min
 - Si $t_{ch} > 20$ min se considerará que k_0 varí linealmente desde 0 hasta 1 entre 0 y t_{ch} , siendo constante e igual a 1 a partir de dicho punto.



- 1 Superficie inicial del elemento
- 2 Límite de la sección residual
- 3 Límite de la sección eficaz

$$d_{char,n} = \beta_n \cdot t$$

β_n : velocidad de carbonización nominal (SI E - pg2)

t : duración de exposición al fuego

VALOR DE CÁLCULO DE LAS

PROPIEDADES DEL MATERIAL

$$X_d = k_{mod,f} \cdot k_f \cdot \frac{X_k}{\gamma_M}$$

$k_{mod,f}$: factor de modificación (SE M pg6).

k_f : coeficiente que permite transformar un valor característico en un valor medio.

k_f : 1,25 para madera maciza

k_f : 1,15 para madera laminada y derivados de la madera.

γ_M : coeficiente de seguridad del material, en este caso para situaciones extraordinarias (SE M pg6).

VALOR DE CÁLCULO DE LAS ACCIONES

El valor de cálculo de las acciones para una situación extraordinaria en estructuras de madera se puede simplificar según la siguiente expresión (SE pg10):

$$\sum_{j \geq 1} G_{k,j} + \psi_{1,1} \cdot Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \psi_{2,i} \cdot Q_{k,i}$$

$G_{k,j}$: cargas permanentes

Q_k : cargas variables

$\psi_{1,1} \psi_{2,i}$: coeficientes de simultaneidad (SE pg11)