



Estructuras de madera

6.4. Cortante, torsión y tracción-compresión perpendicular a la fibra

1. ELU Tensiones tangenciales
2. ELU Tensiones perpendiculares a la fibra

6.4. Cortante, torsión y tracción-compresión perpendicular a la fibra

VERIFICACIONES EN E.L.U.- Resumen

1. TRACCIÓN PARALELA A LA FIBRA

2. COMPRESIÓN PARALELA A LA FIBRA

3. FLEXIÓN SIMPLE

4. CORTANTE

5. TORSIÓN

6. TRACCIÓN PERPENDICULAR A LA FIBRA

7. COMPRESIÓN PERPENDICULAR A LA FIBRA

8. INESTABILIDAD DE PIEZAS A COMPRESIÓN

8.1. INESTABILIDAD POR PANDEO EN COLUMNAS (compresión o flexocompresión)

8.2. INESTABILIDAD VUELCO LATERAL EN VIGAS (flexión o flexocompresión)

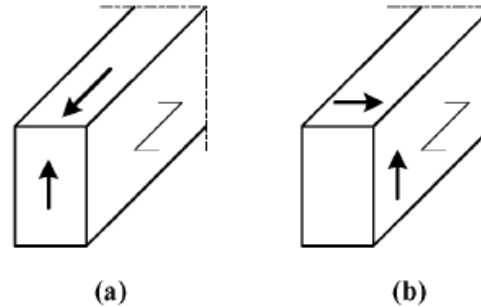
9. FLEXIÓN ESVIADA

10. FLEXOTRACCIÓN

11. FLEXOCOMPRESIÓN

E.L.U. Cálculo de secciones sometidas a tensiones tangenciales

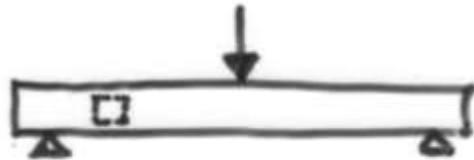
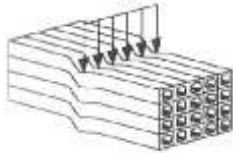
4. CORTANTE

TENSION de cálculo (τ_d)RESISTENCIA de cálculo ($f_{v,d}$)

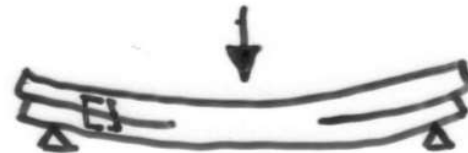
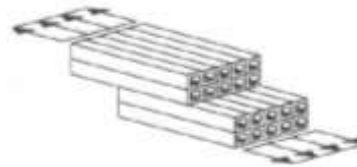
CASO (a): $f_{v,d}$
 CASO (b): $2 f_{t90,d}$

Fig. 6.5 – (a) Pieza con una componente de la tensión de cortante paralela a la fibra (b) Pieza con ambas componentes de la tensión perpendiculares a la fibra (cortante de rodadura)

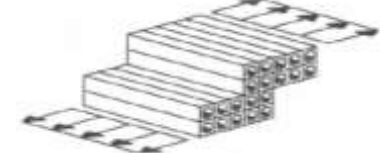
de cortadura



de deslizamiento



de rodadura



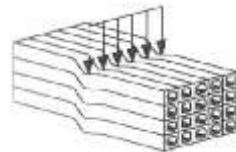
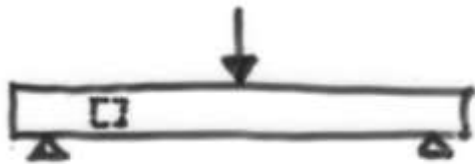
E.L.U. Cálculo de secciones sometidas a tensiones tangenciales

4. CORTANTE

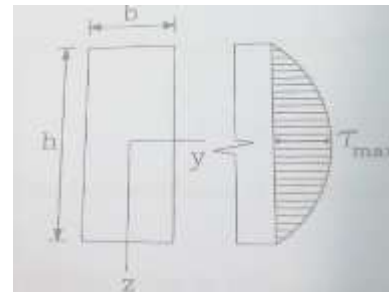
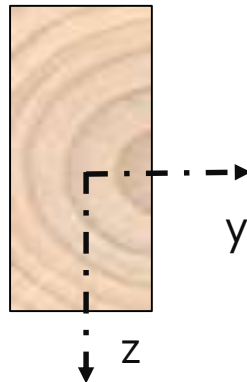
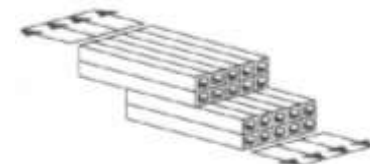
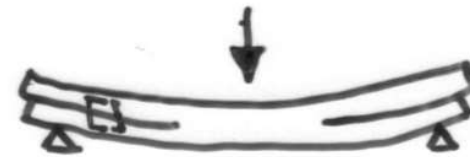
TENSION de cálculo (τ_d)

EJEMPLO DE CORTANTE EN PIEZAS DE M.A. Y M.L.E. A FLEXIÓN

de cortadura



de deslizamiento



Argüelles y Arriaga, 2000

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

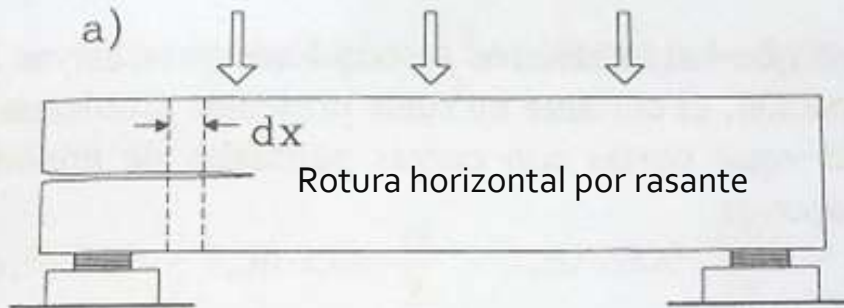
El fallo por cortante en vigas de madera sometidas a flexión se produce por un deslizamiento entre las fibras en la dirección paralela cerca de los apoyos (**FALLO POR RASANTE**)

E.L.U. Cálculo de secciones sometidas a tensiones tangenciales

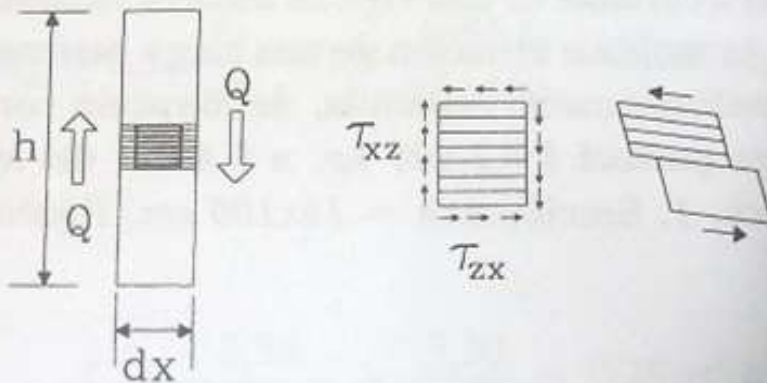
4. CORTANTE

TENSION de cálculo (τ_d)

EJEMPLO DE CORTANTE EN PIEZAS A FLEXIÓN



b) DESLIZAMIENTO



de deslizamiento



$$\text{TENSIÓN MÁXIMA: } \tau_{max} = 1,5 \frac{V_d}{b_{ef} \cdot h}$$

 V_d : esfuerzo cortante

b_{ef} : anchura eficaz teniendo en cuenta la presencia de **fendas** (EN 1995-1-1:2006/A1:2008). Esta reducción se corresponde con fendas de una profundidad de 1/3 de b.

$$b_{ef} = k_{cr} \cdot b$$

b: anchura de la pieza

 $k_{cr} = 0.67$ para madera maciza y MLE $k_{cr} = 1$ para otros productos derivados de la madera

(EN 13986 Y EN 14374)

NOTA: k_{cr} puede tomar valores distintos dependiendo del país

E.L.U. Cálculo de secciones sometidas a tensiones tangenciales

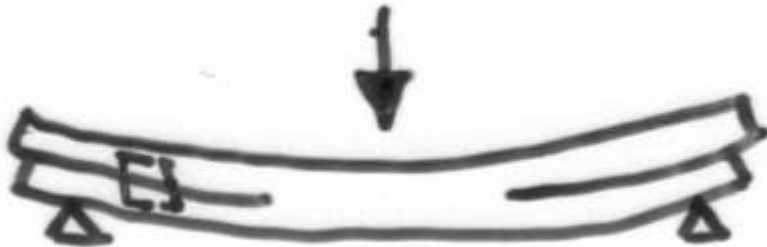
4. CORTANTE

TENSION de cálculo (τ_d)RESISTENCIA de cálculo ($f_{V,d}$)

EJEMPLO DE CORTANTE EN VIGAS A FLEXIÓN

de deslizamiento

$$f_{v,d} = k_{\text{mod}} \cdot (f_{v,k} / \gamma_M)$$



E.L.U. Cálculo de secciones sometidas a tensiones tangenciales

4. CORTANTE

TENSION de cálculo (τ_d)RESISTENCIA de cálculo ($f_{V,d}$)

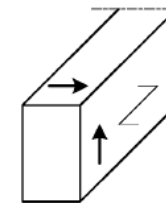
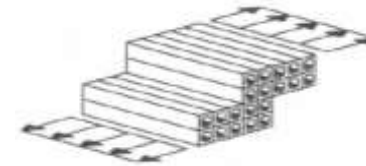
EJEMPLO DE CORTANTE EN PIEZAS DE CLT A FLEXIÓN

de rodadura



La resistencia a cortante por rodadura es aproximadamente igual a dos veces la resistencia tracción perpendicular a la fibra

$$f_{V,d} = k_{\text{mod}} \cdot (2 \cdot f_{t,90,k} / \gamma_M)$$



(b)

E.L.U. Cálculo de secciones sometidas a tensiones tangenciales

4. CORTANTE: ejemplo vigueta forjado

TENSION de cálculo (τ_d)

$$\tau_{max} = 1,5 \frac{V_d}{b_{ef} \cdot h}$$

$$b_{ef} = k_{cr} \cdot b = 0,67 \cdot 100 = 67 \text{ mm}$$

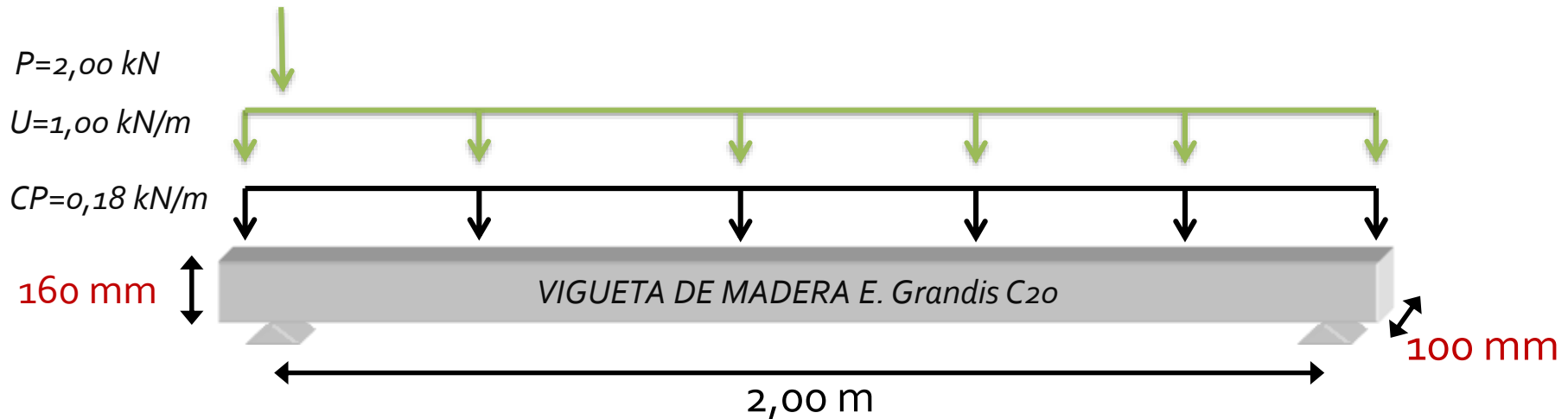
$$h = 160 \text{ mm}$$

COMBINACIONES DE ACCIONES

Combinación de cargas:	CP	U	P
Combinación 1 (CP)	1,35	0	0
Combinación 2 (CP+U)	1,35	1,50	0
Combinación 3 (CP+P)	1,35	0	1,50

2. CORTANTE: Comprobación de la resistencia a cortante: $\tau_d \leq f_{v,d}$ EC-5:1-1(Ec.6.13)

Combinación de acciones	Cb. 1	Cb. 2	Cb. 3	
Esfuerzo cortante ($V_{y,d}$)	0,25	1,75	3,00	kN
Tensión cálculo ($\tau_{y,d}$)	0,03	0,24	0,42	N/mm ²



E.L.U. Cálculo de secciones sometidas a tensiones tangenciales

4. CORTANTE: ejemplo vigueta forjado

TENSION de cálculo (τ_d)RESISTENCIA de cálculo ($f_{v,d}$)

$$f_{v,d} = k_{mod} \cdot (f_{v,k} / \gamma_M)$$

Tabla 1 – Clases resistentes. Valores característicos

	Coníferas y chopo											Fronzosas									
	C14	C16	C18	C20	C22	C24	C27	C30	C35	C40	C45	C50	D18	D24	D30	D35	D40	D50	D60	D70	
Propiedades de resistencia (en N/mm ²)																					
Flexión	$f_{m,k}$	14	16	18	20	22	24	27	30	35	40	45	50	18	24	30	35	40	50	60	70
Tracción paralela a la fibra	$f_{t,0,k}$	8	10	11	12	13	14	16	18	21	24	27	30	11	14	18	21	24	30	36	42
Tracción perpendicular a la fibra	$f_{t,90,k}$	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6
Compresión paralela a la fibra	$f_{c,0,k}$	16	17	18	19	20	21	22	23	25	26	27	29	18	21	23	25	26	29	32	34
Compresión perpendicular a la fibra	$f_{c,90,k}$	2,0	2,2	2,2	2,3	2,4	2,5	2,6	2,7	2,8	2,9	3,1	3,2	7,5	7,8	8,0	8,1	8,3	9,3	10,5	13,5
Cortante	$f_{v,k}$	3,0	3,2	3,4	3,6	3,8	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	3,4	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,5	5,0
Propiedades de rigidez (en kN/mm ²)																					
Módulo de elasticidad medio paralelo a la fibra	$E_{0,medio}$	7	8	9	9,5	10	11	11,5	12	13	14	15	16	9,5	10	11	12	13	14	17	20
Módulo de elasticidad paralelo a la fibra (5% percentil)	$E_{0,05}$	4,7	5,4	6,0	6,4	6,7	7,4	7,7	8,0	8,7	9,4	10,0	10,7	8	8,5	9,2	10,1	10,9	11,8	14,3	16,8
Módulo de elasticidad medio perpendicular a la fibra	$E_{90,medio}$	0,23	0,27	0,30	0,32	0,33	0,37	0,38	0,40	0,43	0,47	0,50	0,53	0,63	0,67	0,73	0,80	0,86	0,93	1,13	1,33
Módulo medio de cortante	G_{medio}	0,44	0,5	0,56	0,59	0,63	0,69	0,72	0,75	0,81	0,88	0,94	1,00	0,59	0,62	0,69	0,75	0,81	0,88	1,06	1,25
Densidad (en kg/m ³)																					
Densidad	ρ_k	290	310	320	330	340	350	370	380	400	420	440	460	475	485	530	540	550	620	700	900
Densidad media	ρ_{medio}	350	370	380	390	410	420	450	460	480	500	520	550	570	580	640	650	660	750	840	1080

EN 338:2009

E.L.U. Cálculo de secciones sometidas a tensiones tangenciales

4. CORTANTE: ejemplo vigueta forjado

 $\gamma_M = 1,30$ Para madera aserrada
RESISTENCIA de cálculo ($f_{v,d}$)

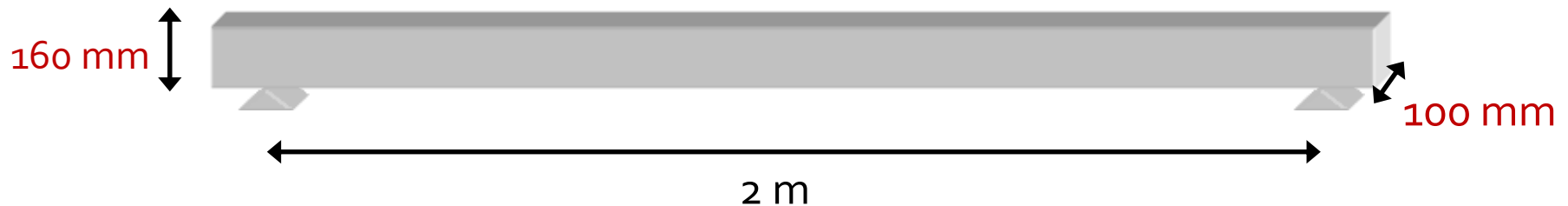
$$f_{v,y,d} = k_{mod} \cdot (f_{v,k} / \gamma_M)$$

 $K_{mod} = 0,60$ Cargas permanentes y CS 1 (interior) \longrightarrow Cb. 1: 1,35 CP

 $K_{mod} = 0,80$ Cargas de media duración y CS 1 (interior) \longrightarrow Cb. 2 : 1,35 CP + 1,50 U

 $K_{mod} = 0,90$ Cargas de corta duración y CS 1 (interior) \longrightarrow Cb. 3 : 1,35 CP + 1,50 P
2. CORTANTE: Comprobación de la resistencia a cortante: $\tau_d \leq f_{v,d}$ EC-5:1-1(Ec.6.13)

Combinación de acciones	Cb. 1	Cb. 2	Cb. 3	
Esfuerzo cortante ($V_{y,d}$)	0,25	1,75	3,00	kN
Tensión cálculo ($\tau_{y,d}$)	0,03	0,24	0,42	N/mm ²
Resistencia cálculo ($f_{v,y,d}$)	1,66	2,22	2,49	N/mm ²



E.L.U. Cálculo de secciones sometidas a tensiones tangenciales

4. CORTANTE: ejemplo vigueta forjado

TENSION de cálculo (τ_d)RESISTENCIA de cálculo ($f_{v,d}$)

$$f_{v,d} = k_{\text{mod}} \cdot (f_{v,k} / \gamma_M)$$

2. CORTANTE:

Comprobación de la resistencia a cortante: $\tau_d \leq f_{v,d}$ EC-5:1-1(Ec.6.13)

Combinación de acciones	Cb. 1	Cb. 2	Cb. 3	
Esfuerzo cortante ($V_{y,d}$)	0,25	1,75	3,00	kN
Tensión cálculo ($\tau_{y,d}$)	0,03	0,24	0,46	N/mm ²
Resistencia cálculo ($f_{v,y,d}$)	1,66	2,22	2,49	N/mm ²
Comprobación	2,08	11,03	16,87	%

CUMPLE A CORTANTE

COMBINACIONES	COMBINACION DETERMINANTE		
Combinación de cargas:	CP	U	P
Combinación 1 (CP)	1,35	0	0
Combinación 2 (CP+U)	1,35	1,5	0
Combinación 3 (CP+P)	1,35	0	1,5

E.L.U. Cálculo de secciones sometidas a tensiones tangenciales

4. CORTANTE

TENSION de cálculo (τ_d)

CORTANTE EN PIEZAS A FLEXIÓN

CARGAS PUNTUALES CERCANAS AL APOYO



SE DESPRECIA EL EFECTO DEL CORTANTE

(2) En los apoyos, la contribución al cortante total de una carga concentrada F que actúa sobre la cara superior de la viga y se encuentra dentro de una distancia h o h_{ef} desde el borde del apoyo puede despreciarse (véase la figura 6.6). En vigas con una entalladura en el apoyo, esta reducción se aplica únicamente cuando la entalladura está en la cara opuesta a la del apoyo.

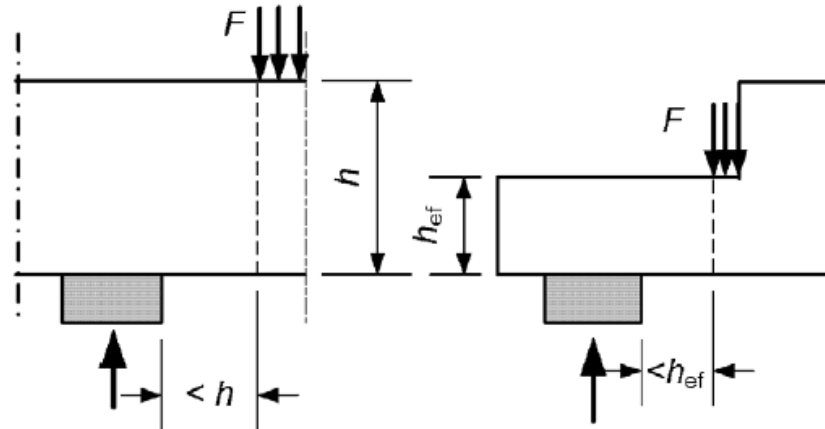


Fig. 6.6 – Condiciones en un apoyo, en las cuales la carga concentrada F puede despreciarse en el cálculo del cortante

E.L.U. Cálculo de secciones sometidas a tensiones tangenciales

4. CORTANTE

TENSION de cálculo (τ_d)

CORTANTE EN PIEZAS A FLEXIÓN

CARGAS PUNTUALES CERCANAS AL APOYO



SE DESPRECIA EL EFECTO DEL CORTANTE

El dimensionado las piezas para cumplir las verificaciones de resistencia y deformación, suele ser suficiente para cumplir la condición de cortante, **excepto en los siguientes casos:**

- Piezas de sección variable
- Vigas cortas con cargas puntuales de importancia
- Vigas con entalladuras en los apoyos

E.L.U. Cálculo de secciones sometidas a tensiones tangenciales

4. CORTANTE

6.5 Piezas con entalladuras

6.5.1 Generalidades

(1)P Los efectos de concentración de tensiones en las entalladuras deben tenerse en cuenta en la comprobación de la resistencia de las piezas.

(2) El efecto de la concentración de tensiones puede despreciarse en los casos siguientes:

- tracción o compresión paralela a la fibra;
- flexión con tensiones de tracción en la entalladura si la inclinación del borde no es mayor que $1:i = 1:10$, esto es $i \geq 10$, véase la figura 6.10a;
- flexión con tensiones de compresión en la entalladura, véase la figura 6.10b.

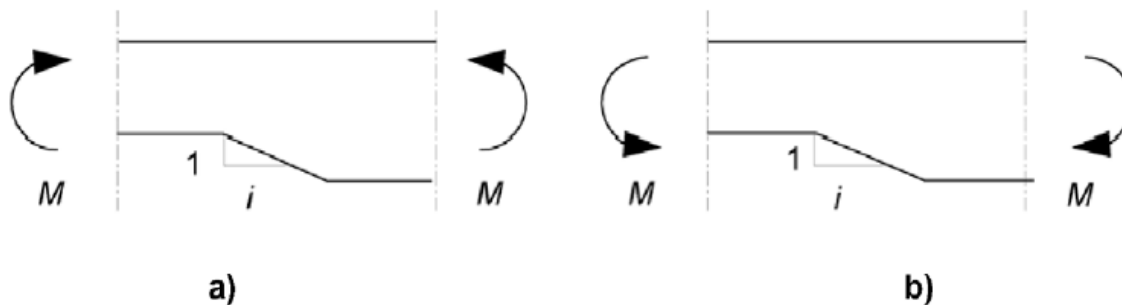


Fig. 6.10 – Flexión en la entalladura: a) con tensiones de tracción en la entalladura, b) con tensiones de compresión en la entalladura

E.L.U. Cálculo de secciones sometidas a tensiones tangenciales

4. CORTANTE con entalladuras en los apoyos

TENSION de cálculo (τ_d)

CORTANTE EN PIEZAS A FLEXIÓN

RESISTENCIA de cálculo ($k_v \cdot f_{v,d}$)

k_v : factor penalizante de la resistencia a cortante en función de la forma de la entalladura

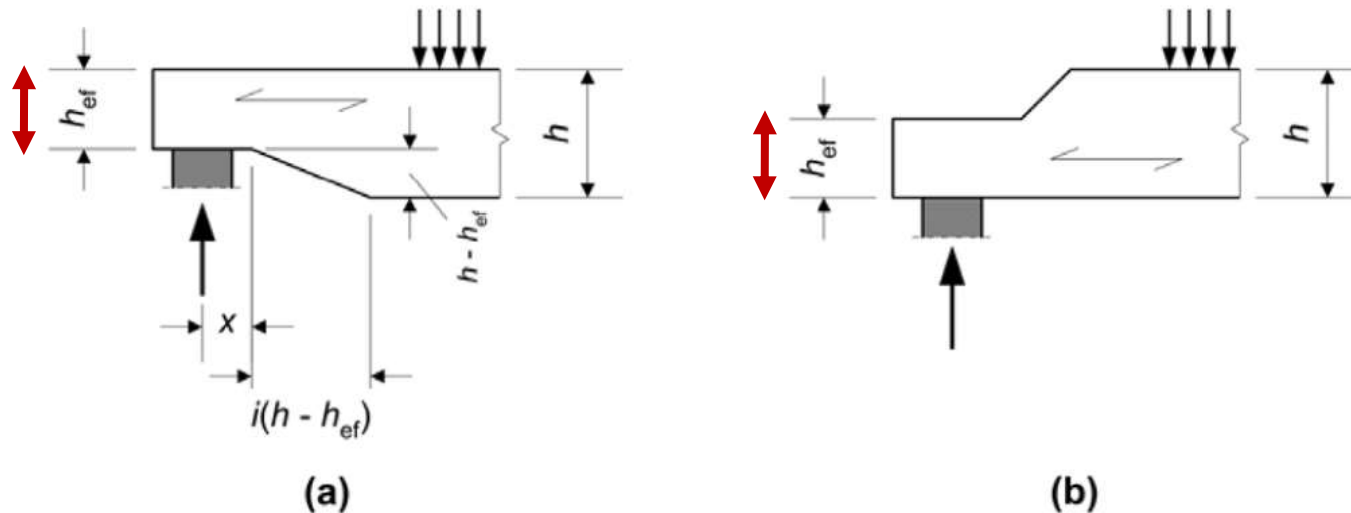


Fig. 6.11 – Vigas con entalladuras en los extremos

E.L.U. Cálculo de secciones sometidas a tensiones tangenciales

4. CORTANTE con entalladuras en los apoyos

TENSION de cálculo (τ_d)RESISTENCIA de cálculo ($k_v \cdot f_{v,d}$)

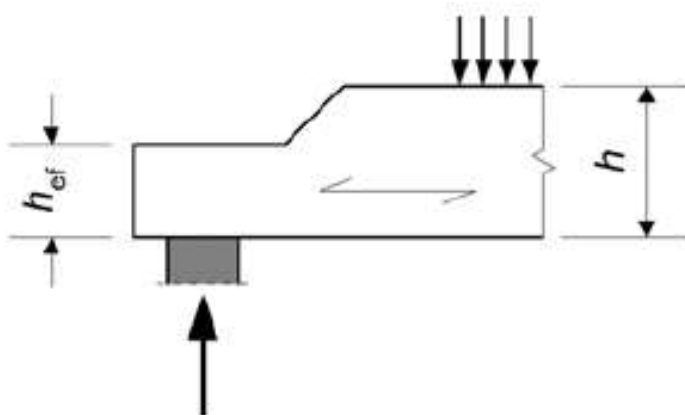
CORTANTE EN PIEZAS A FLEXIÓN

 k_v : factor penalizante de la resistencia a cortante k_v es un factor de reducción definido a continuación:

- En vigas entalladas en el lado opuesto al del apoyo (véase la figura 6.11b)

$$k_v = 1,0$$

(6.61)



E.L.U. Cálculo de secciones sometidas a tensiones tangenciales

4. CORTANTE con entalladuras en los apoyos

TENSION de cálculo (τ_d)RESISTENCIA de cálculo ($k_v \cdot f_{v,d}$)

– En vigas entalladas en el mismo lado del apoyo (véase la figura 6.11a)

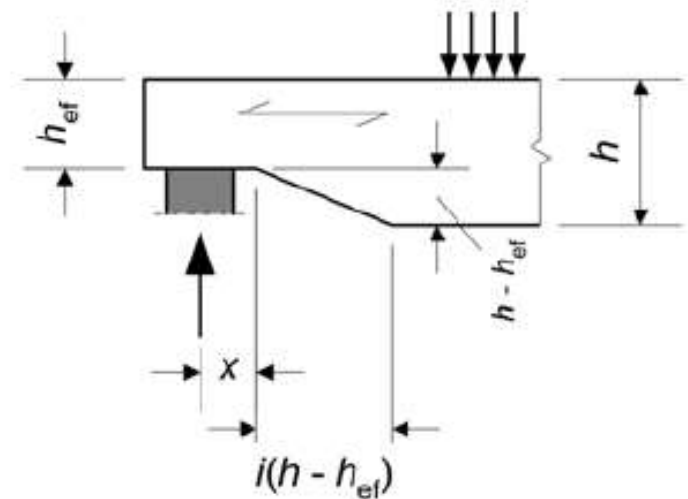
$$k_v = \min \left\{ \begin{array}{l} 1 \\ \frac{k_n \left(1 + \frac{1,1 i^{1,5}}{\sqrt{h}} \right)}{\sqrt{h} \left(\sqrt{\alpha(1-\alpha)} + 0,8 \frac{x}{h} \sqrt{\frac{1}{\alpha} - \alpha^2} \right)} \end{array} \right.$$

donde

i es la inclinación de la entalladura (véase la figura 6.11a);

h es el canto de la viga, en mm;

x es la distancia desde la línea de acción de la reacción en el apoyo al arranque de la entalladura, en mm;



$$\alpha = \frac{h_{ef}}{h}$$

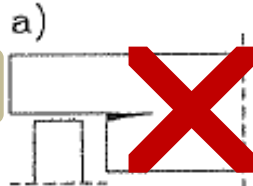
$$k_n = \begin{cases} 4,5 & \text{para madera microlaminada (LVL)} \\ 5 & \text{para madera maciza} \\ 6,5 & \text{para madera laminada encolada} \end{cases} \quad (6.63)$$

E.L.U. Cálculo de secciones sometidas a tensiones tangenciales

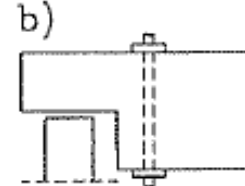
4. CORTANTE con entalladuras en los apoyos

REFUERZOS HABITUALES EN VIGAS CON ENTALLADURAS EN LOS APOYOS

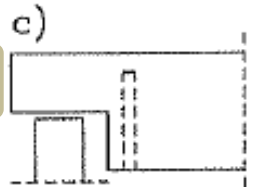
FALLO POR CORTANTE



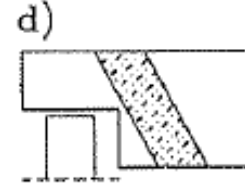
BARRA ROSCADA



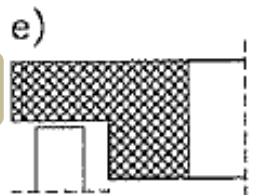
BARRA ENCOLADA



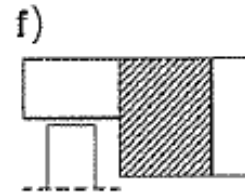
PLACA ACERO CLAVADA



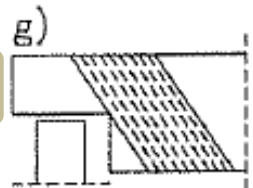
TABLERO CONTRACHAPADO



TABLERO CONTRACHAPADO



FIBRA DE VIDRIO



CORTE INCLINADO

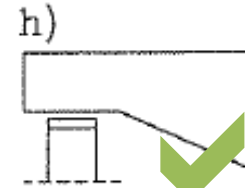
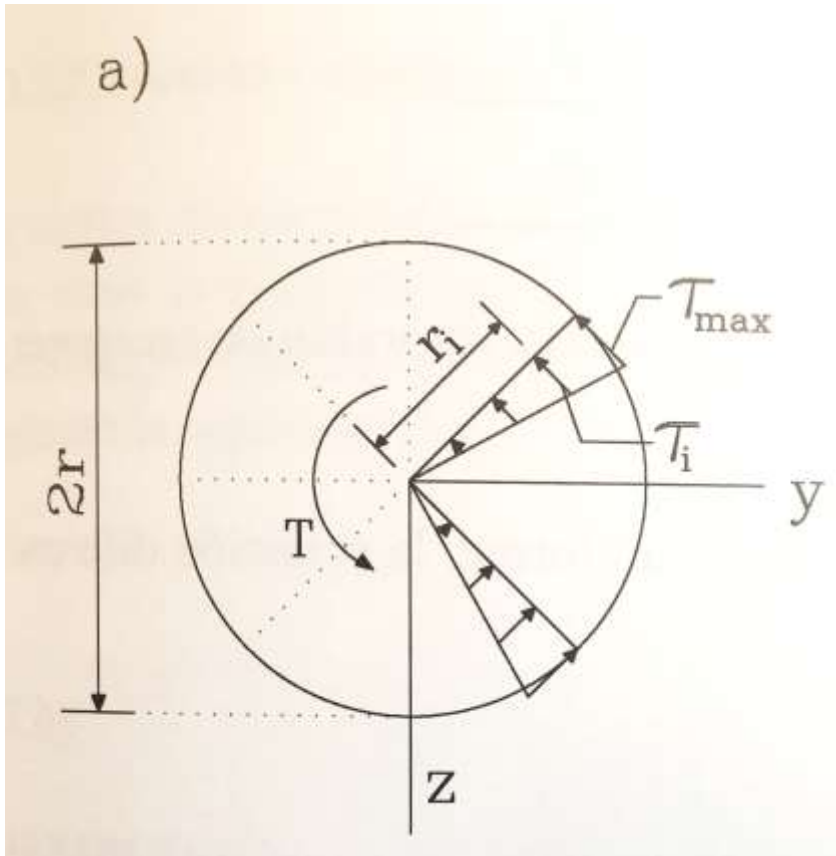


Figura 5.17. Refuerzos en vigas con entalladuras.

E.L.U. Cálculo de secciones sometidas a tensiones tangenciales

5. TORSIÓN

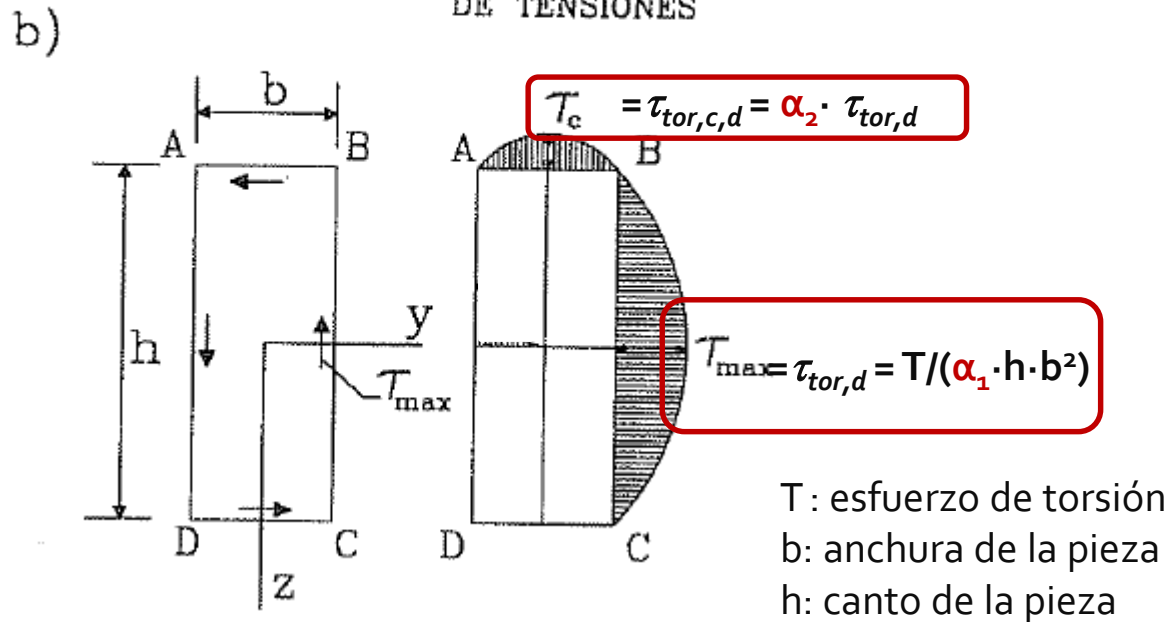
TENSION de cálculo en secciones circulares ($\tau_{tor,d}$)RESISTENCIA de cálculo ($k_{shape} \cdot f_{V,d}$)

En secciones circulares, el momento torsor T origina tensiones tangenciales aplicadas sobre el plano transversal, en la dirección normal al radio y distribuidas linealmente.

$$\tau_{max} = \frac{T}{W_T} = \frac{T}{\left(\frac{\pi \cdot r^4}{2}\right)} \cdot r = \frac{T}{\left(\frac{\pi \cdot r^3}{2}\right)}$$

E.L.U. Cálculo de secciones sometidas a tensiones tangenciales

5. TORSIÓN

TENSION de cálculo ($\tau_{tor,d}$)

h/b	α_1	α_2
1	0,208	1,000
1,5	0,231	0,859
1,75	0,239	0,820
2,0	0,246	0,795
2,5	0,256	0,766
3,0	0,267	0,753
4,0	0,282	0,745
6,0	0,299	0,743
8,0	0,307	0,742
10	0,313	0,742
∞	0,333	0,743

E.L.U. Cálculo de secciones sometidas a tensiones tangenciales

5. TORSIÓN

TENSION de cálculo ($\tau_{tor,d}$)RESISTENCIA de cálculo ($k_{shape} \cdot f_{v,d}$)

6.1.8 Torsión

(1)P Debe cumplirse la condición siguiente:

$$\tau_{tor,d} \leq k_{shape} f_{v,d} \quad (6.14)$$

con

$$k_{shape} = \begin{cases} 1,2 & \text{para una sección circular} \\ \min \left\{ \begin{array}{l} 1 + 0,15 \frac{h}{b} \\ 2,0 \end{array} \right. & \text{para una sección rectangular} \end{cases} \quad (6.15)$$

donde

 $\tau_{tor,d}$ es el valor de cálculo de la tensión de torsión; $f_{v,d}$ es el valor de cálculo de la resistencia a cortante; k_{shape} es un factor que depende de la forma de la sección transversal; h es la dimensión mayor de la sección transversal; b es la dimensión menor de la sección transversal.

1. ELU Tensiones tangenciales
2. ELU Tensiones perpendiculares a la fibra

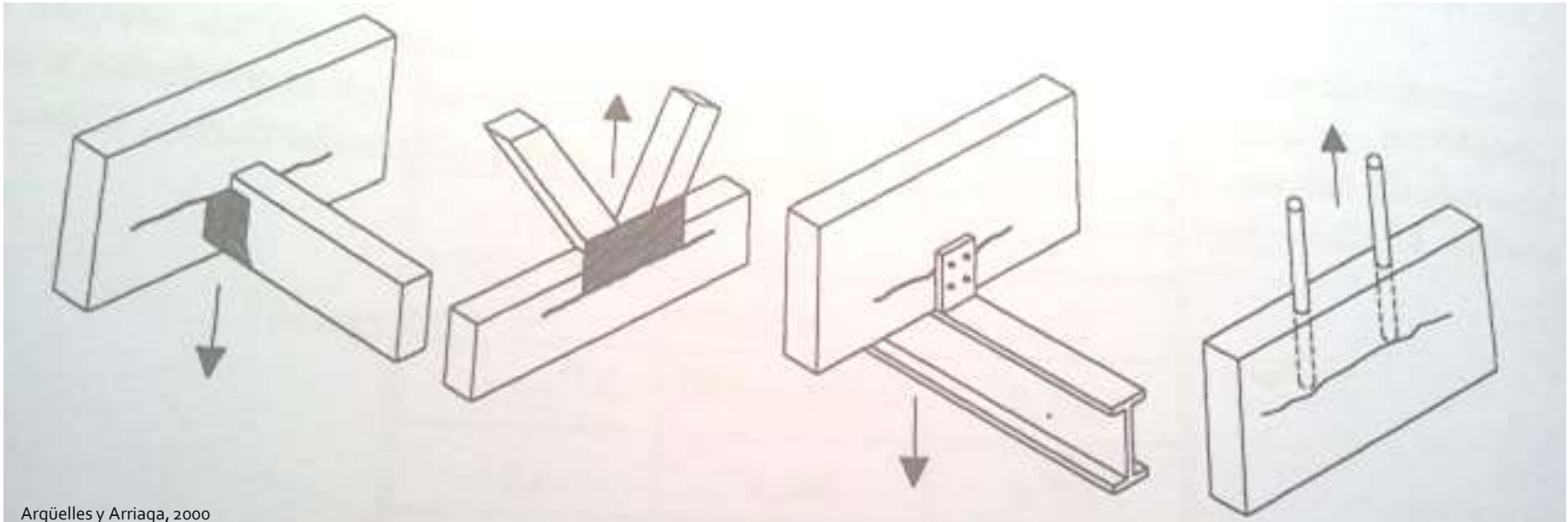
6.4. Cortante, torsión y tracción-compresión perpendicular a la fibra

E.L.U. Cálculo de secciones sometidas a tensiones perpendiculares a la fibra

6. TRACCIÓN PERPENDICULAR A LA FIBRA

MADERA ASERRADA

Poco frecuente y asociado a detalle constructivo mal resuelto



Argüelles y Arriaga, 2000

TENSION de cálculo ($\sigma_{t,90,d}$)RESISTENCIA de cálculo ($f_{t,90,d}$)

$$f_{t,90,d} = k_{\text{mod}} \cdot (f_{t,90,k} / \gamma_M)$$

La madera no tiene buena resistencia a la tracción perpendicular a la fibra por lo que vamos a intentar evitar someterla a este tipo de esfuerzos.

E.L.U. Cálculo de secciones sometidas a tensiones perpendiculares a la fibra

6. TRACCIÓN PERPENDICULAR A LA FIBRA

*COMPROBACIONES SINGULARES EN M.L.E.

MADERA LAMINADA ENCOLADA

En piezas curvas y piezas con cambio de directriz

TENSION de cálculo ($\sigma_{t,90,d}$)RESISTENCIA de cálculo ($k_{dis} \cdot k_{vol} \cdot f_{t,90,d}$)

E.L.U. Cálculo de secciones sometidas a tensiones perpendiculares a la fibra

7. COMPRESIÓN PERPENDICULAR A LA FIBRA

TENSION de cálculo ($\sigma_{c,90,d}$)RESISTENCIA de cálculo ($k_{c,90} \cdot f_{c,90,d}$)

E.L.U. Cálculo de secciones sometidas a tensiones perpendiculares a la fibra

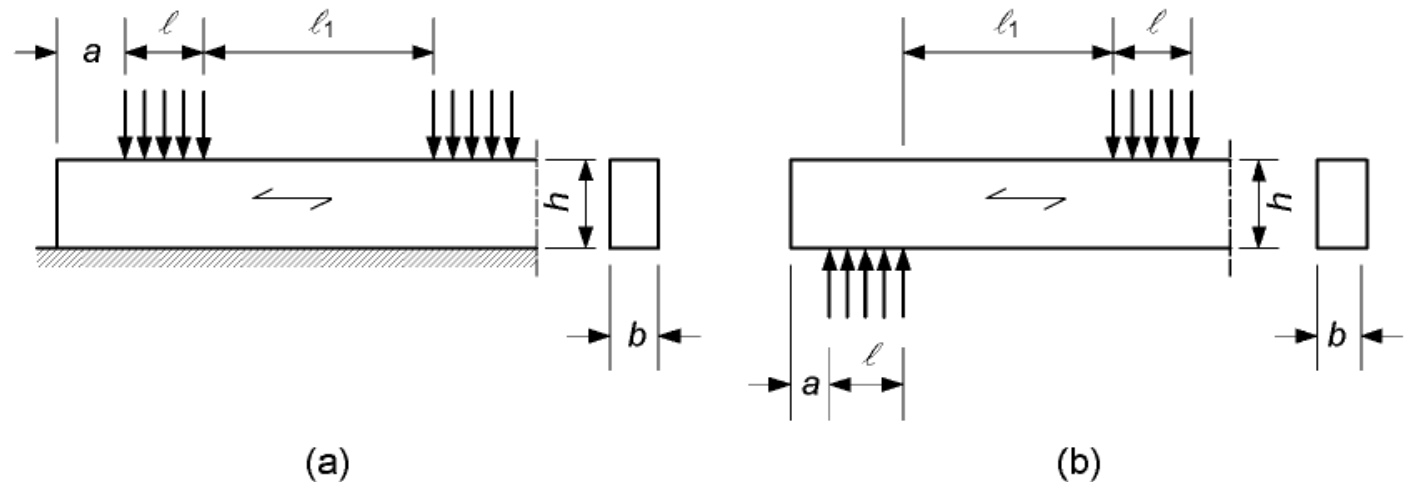
7. COMPRESIÓN PERPENDICULAR A LA FIBRA

TENSION de cálculo ($\sigma_{c,90,d}$)RESISTENCIA de cálculo ($k_{c,90} \cdot f_{c,90,d}$)

$\sigma_{c,90,d}$: valor de cálculo de la tensión de compresión en el área de contacto perpendicular a la fibra

$F_{c,90,d}$: valor de cálculo de la fuerza de compresión perpendicular
 A_{ef} : Área efectiva de contacto en compresión perpendicular

El área de contacto eficaz perpendicular a la fibra, A_{ef} , debería determinarse considerando una longitud de contacto eficaz paralela a la fibra, donde la longitud de contacto real, ℓ , a cada lado se incrementa en 30 mm, pero no más que a , ℓ o $\ell/2$, véase la figura 6.2.



$$\sigma_{c,90,d} = F_{c,90,d} / A_{ef}$$

Figura 6.2 – Pieza (a) sobre apoyo en continuo y (b) sobre apoyos aislados

E.L.U. Cálculo de secciones sometidas a tensiones perpendiculares a la fibra

7. COMPRESIÓN PERPENDICULAR A LA FIBRA

TENSION de cálculo ($\sigma_{c,90,d}$)RESISTENCIA de cálculo ($k_{c,90} \cdot f_{c,90,d}$)

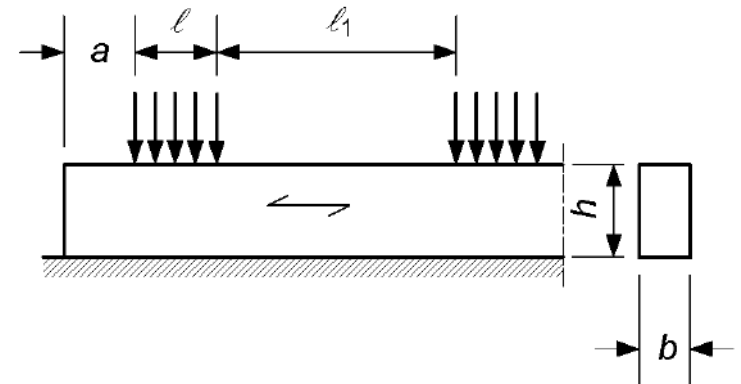
$k_{c,90}$: factor que tiene en cuenta: la configuración de la carga, la posibilidad de fendado y el aplastamiento

(2) El valor de $k_{c,90}$ debería tomarse igual a 1,0 salvo que sean de aplicación las condiciones definidas en los párrafos siguientes. En estos casos, puede tomarse el valor mayor de $k_{c,90}$ que se especifica, con un límite de $k_{c,90} = 1,75$.

(3) En el caso de piezas sobre apoyo continuo, siempre que $\ell_1 \geq 2h$ véase la figura 6.2a, el valor de $k_{c,90}$ debería tomarse como:

- $k_{c,90} = 1,25$ para madera maciza de coníferas;
- $k_{c,90} = 1,5$ para madera laminada encolada de coníferas;

donde h es el canto de la pieza y ℓ es la longitud de contacto.



(a)

E.L.U. Cálculo de secciones sometidas a tensiones perpendiculares a la fibra

7. COMPRESIÓN PERPENDICULAR A LA FIBRA

TENSION de cálculo ($\sigma_{c,90,d}$)

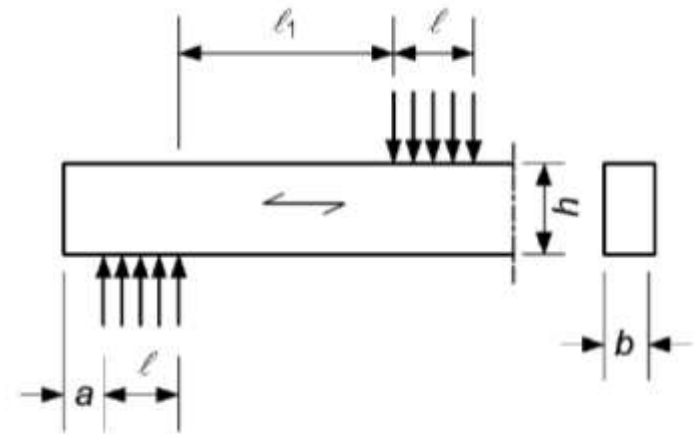
≤

RESISTENCIA de cálculo ($k_{c,90} \cdot f_{c,90,d}$)

(4) En el caso de piezas sobre apoyos aislados, siempre que $\ell_1 \geq 2h$ véase la figura 6.2b, el valor de $k_{c,90}$ debería tomarse como:

- $k_{c,90} = 1,5$ para madera maciza de coníferas;
- $k_{c,90} = 1,75$ para madera laminada encolada de coníferas siempre que $\ell \leq 400$ mm;

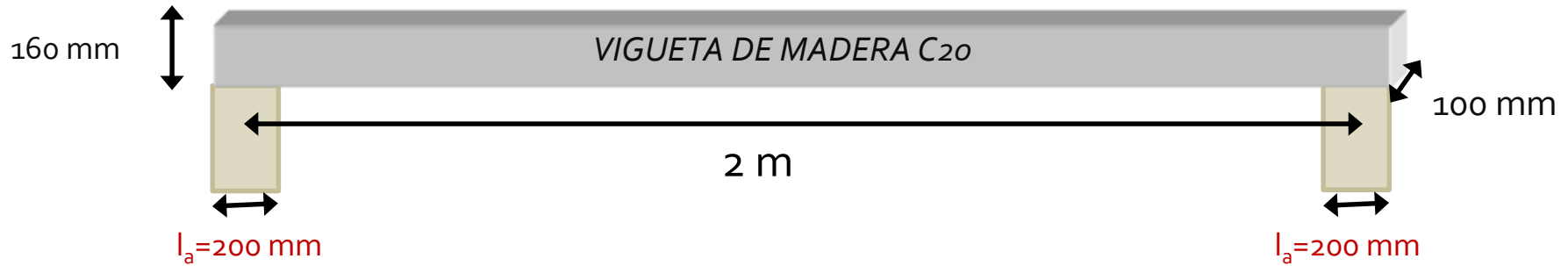
donde h es el canto de la pieza y ℓ es la longitud de contacto.



(b)

E.L.U. Cálculo de secciones sometidas a tensiones perpendiculares a la fibra

7. COMPRESIÓN PERPENDICULAR A LA FIBRA: ejemplo vigueta forjado



Suponiendo apoyo de la vigueta sobre una viga de 200 mm de ancho y 100 mm de profundidad

ESTADOS LÍMITE ÚLTIMOS: VERIFICACIÓN DE RESISTENCIA

3. COMPRESIÓN \perp : Comprobación de aplastamiento en los apoyos: $\sigma_{c,90,d} \leq k_{c,90} \cdot f_{c,90,d}$

Combinación de cargas:	1	2	3	
Esfuerzo cortante ($V_{y,d}$)	0,25	1,75	3,24	kN
Tensión cálculo ($\sigma_{c,90,d}$)	0,01	0,07	0,14	N/mm ²

$$\sigma_{c,90,d} = \text{cortante de calculo (N)} / A_{ef} (\text{mm}^2)$$

$$A_{ef} = (200+30) \cdot 100 = 23.000 \text{ mm}^2$$

E.L.U. Cálculo de secciones sometidas a tensiones perpendiculares a la fibra

7. COMPRESIÓN PERPENDICULAR A LA FIBRA: ejemplo vigueta forjado

RESISTENCIA de cálculo ($k_{c,90} \cdot f_{c,90,d}$)

$$k_{c,90} \cdot f_{c,90,d} = k_{c,90} \cdot k_{\text{mod}} \cdot (f_{c,90,k} / \gamma_M)$$

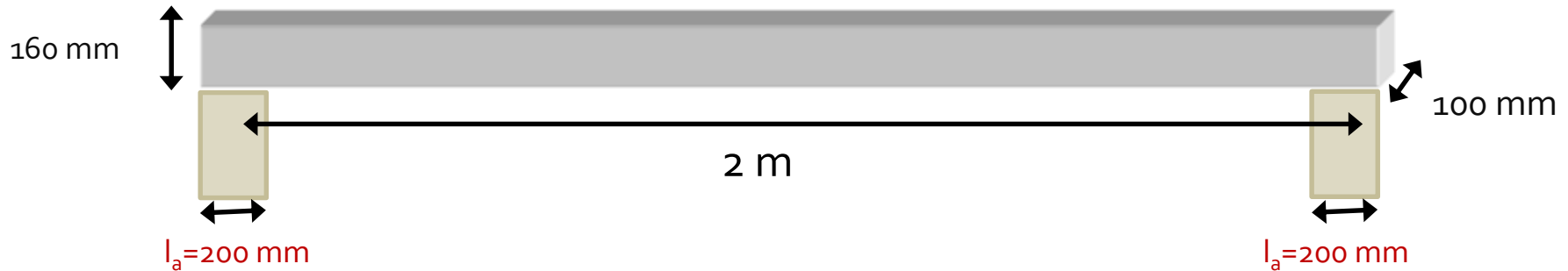
Tabla 1 – Clases resistentes. Valores característicos

		Coníferas y chopo											Fronzosas								
		C14	C16	C18	C20	C22	C24	C27	C30	C35	C40	C45	C50	D18	D24	D30	D35	D40	D50	D60	D70
Propiedades de resistencia (en N/mm ²)																					
Flexión	f_{mk}	14	16	18	20	22	24	27	30	35	40	45	50	18	24	30	35	40	50	60	70
Tracción paralela a la fibra	$f_{t,0k}$	8	10	11	12	13	14	16	18	21	24	27	30	11	14	18	21	24	30	36	42
Tracción perpendicular a la fibra	$f_{t,90k}$	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6
Compresión paralela a la fibra	$f_{c,0k}$	16	17	18	19	20	21	22	23	25	26	27	29	18	21	23	25	26	29	32	34
Compresión perpendicular a la fibra	$f_{c,90k}$	2,0	2,2	2,2	2,3	2,4	2,5	2,6	2,7	2,8	2,9	3,1	3,2	7,5	7,8	8,0	8,1	8,3	9,3	10,5	13,5
Cortante	f_{vk}	3,0	3,2	3,4	3,6	3,8	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	3,4	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,5	5,0
Propiedades de rigidez (en kN/mm ²)																					
Módulo de elasticidad medio paralelo a la fibra	$E_{0,medio}$	7	8	9	9,5	10	11	11,5	12	13	14	15	16	9,5	10	11	12	13	14	17	20
Módulo de elasticidad paralelo a la fibra (5% percentil)	$E_{0,05}$	4,7	5,4	6,0	6,4	6,7	7,4	7,7	8,0	8,7	9,4	10,0	10,7	8	8,5	9,2	10,1	10,9	11,8	14,3	16,8
Módulo de elasticidad medio perpendicular a la fibra	$E_{90,medio}$	0,23	0,27	0,30	0,32	0,33	0,37	0,38	0,40	0,43	0,47	0,50	0,53	0,63	0,67	0,73	0,80	0,86	0,93	1,13	1,33
Módulo medio de cortante	G_{medio}	0,44	0,5	0,56	0,59	0,63	0,69	0,72	0,75	0,81	0,88	0,94	1,00	0,59	0,62	0,69	0,75	0,81	0,88	1,06	1,25
Densidad (en kg/m ³)																					
Densidad	ρ_k	290	310	320	330	340	350	370	380	400	420	440	460	475	485	530	540	550	620	700	900
Densidad media	ρ_{medio}	350	370	380	390	410	420	450	460	480	500	520	550	570	580	640	650	660	750	840	1080

EN 338:2009

E.L.U. Cálculo de secciones sometidas a tensiones perpendiculares a la fibra

7. COMPRESIÓN PERPENDICULAR A LA FIBRA: ejemplo vigueta forjado

RESISTENCIA de cálculo ($k_{c,90} \cdot f_{c,90,d}$)

$$k_{c,90} \cdot f_{c,90,d} = k_{c,90} \cdot k_{mod} \cdot (f_{c,90,k} / \gamma_M)$$

ESTADOS LÍMITE ÚLTIMOS: VERIFICACIÓN DE RESISTENCIA

3. COMPRESIÓN \perp :	Comprobación de aplastamiento en los apoyos: $\sigma_{c,90,d} \leq k_{c,90} \cdot f_{c,90,d}$			
Combinación de cargas:	1	2	3	
Tensión cálculo ($\sigma_{c,90,d}$)	0,01	0,07	0,14	N/mm ²
Resistencia cálculo ($k_{c,90} \cdot f_{c,90,d}$)	1,59	2,12	2,39	N/mm ²

$$k_{c,90} = 1,50 \text{ (madera aserrada)}$$

$$\gamma_M = 1,30 \text{ (madera aserrada)}$$

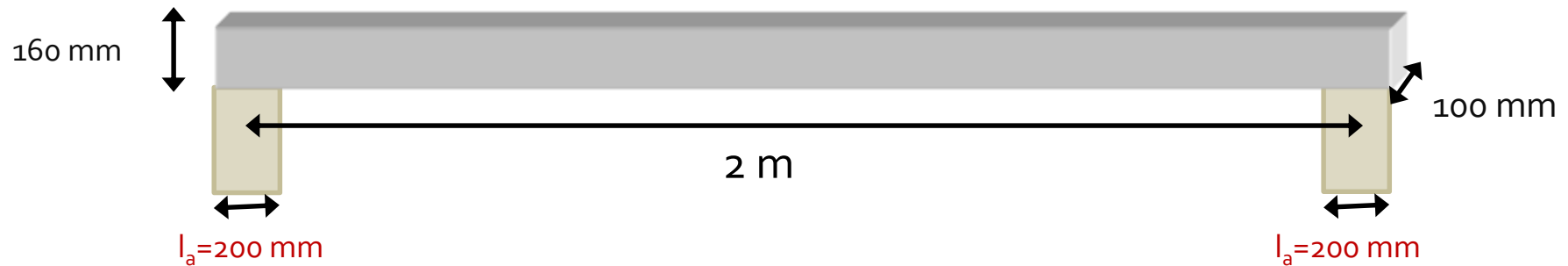
$$K_{mod} = 0,60 \longrightarrow Cb.1: 1,35 CP$$

$$K_{mod} = 0,80 \longrightarrow Cb.2: 1,35 CP + 1,50 U$$

$$K_{mod} = 0,90 \longrightarrow Cb.3: 1,35 CP + 1,50 P$$

E.L.U. Cálculo de secciones sometidas a tensiones perpendiculares a la fibra

7. COMPRESIÓN PERPENDICULAR A LA FIBRA: ejemplo vigueta forjado

TENSION de cálculo ($\sigma_{c,90,d}$)RESISTENCIA de cálculo ($k_{c,90} \cdot f_{c,90,d}$)

ESTADOS LÍMITE ÚLTIMOS: VERIFICACIÓN DE RESISTENCIA

3. COMPRESIÓN \perp : Comprobación de aplastamiento en los apoyos: $\sigma_{c,90,d} \leq k_{c,90} \cdot f_{c,90,d}$

Combinación de cargas:	1	2	3	
Tensión cálculo ($\sigma_{c,90,d}$)	0,01	0,07	0,14	N/mm ²
Resistencia cálculo ($k_{c,90} \cdot f_{c,90,d}$)	1,59	2,12	2,39	N/mm ²
Comprobación	0,60	3,17	5,86	%

Se cumple la verificación de resistencia a compresión perpendicular a la fibra en los apoyos



**Gracias por la
atención**