

Letra

Examen febrero 2025

Por favor, siga las siguientes indicaciones:

- Escriba de un lado solo de las hojas.
- Escriba su nombre y número de documento en todas las hojas que entregue.
- Numere las hojas e indique el total de ellas en la primera hoja.
- Resuelva cada parte de la parte práctica en hojas diferentes.



Parte teórica

Un aserradero adquiere un campo con árboles listos para ser talados. Con el objetivo de diseñar una estrategia comercial para la venta de madera aserrada con fines estructurales, conforma un grupo asesor, en el que participa un ingeniero.

- 1) Antes de que un experto identifique la especie, se desea determinar si se trata de una conífera o una frondosa. ¿Cuáles son las principales diferencias visibles en el árbol? ¿Y a nivel macroscópico y microscópico? (7 puntos)
- 2) Una vez identificada la especie, ¿cómo se evalúa su durabilidad? Si su durabilidad natural no es suficiente para su uso al exterior, ¿qué tratamientos podrían aplicarse para permitir su uso en clases de uso 3.1 y superiores? ¿Qué aspectos deben considerarse para aplicar estos tratamientos? (12 puntos)

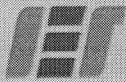
Ahora, considere una unión a corte doble madera-madera-madera mediante un único perno, tal cual se representa en el dibujo de la parte práctica.

- 3) ¿Qué parámetros geométricos y materiales intervienen en las ecuaciones de Johansen? ¿Qué es el efecto sogá y cómo afecta las ecuaciones? ¿Cuándo puede considerarse y cuándo no es correcto incluir este efecto? (8 puntos)
- 4) Dibuje todos los modos de falla de la unión, indicando en cada caso la formación de rótulas plásticas y las zonas de aplastamiento de la madera. ¿En qué modos de falla podría tenerse en cuenta el efecto sogá? (8 puntos)

Parte práctica

La estructura de la figura está conformada por dos elementos: una viga AB de madera laminada encolada de conífera, clase resistente GL24h; y un pilar doble CD de madera aserrada de frondosa, clase resistente D18. La viga tiene una sección rectangular de $120 \times 400 \text{ mm}^2$, mientras que el pilar tiene una sección rectangular doble de $2 \times 60 \times 200 \text{ mm}^2$. Los cordones están separados 120 mm (ancho de la viga), de modo que la sección total queda inscripta en un rectángulo de $240 \times 200 \text{ mm}^2$. El comportamiento compuesto del pilar se logra mediante separadores con pernos, dispuestos cada 625 mm.

1/13



Estructuras de madera

La unión entre la viga y el pilar doble se realiza mediante un perno de 16 mm de diámetro, con una resistencia característica a tracción de 800 MPa. Por las características del proceso de instalación del perno, la unión presenta una holgura vertical de 0.5 mm, lo que permite que la viga descienda hasta 0.5 mm en el punto C sin transmitir esfuerzos al pilar. Una vez superado este desplazamiento, entonces el perno comienza a tomar esfuerzos y la estructura se comporta de forma hiperestática.

Sobre la estructura, que se encuentra protegida al interior, actúan tres cargas:

- Una carga permanente distribuida de 40 kN/m aplicada sobre la viga ($\gamma_{inf} = 0.8$). En el cálculo se desprecia el peso propio de la propia estructura.
- Una sobrecarga de uso puntual de 20 kN aplicada sobre la viga, en el punto C, de duración media, y con los factores de combinación $\psi_0 = 0.7$, $\psi_1 = 0.5$ y $\psi_2 = 0.3$.
- Una carga de viento distribuida de 8 kN/m aplicada sobre el pilar, de duración corta, y con los factores de combinación $\psi_0 = 0.6$, $\psi_1 = 0.2$ y $\psi_2 = 0$.

Parte a (20 puntos)

Calcular el coeficiente de verificación de cortante de la viga para la combinación accidental de incendio que considera la sobrecarga de uso como acción principal y el viento como acción concomitante. Para la verificación, tener en cuenta los siguientes puntos:

- a modo de simplificación, la resolución de la estructura debe hacerse antes de aplicar el método de la sección reducida;
- la viga está expuesta al fuego en ambas caras y en el canto inferior;
- el tiempo de exposición a fuego es de 30 minutos.

Parte b (25 puntos)

Realizar la verificación a flexocompresión con inestabilidad del pilar para la combinación persistente que considera la sobrecarga de uso como acción principal y el viento como acción concomitante. Para la verificación, asumir que el pilar se encuentra arriostrado ante inestabilidad por compresión en los dos sentidos en ambos extremos, y ante inestabilidad por flexión en toda la longitud del pilar (despreciar el pandeo lateral torsional).

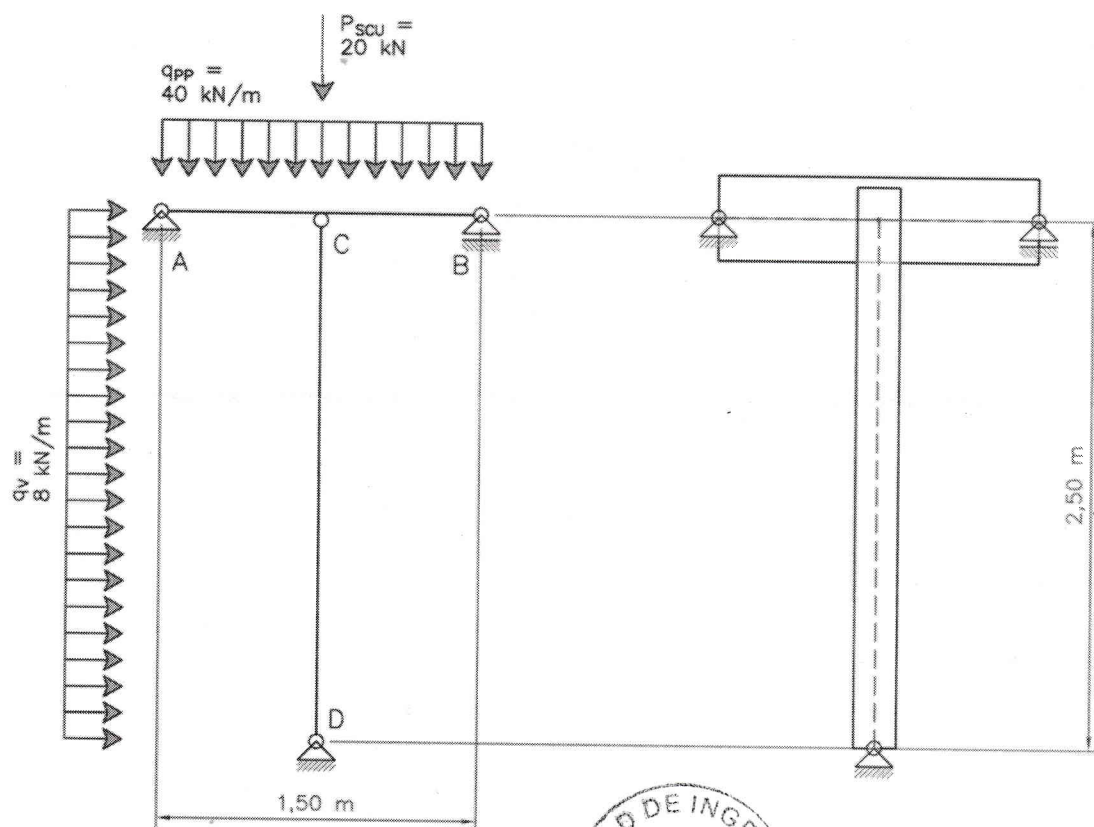
Parte c (20 puntos)

Realizar la comprobación de la unión despreciando el efecto soga para la combinación persistente que minimiza las cargas gravitatorias de peso propio y sobrecarga de uso y que considera al viento como acción principal.

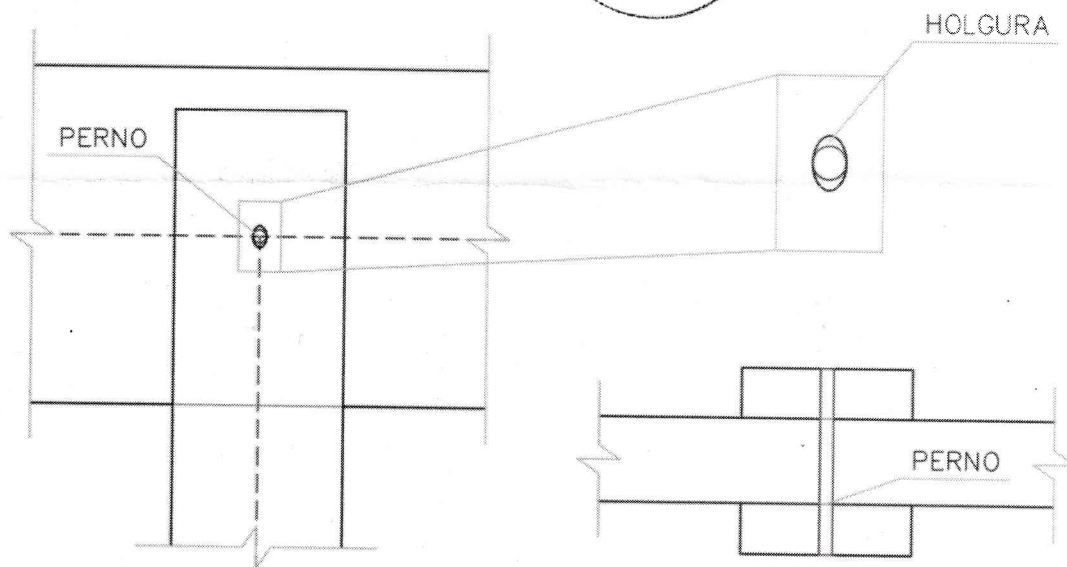


2/13

Estructuras de madera



ESQUEMA ESTRUCTURA



ALZADO UNIÓN

PLANTA UNIÓN

Solución Práctico Examen de Estructuras de Madera 1

→ Examen 11/2/2025.

a) Viga AB → GL 24h ; Pilar Doble D18
↳ $120 \times 400 \text{ mm}^2$

↳ $2 \times 60 \times 200 \text{ mm}^2$

Unión: Perno de 16mm ϕ ; $f_{yk} = 800 \text{ MPa}$

↳ Cordones separados 125mm

↳ Separadores con pernos $\phi 625 \text{ mm}$.

La viga puede descender 0,5mm

antes de transmitir esfuerzos al pilar ~~que~~ Impacte

→ 2 fases: 1) Viga simplemente apoyada hasta que flecha = 0,5mm

2) Viga en 3 apoyos, con un apoyo elástico en el medio, si flecha > 0,5mm.

Estructura protegida al interior → CS = 1

Cargas: → Permanente: 40 kN/m en viga $\gamma_{inf} = 0,8$. (Se desprecia peso propio)
 $\gamma_{sup} = 1,35$

→ Sobre carga: - 20 kN en el punto C.

- Duración media

- $\psi_0 = 0,7$; $\psi_1 = 0,5$; $\psi_2 = 0,3$

→ Viento de - 8 kN/m en el pilar

- Duración corta

- $\psi_0 = 0,6$; $\psi_1 = 0,2$; $\psi_2 = 0$.

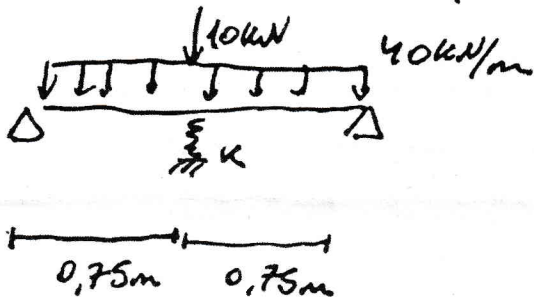


Para resolver la estructura, calculemos primero la carga.

Acción accidental con SCU como principal y viento concomitante.

$$G + \gamma_1 SCU + \gamma_2 W^0 \quad (\text{Pres } \gamma_2 \text{ de viento es nulo})$$

La carga es: Una distribuida de 40 kN/m y una puntual de $0,5 \times 20 = 10 \text{ kN}$



La letra pide, de forma simplificada, realizar el análisis estructural previo a aplicar sección reducida.

Primero calculemos la rigidez a directa del pilar

El E_o de una D18 es: 10 GPa .



Luego, el área: $A_{pil} = 2 \times 60 \times 200 = 24\,000 \text{ mm}^2$

$$N = P; \quad \sigma = \frac{N}{A}; \quad \epsilon = \frac{\sigma}{E} = \frac{N}{AE} \Rightarrow \delta = \epsilon L$$

$$k = \frac{L}{EA} = 0,0104 \text{ mm/kN}$$

$$k = 96 \text{ kN/mm}$$

Se carga la estructura en 2 tramos. Esto es un método para $I = \frac{120 \times 400^3}{12} = 640\,000\,000 \text{ mm}^4$; y viento que parte genera flecha.

Flecha de la carga distribuida.

$$G_{6,24h} = 0,72 \text{ GPa}$$

$$\delta_{dist} = \frac{5}{384} \left(\frac{qL^4}{EI} \right) \left(1 + \frac{24}{25} \left(\frac{h}{L} \right)^2 \frac{E}{G} \right)$$

$\downarrow$ $\downarrow$ $\downarrow$
 $27,23 \text{ mm}$ $9,0711$ $16,11$
 $2,9$

$$\delta_{dist} = 0,46 \text{ mm}$$

Flecha de una carga puntual:

$$\frac{\delta_{punt}}{P} = \frac{L^3}{48EI} \left(1 + \frac{6}{5} \left(\frac{h}{L} \right)^2 \frac{E}{G} \right) = 0,0224 \text{ mm/kN}$$

" 2,37

0,0094 mm/kN

Directa del pilar

→ Flecha total: $\delta_{dist} + (10 \text{ kN} - N_{pp}) \frac{\delta_{punt}}{P} = \delta_c$

$\delta_c = 0,5 \text{ mm}$ ← Porque el resorte está en el medio

$= \frac{N_{pp}}{K}$

→ En fórmula asume que

$\delta_c > 0,5 \text{ mm}$ ← Chequear al final.

→ $\delta_c = \frac{N_{pp}}{K} + 0,5 \text{ mm}$

→ $\delta_{dist} + 0,224 \text{ mm} - N_{pp} \frac{\delta_{punt}}{P} = \frac{N_{pp}}{K} + 0,5 \text{ mm}$

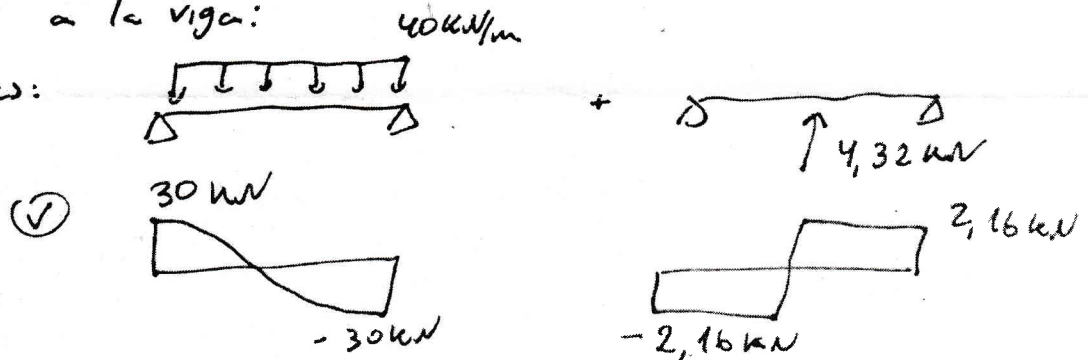
→ $N_{pp} \left(\frac{1}{K} + \frac{\delta_{punt}}{P} \right) = 0,47 \text{ mm}$

0,0104 mm/kN 0,0224 mm/kN

→ $N_{pp} = 14,32 \text{ kN}$ → $\delta_c = 0,649 \text{ mm}$ → Es correcto

→ Volviendo a la viga:

Solicitaciones:



→ $V_d = 27,84 \text{ kN}$

→ Ahora sí, pasemos a sección reducida:



Letra dice ambos centros y canto inferior

→ $h_{ef} = h - d_{ef}$

$b_{ef} = b - 2d_{ef}$

$$d_{ef} = p_n t + 7 \text{ mm} \quad (\text{Res } t > 20 \text{ mm})$$

$$p_n = 0,7 \text{ mm/min}$$

$$\text{Corifen; NLE } \rho_k = 380 \text{ kg/m}^3 > 270 \text{ kg/m}^3$$

GL24h

$$\Rightarrow d_{ef} = 28 \text{ mm}$$

$$\Rightarrow \text{Ancho efectivo: } b_{ef} = 64 \text{ mm}; \quad h_{ef} = 372 \text{ mm}$$

$$\Rightarrow \tau_d = \frac{1,5 V_{ed}}{b_{ef} \cdot d_{ef} \cdot k_{cr}} = \frac{1,5 \cdot 27,84 \text{ kN}}{0,67 \cdot 64 \text{ mm} \cdot 372 \text{ mm}} = \boxed{2,62 \text{ MPa}}$$

$k_{cr} = 0,67$

Obtenida la tensión a resistir veamos resistencia:

$$f_{v,d} = k_{mod,fi} \cdot \frac{f_{v,20}}{\gamma_{m,fi}} = k_{fi} \cdot f_{v,k} = 1,15 \cdot 2,7 \text{ MPa} = \boxed{3,105 \text{ MPa}}$$

$\gamma_{m,fi} = 1$
 $k_{mod,fi} = 1$
GL24h

$$\Rightarrow \text{Coeficiente de Verificación: } \frac{\tau_d}{f_{v,d}} = \frac{2,62}{3,105} = \boxed{84,3\%}$$

b) Primero, nuevamente, veamos cargas.

SCU principal y viento concomitante

$$\Rightarrow 1,35 \text{ Gk} + 1,5 \text{ SCU} + 1,5 \cdot \gamma_w \text{ wk}$$

Si SCU es desfavorable también lo es PP

$\Rightarrow$ Analicemos primero la viga

$$\hookrightarrow \text{Sobrecarga distribuida de } 1,35 \cdot 40 = 54 \text{ kN/m}$$

$$\hookrightarrow \text{Carga puntual de: } 30 \text{ kN}$$

Usando la misma lógica de la parte (a)

(Válido para análisis estructural se hizo pre-sección reducida)

$$s_{dist} = 1,0071 \text{ mm}$$



7 Nuevamente flecha Total:

$$\delta_{dist} + (30 \text{ kN} - N_{pp}) \frac{\delta_{punt}}{P} = \delta_c$$

7 Asumamos otra vez: $\delta_c = \frac{N_{pp}}{K} + 0,5 \text{ mm} \quad (I)$

$$\begin{aligned} 7 N_{pp} \left(\frac{1}{K} + \frac{\delta_{punt}}{P} \right) &= \delta_{dist} + 30 \text{ kN} \cdot \frac{\delta_{punt}}{P} - 0,5 \text{ mm} \\ &= 1,1791 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$7 N_{pp} = 35,95 \text{ kN}$$

$$7 \delta_c = 0,874 \text{ mm} > 0,5 \text{ mm}$$

7 Hipo (I) válida

Ahora veamos el viento:

Diagrama de viento: $2,8 \cdot 8$, $1,5$, $7,2 \text{ kN/m}$

$$M = \frac{7,2 \text{ kN/m} \cdot L^2}{8} = 5,625 \text{ kNm}$$

$L = 2,5 \text{ m}$



7 Resumen análisis estructural: $N = 35,95 \text{ kN}$ $M = 5,625 \text{ kNm}$
(compresión)

7 Tensiones: $\sigma_{directa} = \frac{N}{A} = \frac{N}{24000 \text{ mm}^2} = 1,498 \text{ MPa}$

$$\sigma_m = \frac{M}{W} = 7,031 \text{ MPa}$$

$$W = \frac{bh^2}{6} = 800000 \text{ mm}^3$$

En la figura

se ve que el pilar recibe el viento por su lado fuerte

$$h = 200 \text{ mm}$$

$$b = 220 \text{ mm}$$

¿Cómo es la verificación de flexo-compresión con inestabilidad debido que no hay viento lateral?

$$\begin{cases} \frac{\sigma_{x,ed}}{k_{x,ed} f_{x,ed}} + \frac{\sigma_{y,ed}}{f_{y,ed}} \leq 1 \rightarrow \text{Esto es pandeo según el eje fuerte} \\ \frac{\sigma_{x,ed}}{k_{x,ed} f_{x,ed}} + k_{y,ed} \frac{\sigma_{y,ed}}{f_{y,ed}} \leq 1 \rightarrow \text{Esto es pandeo según el eje déb.} \end{cases}$$

Vayamos por partes:

- $K_m = 0,7$ por sección rectangular
- $f_{m,y,d} = k_{mod} \cdot \frac{f_{m,k}}{\gamma_m} \cdot k_{sys} \cdot k_h$

$k_{mod} = 0,9$ pues $CS=1$ y duración de la combinación es Corta

$f_{m,k} = 18 \text{ MPa}$ pues D18

$\gamma_m = 1,3$ pues Modelo Asegurado.

$k_{sys} = 1$ (Es único el pilar)

$k_h = 1,0$ pues es madera aserrada de $h > 150 \text{ mm}$

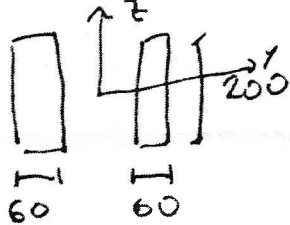
$$\therefore f_{m,y,d} = 12,46 \text{ MPa}$$

$$\cdot f_{c,o,d} = k_{mod} \cdot \frac{f_{c,o,k}}{\gamma_m} \cdot k_{sys} = 12,46 \text{ MPa}$$

$f_{c,o,k} = 18 \text{ MPa}$ pues D18

- K_{ent} : $\rightarrow$ Primero pando según el eje fuerte
(Necesitamos estudiar ambos porque en el fuerte la flexión es mayor (No lleva K_m))

Inercia:



$$I_y = \frac{120 \text{ mm} \cdot (200 \text{ mm})^3}{12} = 80\,000\,000 \text{ mm}^4$$

$$\therefore i_y = \sqrt{\frac{I_y}{A}} = 57,73 \text{ mm}$$

$$\therefore \lambda_y = \frac{L}{i_y} = \frac{2500}{57,73} = \boxed{43,305}$$

$$\therefore \sigma_{crit,y} = \frac{\pi^2 E_{o,k}}{\lambda_y^2} = \boxed{44,21 \text{ MPa}}$$

$E_{o,k} = 8,46 \text{ GPa}$ pues D18

$$\therefore \lambda_{rel,y} = \sqrt{\frac{f_{c,o,k}}{\sigma_{crit,y}}} = \sqrt{\frac{18}{44,21}} = \boxed{0,638} > 0,3 \therefore \text{Aplica pando}$$

$$k_{y,1} = 0,5 \left(1 + \beta_c (\lambda_{rel,y} - 0,3) + \lambda_{rel,y}^2 \right) = \boxed{0,737}$$

$$K_{ent,y} = \frac{1}{k_{y,1} + \sqrt{k_{y,1}^2 - \lambda_{rel,y}^2}} = \boxed{0,904} \quad \beta_c = 0,2 \text{ por ser MA}$$



Pandeo según el eje débil

¡Sección Compuesta! → 10.2.1 del CTE-DG-SB-Materia

$$\lambda_{ef} = \sqrt{\lambda^2 + \eta \frac{\pi^2}{2} \lambda_1^2}$$

↑
Efecto de no tener efectos de no rigidez de la unión

↑
Efecto de no rigidez de la sección

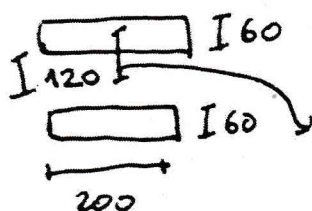
$\eta = 2,5$ por unión con pernos y duración corta de la carga

$n = 2 \rightarrow 2$ cordones

$$\lambda_1 = \max \left\{ 30, \sqrt{12} \frac{l_1}{h} \right\} = 36,08 \quad \lambda_1 = 36,08$$

$l_1 = 625 \text{ mm} \rightarrow$ Separación entre conectores
 $h = 60 \text{ mm} \rightarrow$ Espesor del cordón

Inercia:



$$I_z = 2 \times \frac{200 \times 60^3}{12} + 2 \times 60 \times 200 \times 90^2 = 201\,600\,000 \text{ mm}^4$$

$$\lambda_z = \frac{L}{i_z} = \frac{2500}{91,65} = 27,277 \quad i_z = \sqrt{\frac{I_z}{A}} = 91,65 \text{ mm}$$

$$\lambda_{ef} = 63,23 \quad \sigma_{crit,z} = \frac{\pi^2 \cdot E_{0,k}}{\lambda_{ef}^2} = 20,74 \text{ MPa}$$

$$\Rightarrow \lambda_{rel,z} = \sqrt{\frac{18}{20,74}} = 0,932 > 0,3 \rightarrow \text{Aplica pandeo}$$

$$k_{r,z} = 0,5(1 + \beta_c(\lambda_{rel,z} - 0,3) + \lambda_{rel,z}^2) = 0,997$$

$$k_{crit,z} = \frac{1}{k_{r,z} + \sqrt{k_{r,z}^2 + \lambda_{rel,z}^2}} = 0,740$$

Verificación:

$$\frac{\sigma_{e,d}}{k_{crit,z} \cdot f_{e,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} = 0,133 + 0,564 = 69,7\% \quad \left\{ \begin{array}{l} \text{El coef. de Verificación} \\ \text{es } 69,7\% \end{array} \right.$$

$$\frac{\sigma_{e,d}}{k_{crit,z} \cdot f_{e,d}} + k_{m,y} \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} = 0,162 + 0,395 = 55,7\%$$

c) Nuevamente comencemos por los cargas.

Letra: "Combina la que minimiza cargas gravitatorias y viento es principal"

7 $G_1 \rightarrow$ En su valor favorable

SCU $\rightarrow$ No aparece

W $\rightarrow$ Máximo

$$7 \boxed{0,8 G + 1,5 W}$$



Analicemos primero la viga:

$\hookrightarrow$ Sobrecarga distribuida de $0,8 \cdot 40 = 32 \text{ kN/m}$

7 Usando la misma lógica de parte a:

$$\delta_{\text{dist}} = 0,5968 \text{ mm}$$

Nuevamente flecha total:

$$\delta_{\text{dist}} - N_{PP} \frac{\delta_{\text{aut}}}{P} = \delta_c$$

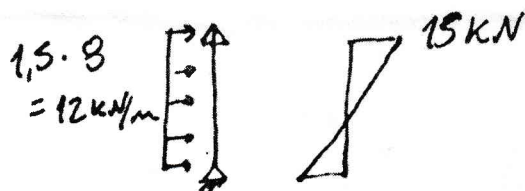
$$\text{Volvamos a asumir } \delta_c = \frac{N_{PP}}{K} + 0,5 \text{ mm (I)}$$

$$7 \underbrace{N_{PP} \left(\frac{1}{K} + \frac{\delta_{\text{aut}}}{P} \right)} = \delta_{\text{dist}} - 0,5 \text{ mm} = 0,0968 \text{ mm}$$

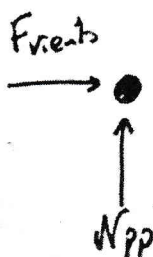
$$7 \underbrace{N_{PP} = 2,95 \text{ kN}} \quad 7 \delta_c = 0,53 \text{ mm} > 0,5 \text{ mm}$$

(H) (I) Válida ✓

Ahora veamos el viento.



7 Fuerzas en la unión (Para el dibujo analizamos frenos del pilar hacia la viga)

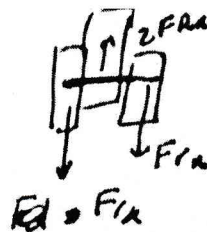


7 Por Pitágoras:

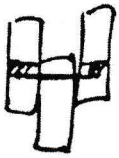
$$\boxed{\begin{aligned} \text{Fuerza total} &= \sqrt{15^2 + 2,95^2} \\ &= 15,287 \text{ kN} \end{aligned}}$$

Esta es la fuerza de diseño que resiste TODA la unión

Sección Doble madera:



Falla a)



$$F_{Rk,1} = f_{h,1,k} \cdot t_1 \cdot d$$

$$f_{h,1,k} = \frac{f_{h,0,k}^{D18}}{k_{90}^{D18} \sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha}$$

Aplastamiento
en el pilar.

$$f_{h,0,k}^{D18} = 0,082 (1 - 0,01d) f_k$$

$$f_k = 500 \text{ kg/m}^3 \text{ para D18}$$

$$d = 16 \text{ mm (lo dice la letra)}$$

$$f_{h,0,k}^{D18} = 34,44 \text{ MPa}$$

$$k_{90}^{D18} = 0,9 + 0,015d = 1,14$$

Frondosa α → Ángulo entre carga y fibra.

Volúmenes al dibujo:

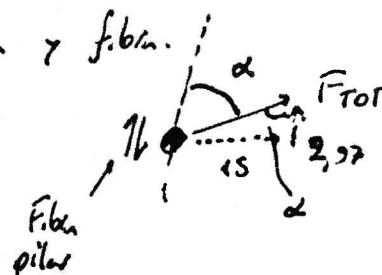
$$\tan \alpha = \frac{15}{2,92} = 5,0505$$

$$\alpha = 78,80^\circ$$

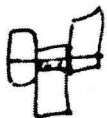
$$f_{h,1,k} = \frac{34,44}{1,14 \cdot 0,962 + 0,0377} = 30,36 \text{ MPa}$$

$$t_1 = 60 \text{ mm}$$

$$F_{Rk,1} = 29,146 \text{ kN}$$



Falla b)



$$F_{Rk,2} = 0,5 f_{h,2,k} \cdot t_2 \cdot d$$

$$f_{h,2,k} = \frac{f_{h,0,k}^{GL24h}}{k_{90}^{GL24h} \sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha}$$

Aplastamiento
en la viga.

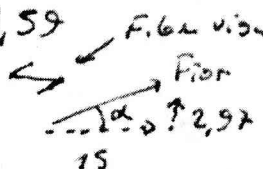
$$f_k = 380 \text{ kg/m}^3 \text{ para GL24h}$$

$$f_{h,0,k}^{GL24h} = 26,174 \text{ MPa}$$

$$k_{90}^{GL24h} = 1,35 + 0,015d = 1,59$$

Coníferas

α :



$$\tan \alpha = \frac{2,92}{15} = 0,198$$

$$\alpha = 11,20^\circ$$

$$f_{h,2,k} = \frac{26,174 MPa}{1,59 \cdot 0,0377 + 0,962} = \underline{25,608 MPa}$$

$$t_2 = 120 \text{ mm} \Rightarrow \boxed{F_{Rk,2} = 24,583 \text{ kN}}$$

Falla c)



$$F_{Rk,3} = 1,05 \cdot \frac{f_{h,2,k} \cdot t_2 \cdot d}{2 + \beta} \left(\sqrt{2\beta(1+\beta) + \frac{4\beta(2+\beta)M_{yk}}{f_{h,2,k} d t_2^2}} - \beta \right)$$

$$\beta = \frac{f_{h,2,k}}{f_{h,1,k}} = \underline{0,843}$$

Se desprecia efecto soga.

$$M_{yk} = 0,3 f_{yk} d^{2,6} = 324\,282,26 \text{ Nmm}$$

$$\Rightarrow F_{Rk,3} = 1,05 \cdot \frac{29,146 \text{ kN}}{2,843} \left(\sqrt{\underbrace{3,107 + \frac{3\,108\,763 \text{ Nmm}}{1\,743\,760 \text{ Nmm}}}_{2,185}} - \beta \right)$$

$$\boxed{F_{Rk,3} = 14,44 \text{ kN}}$$

Falla d)



$$F_{Rk,4} = 1,15 \sqrt{\frac{2\beta}{1+\beta}} \sqrt{2 M_{yk} f_{h,1,k} d}$$

$$= 1,15 \cdot 0,956 \cdot 17,450 \text{ kN} = \boxed{19,184 \text{ kN}}$$

$$\Rightarrow \tilde{F}_{Rk} = \min_{i=\{1,2,3,4\}} F_{Rk,i} = 14,44 \text{ kN}$$

Resistencia característ en un plano de corte de la unión

⇒ Nota: Uno puede pasar la carga a por plano de corte o la resistencia a la total. Aquí se hace la resistencia a total

$$\Rightarrow F_d = 2 \cdot \frac{F_{Rk}}{\phi_m} \cdot (k_{mod})'' = \underline{19,994 \text{ kN}}$$

2 planos de corte

1,3 pues unión

$$\Rightarrow \text{Coeficiente de verificación } \frac{F_{tot}}{F_d} = \frac{15,287}{19,994} = \boxed{76,46\%}$$

