

**Jornada sobre el CTE**

**SE-M: SEGURIDAD ESTRUCTURAL  
MADERA**

**José Manuel Pérez Luzardo**

# SE-M: MADERA

## Con el CTE: Una vivienda de madera es por fin una Vivienda

- Se le exigirá lo mismo que a otra vivienda (Seguridad, Habitabilidad, Accesibilidad y condiciones Urbanísticas)  
> Podrá acudir al mercado Hipotecario.
- Sitúa a la madera en posición análoga a la de otros materiales estructurales a nivel reglamentario > Las aseguradoras cuentan ya con un mercado y producto regulado.

**Aunque el nuevo CTE conlleva un coste superior, demanda una mayor eficiencia energética. La madera parte con ventaja debido a sus elevadas prestaciones de aislamiento y durabilidad natural.**

# SE-M: MADERA

- ANTES: No existía normativa básica
- **El SE-M: Se basa en la norma europea EN 1995 (Eurocódigo 5)**
- **Ámbito de aplicación:**
  - Madera maciza (aserrada y de rollizo), laminada encolada, microlaminada, tablero estructural.
    - Clasificación por tipo y clase resistente:  
(C18, C24, GL24h, GL36c, ...).  
(Según Apartado 4 y los Anejos D y E)

**Cada Proyecto debe establecer qué madera se está empleando y sus características.**

# SE-M: MADERA – comportamiento estructural: BASES DE CÁLCULO

- **Elevada sensibilidad a la duración de las cargas – Permanente (más de 10 años), Larga (de seis meses a 10 años), Media (de una semana a seis meses), Corta (menos de una semana) Instantánea (algunos segundos) como a las condiciones ambientales.**
- **Coeficientes de seguridad según tipo: Madera maciza, Tableros de partículas y de fibras y uniones -1,30- ; Laminada-encolada -1,25-; y madera microlaminada y tableros contrachapados y virutas -1,20-**

# **SE-M: MADERA – comportamiento estructural: BASES DE CÁLCULO**

- Factor de corrección de la resistencia según la sección y el tamaño de la estructura (según tipo de madera –maciza, laminada, o microlaminada).**

**Clase de Servicio según temperatura y Humedad ambiente (de 1 a 3) –ANEJO F–  
Para LPGran Canaria>Clase 2 (igual que una piscina cubierta)**

**Para SCTenerife>Clase 1**

# SE-M: MADERA - DURABILIDAD

Medidas de protección preventiva para garantizar la durabilidad frente a ataques bióticos y abióticos durante el periodo de servicio y en condiciones de uso adecuado.

- **Agentes Bióticos:**

- **Hongos xilófagos –Reino Vegetal: Mohos, Hongos cromógenos (azulado y Pasma del Haya), Hongos de pudrición (Parda o cúbica, blanca o fibrosa y blanda)**
- **Insectos xilófagos –Reino animal: Coleópteros (de ciclo larvario: carcoma, polilla, gorgojo), Isópteros (sociales: termitas), Avispas de la madera y xilófagos marinos (moluscos y crustáceos).**

# SE-M: MADERA - DURABILIDAD

- **Agentes Abióticos:**

- **Meteorológicos:**

- **Agua: Hinchazón y merma (fendas o hendiduras)**
- **Radiación del sol: UVA (degrada la lignina > pérdida de cohesión); IFR (caliente superficie > aparición de resinas y fendas).**

- **Físicos y mecánicos:**

- **Sección Insuficiente (por agotamiento o deformación).**
- **Roturas locales – Uniones.**
- **Fendas de secado – Alabeos – Roces y desgastes.**

- **Fuego.**

# SE-M: MADERA - DURABILIDAD

## • Clases de Riesgo:

		C	R	Situación	Permanencia en exposición	Hongos	Coleópteros	Termitas	Xilófagos marinos
Sin contacto con el suelo	1			Bajo cubierta (ambiente seco)	Ninguna				
	2			Bajo cubierta (riesgo de humedad)	Ocasional				
	3			Situación expuesta	Frecuente				
	4			En contacto con el suelo o agua dulce	Permanente				
	5			En agua salada					

# SE-M: MADERA - DURABILIDAD

## • Tipos de Protección:

	C R	Situación	Tipo de protección	UNE	Riesgo especial*
Sin contacto con el suelo	1	Bajo cubierta (ambiente seco)	Ninguna / Superficial	No - P <sub>2</sub>	Media
	2	Bajo cubierta (riesgo de humedad)	Superficial	P <sub>2</sub>	
	3	Situación expuesta	Media	P <sub>3</sub> - P <sub>7</sub>	Profunda
4	En contacto con el suelo o agua dulce	Profunda	P <sub>8</sub> - P <sub>9</sub>		
5	En agua salada				

\* Obras de intervención en edificios en los que se hayan detectado ataques previos (p.e. rehabilitación).

# SE-M: MADERA - DURABILIDAD

- **Tipos de Protección:**

**El texto recomienda la utilización de lasures a poro abierto en el exterior (como las veladuras de color rojo del Auditorio de GC) , que permitan el flujo de humedad entre el ambiente y la madera.**





# SE-M: MADERA - DURABILIDAD

- **Recomendaciones Constructivas:**
  - **Colocación de láminas impermeables entre hormigón de base y los arranques de soportes de madera.**
  - **Ventilación de encuentros de vigas en muros, manteniendo una separación mínima de 15 mm. entre la superficie de madera y el material del muro.**
  - **Apoyo de la madera en las bases del muro con material separador > evitar transmisiones de humedad.**
  - **Evitar uniones en las que el agua se acumule.**
  - **Protección de la cara superior de los elementos de madera expuestos directamente a la intemperie.**

# SE-M: MADERA - MATERIALES

- **TIPOS: Maciza (aserrada y rollizo) – Laminada, – Microlaminada y Tablero estructural.**
- **Tipos de adhesivos para uso estructural: (Fenólicas, resorcinas, melaminas, urea-formaldehido, epóxicas, poliuretano y la caseína (cola de carpintero)).**
- **Uniones: Carpinteras o tradicionales y las que utilizan elementos mecánicos de fijación de acero.**

# SE-M: UNE 56544 – Criterios de calidad

UNE 56.544 CRITERIOS DE CALIDAD	ME-1	ME-2
DIÁMETRO DE LOS NUDOS SOBRE LA CARA <sup>1,2</sup>	$d \leq 1/5$ de "h"	$d \leq 1/2$ de "h"
DIÁMETRO DE LOS NUDOS SOBRE EL CANTO	$d < 1/2$ de "b" y $d < 30$ mm	$d < 2/3$ de "b"
FENDAS		
De contracción <sup>3</sup>	$\leq 2/5$ de "b"	$\leq 3/5$ de "b"
De heladura / acebolladura / rayo	No admitidas	
BOLSAS DE RESINA Y ENTRECASCO <sup>4</sup>	Se admiten si su longitud es menor que 80 mm	
MADERA DE COMPRESIÓN	Admitida en $1/5$ de la sección o de la superficie externa de la pieza	Admitida en $2/5$ de la sección o de la superficie externa de la pieza
DESVIACIÓN DE LA FIBRA	1:10	1:6
GEMAS		
Longitud	$\leq 1/4$ de L	$\leq 1/3$ de L
Anchura y espesor	$G \leq 1/4$	$G \leq 1/3$
ALTERACIONES BIOLÓGICAS		
Muérdago (V. Album)	No se admite	
Azulado	Se admite	
Pudrición	No se admite	
Galerías de insectos xilófagos	No se admite	
DIMENSIONES Y TOLERANCIAS	Según UNE-EN 336	
DEFORMACIONES MÁXIMAS <sup>5</sup>		
Curvatura de cara	10 mm / 2 m	20 mm / 2 m
Curvatura de canto	8 mm / 2 m	12 mm / 2 m
Alabeo	1 mm / 25 mm de "h"	2 mm / 25 mm de "h"
Atejado o abarquillado	$1/25$ de "h"	$1/25$ de "h"
LA MADERA DEBERÁ IR MARCADA CON LA DENOMINACIÓN "DRY GRADED"		

# SE-M: MADERA

- **Concepto de “DIAFRAGMA”:**  
(En Forjados y cubiertas para las estructuras de entramado ligero)
- **Son tableros estructurales unidos a un entramado de madera mediante elementos mecánicos de fijación: Clavos, grapas, tirafondos o pernos.**
- **Se realiza una serie de condiciones constructivas para realizar un análisis simplificado> Fijación de tableros al entramado de madera> Clavo c/ 150 mm. –sujeto a madera no a otro panel – Si son Tirafondos c/ 200 mm.**

# SE-M: MADERA

- **Recomendaciones**

**Constructivas –Estructurales:**

- **En Muros y Forjados> Separaciones máximas entre ejes de montantes, muros de entramados y viguetas de forjados: 62,5 cm.**
- **Concepto de “PANEL”> Elemento que se cierra con un tablero en uno o varios módulos que trabajan conjuntamente> Condiciones de limitación de anchos y altos> Apartado 10.4.**

# SE-M: MADERA

- **Control de suministro y recepción:**
  - **Todo material ha de estar identificado con detalle acerca del suministrador > (nombre y dirección de empresa proveedora, dirección de fábrica y aserradero, fecha y cantidad suministrada y certificado de origen).**
  - **Respecto a la madera aserrada> (Especie botánica, clase resistente, contenido de humedad y dimensiones –tolerancias–).**
  - **En Obra>Criterios de no aceptación del producto: Incumplmto. de lo especificado**

# SE-M: cálculo E.L. Últimos

## clases resistentes –UNE-EN 338-ANEJO E –

		Especies coníferas y chopo									Especies frondosas						
		C14	C16	C18	C22	C24	C27	C30	C35	C40	D30	D35	D40	D50	D60	D70	
Propiedades resistentes (N/mm <sup>2</sup> )																	
Flexión	$f_{m,k}$	14	16	18	22	24	27	30	35	40		30	35	40	50	60	70
Tracción paralela	$f_{t,0,k}$	8	10	11	13	14	16	18	21	24		18	21	24	30	36	42
Tracción perpendicular	$f_{t,90,k}$	0,4	0,5	0,5	0,5	0,5	0,6	0,6	0,6	0,6		0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6
Compresión paralela	$f_{c,0,k}$	16	17	18	20	21	22	23	25	26		23	25	26	29	32	34
Compresión perpendicular	$f_{c,90,k}$	2,0	2,2	2,2	2,4	2,5	2,6	2,7	2,8	2,9		8,0	8,4	8,8	9,7	10,5	13,5
Cortante	$f_{v,k}$	1,7	1,8	2,0	2,4	2,5	2,8	3,0	3,4	3,8		3,0	3,4	3,8	4,6	5,3	6,0
Propiedades de rigidez (KN/mm <sup>2</sup> )																	
Mod. Elast. paralelo medio	$E_{0,medio}$	7	8	9	10	11	11,5	12	13	14		10	10	11	14	17	20
Mod. Elast. paralelo caract.	$E_{0,k}$	4,7	5,4	6,0	6,7	7,4	7,7	8,0	8,7	9,4		8,0	8,7	9,4	11,8	14,3	16,8
Mod. Elast. Perpend. medio	$E_{90,medio}$	0,23	0,27	0,30	0,33	0,37	0,38	0,40	0,43	0,47		0,64	0,69	0,75	0,93	1,13	1,33
Mod. cortante medio	G	0,44	0,50	0,56	0,63	0,69	0,72	0,75	0,81	0,88		0,60	0,65	0,70	0,88	1,06	1,25
Densidad																	
Densidad característica	$\rho_k$	290	310	320	340	350	370	380	400	420		530	560	590	650	700	900
Densidad media	$\rho_{media}$	350	370	380	410	420	450	460	480	500		640	670	700	780	840	1080

# SE-M: Valores de cálculo

Los valores de cálculo se obtienen a partir de los característicos mediante la siguiente fórmula:

$$X_d = k_{mod} \frac{X_k}{\gamma_M}$$

Donde  $\gamma_M$  tiene los siguientes valores:

Estados límites últimos	$\gamma_M$
- Combinaciones fundamentales	1,30 MA 1,25 ML
- Combinaciones accidentales	1,0
Estados límites de servicio	1,0

Y  $k_{mod}$  se obtiene de la siguiente tabla:

Clase de duración de la carga	Clase de servicio		
	1	2	3
<b>Permanente</b> Peso propio, tabiquería	0,60		0,50
<b>Larga duración</b> Apeos, andamios	0,70		0,55
<b>Media duración</b> Sobrecarga de uso*	0,80		0,65
<b>Corta duración</b> Nieve**, viento	0,90		0,70
<b>Instantánea</b> Sismo	1,10		0,90

• **Cuando en combinación concurren varias cargas de distinta duración**

**$K_{mod}$ : la de duración más corta**

• **Para carga compartida (forjados y pares de cerchas)**

**La resistencia de cálculo aumenta 10% ( $k_{cc}=1,1$ )**

• **Efecto del tamaño de la pieza (cantos pequeños > más resistencia) mediante  $k_h$ :**

MADERA ASERRADA		MADERA LAMINADA	
$h \geq 150$ mm	$k_h = 1$	$h \geq 600$ mm	$k_h = 1$
$h < 150$ mm	$k_h = \left(\frac{150}{h}\right)^{0,2} \geq 1,3$	$h < 600$ mm	$k_h = \left(\frac{600}{h}\right)^{0,2} \geq 1,1$

# SE-M: Acciones

• Valor de cálculo de una acción:  $F_d = \gamma_f \cdot F_k$ , donde:

	$\gamma_F$
Acciones permanentes	1,35
Acciones variables	1,50

Con la siguiente simplificación para las combinaciones fundamentales:

	Permanente	Uso	Nieve	Viento
CC + 1AV	1,35 (1,00)	1,50 (0)	0	0
		0	1,50 (0)	0
		0	0	1,50 (0)
CC + 2AV		1,35 (0)		

**Debe comprobarse si combinaciones con cargas menores pero de duración mas larga es mas desfavorable**

# SE-M: Comprobar SECCIONES

## •TENSIONES PARALELAS A LA FIBRA:

$$l_0 = \frac{N_d}{A_n \cdot f_{0,d}} \leq 1$$

El área neta se obtiene descontando de la bruta, los taladros, muescas y rebajes, excepto clavos  $< \Phi 6\text{mm}$ . (introducidos sin taladro)

Ejemplo 1

Soporte de 300 x 300 mm

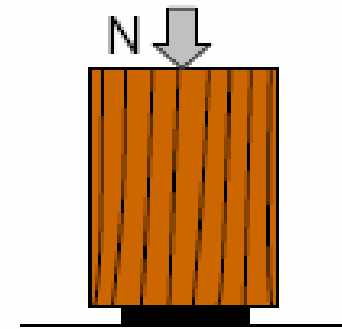
Apoyo sobre placa metálica de 200 x 200 mm

Carga permanente (i.p.p.)= 125 kN

Sobrecarga de uso (duración media)= 150 kN

Clase resistente: C24

Clase de servicio: 3



Combinación fundamental:

$$N_d = 1,35 \cdot 125 + 1,5 \cdot 150 = 393,75 \text{ kN}$$

$$f_{0,d} = k_{\text{mod}} \frac{X_k}{\gamma_M} = 0,65 \frac{21}{1,3} = 10,5 \text{ kN/mm}^2$$

$$l_0 = \frac{393,75 \cdot 10^3}{200 \cdot 200 \cdot 10,5} = 0,94 < 1 \text{ VALE}$$

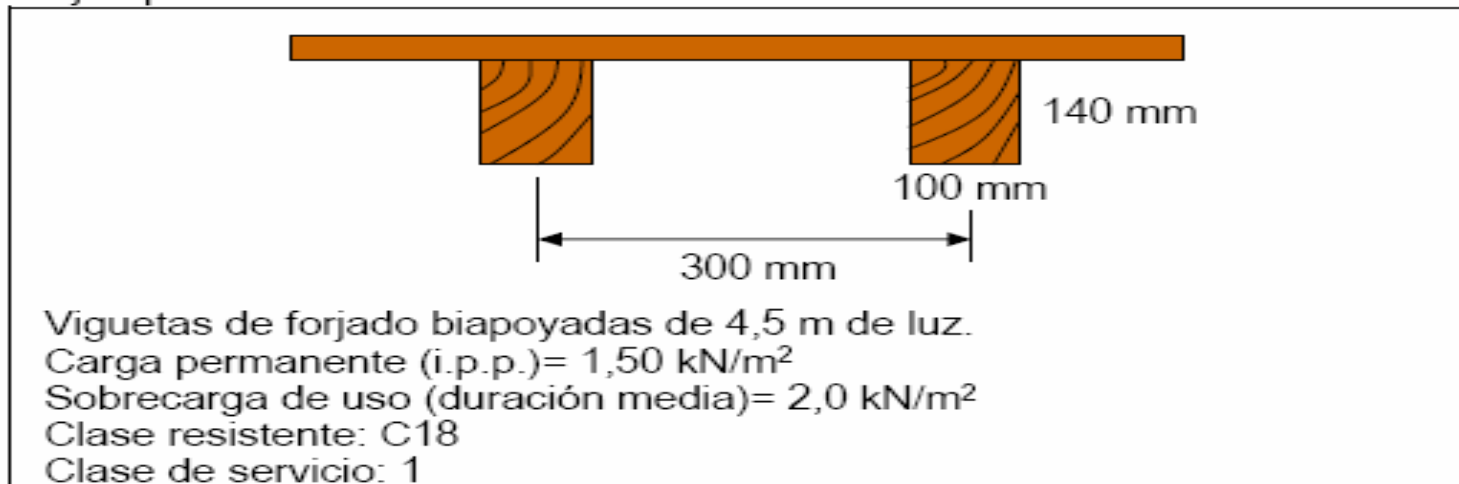
Comprobación con sólo carga permanente:  $l_0 = 0,52 < 1$

# SE-M: SECCIONES: Flexión simple

**ADEMÁS:** Debe comprobarse la inestabilidad al vuelco lateral. Existen comprobaciones para flex.esviada, flexotracción y flexocompresión.

$$I_m = \frac{M_d}{W \cdot f_{m,d}} \leq 1$$

Ejemplo 2



Carga permanente:  $1,5 \times 0,3 = 0,45$  kN/ml

Sobrecarga de uso:  $2,0 \times 0,3 = 0,60$  kN/ml

$$M_d = 1,35 \frac{0,45 \cdot 4,5^2}{8} + 1,5 \frac{0,60 \cdot 4,5^2}{8} = 3,82 \text{ m.kN}$$

$$W = \frac{b \cdot h^2}{6} = \frac{10 \cdot 14^2}{6} = 326,67 \text{ cm}^3$$

$$f_{m,d} = k_{mod} \frac{f_{m,k}}{\gamma_M} \cdot k_h \cdot k_{cc} = 0,8 \frac{18}{1,3} \left( \frac{150}{140} \right)^{0,2} 1,1 = 12,35 \text{ N/mm}^2$$

$$I_m = \frac{3,82 \cdot 10^3}{326,67 \cdot 12,35} = 0,95 < 1 \quad \text{VALE}$$

# SE-M: SECCIONES: Cortante

El fallo por cortante se produce por deslizamiento de las fibras centrales de zonas próximas a los apoyos > plano de rotura horizontal

$$I_v = \frac{1,5 \cdot Q_d}{b \cdot h \cdot f_{v,d}} \leq 1$$

## Ejemplo 3

Caso del forjado propuesto en el ejemplo 2

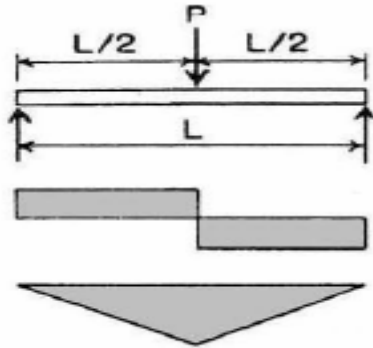
$$Q_d = 1,35 \frac{0,45 \cdot 4,5}{2} + 1,5 \frac{0,60 \cdot 4,5}{2} = 3,39 \text{ kN}$$

$$f_{v,d} = k_{\text{mod}} \frac{f_{v,k}}{\gamma_M} \cdot k_{cc} = 0,8 \frac{2}{1,3} \cdot 1,1 = 1,35 \text{ N/mm}^2$$

$$I_v = \frac{1,5 \cdot 3,39 \cdot 10^3}{100 \cdot 140 \cdot 1,35} = 0,27 < 1 \quad \text{VALE}$$

# SE-M: E.L.SERVICIO: Deformaciones

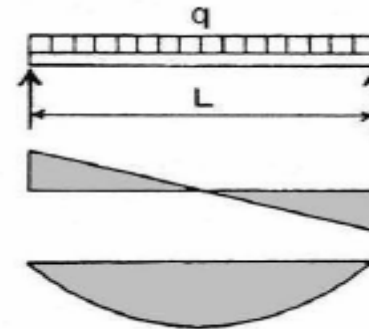
DEFORMACIÓN INSTANTÁNEA( $\delta_j$ ): Fórm. Habituales t. estrctrs.



$$\Delta = \frac{PL^3}{48EI}$$

$$V = \frac{P}{2}$$

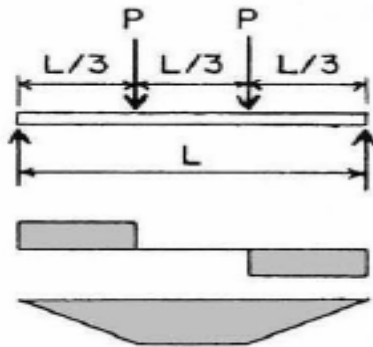
$$M = \frac{PL}{4}$$



$$\Delta = \frac{5qL^4}{384EI}$$

$$V = \frac{qL}{2}$$

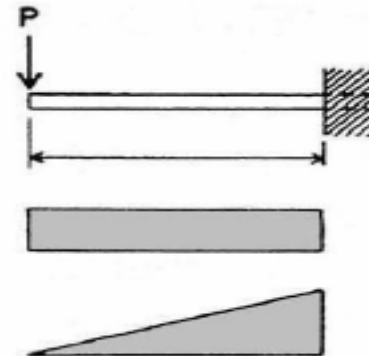
$$M = \frac{qL^2}{8}$$



$$\Delta = \frac{23PL^3}{648EI}$$

$$V = P$$

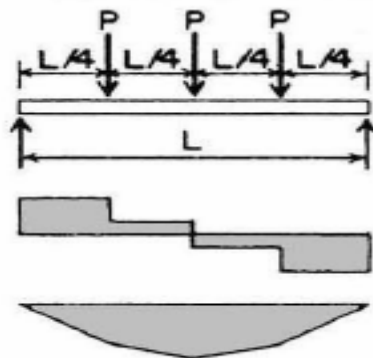
$$M = \frac{PL}{3}$$



$$\Delta = \frac{PL^3}{3EI}$$

$$V = P$$

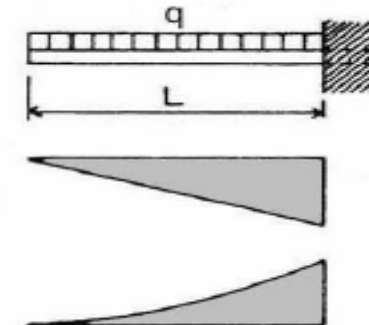
$$M = PL$$



$$\Delta = \frac{19PL^3}{384EI}$$

$$V = \frac{3P}{2}$$

$$M = \frac{PL}{2}$$



$$\Delta = \frac{qL^4}{8EI}$$

$$V = qL$$

$$M = \frac{qL^2}{2}$$

# SE-M: Deformación Diferida.

- El comportamiento reológico de la madera exige tener en cuenta la deformación bajo cargas de larga duración>Factor de fluencia  $k_{def}$

$$\bar{\sigma}_t = \bar{\sigma}_i (1 + k_{def})$$

El factor de fluencia  $k_{def}$  tiene la siguiente expresión:

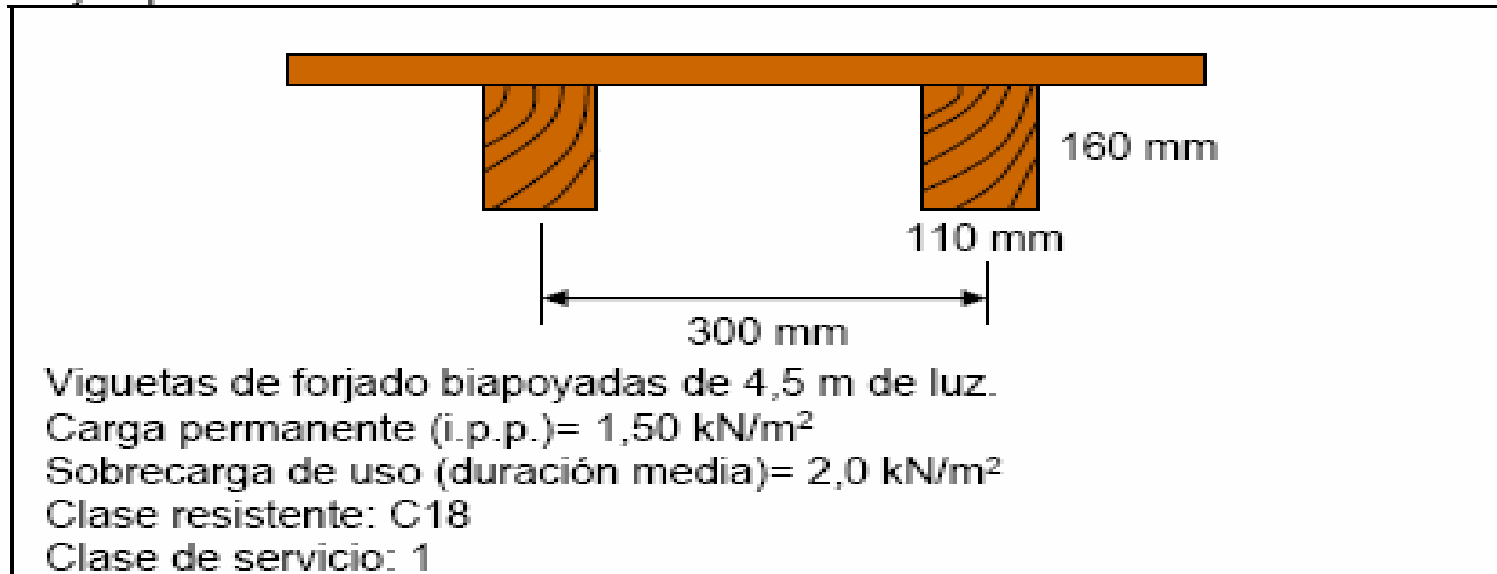
Clase de duración de la carga	Clase de servicio		
	CS1	CS2	CS3
Permanente	0,60	0,80	2,00
	$k_{def}$		

Los medios de unión utilizados permiten incrementos en los valores finales> CTE establece un módulo de deslizamiento instantáneo  $K_{ser}$  que tiene en cuenta dicho factor

# SE-M: Limitación de las Deformaciones

Válidos los valores generales de SE, según integridad (L/300/400/500, confort (L/350, o aspecto visual y funcionamiento (L/300) (cualquier combinación cuasipermanente > cubiertas).

Ejemplo 4



Carga permanente: 1,5 x 0,3 = 0,45 kN/ml

Sobrecarga de uso: 2,0 x 0,3 = 0,60 kN/ml

$$u = \frac{5 \cdot q \cdot L^4}{384 \cdot E \cdot I} = \frac{5 \cdot q \cdot 450^4 \cdot 12}{384 \cdot 90.000 \cdot 11 \cdot 16^3} = 1,580 q$$

B.1. Integridad: f. inst.+fluen. = 1,37 cm → L/327 < L/300

B.2. Confort: variable instantánea  $\delta_i = 0,95$  cm → L/475 < L/350

B.3. Apariencia: comb. cuasi permnt. = 1,59 cm → **L/283 > L/300**

La tercera condición no cumple la limitación admisible, por lo que la sección **NO VALE**

# SE-M: Inestabilidad – Pandeo.

•Pandeo>FLEXIÓN LATERAL originada por una compresión.

Se utiliza la resistencia del material penalizada por factor  $K_c$ .

$$K_c = \frac{1}{k + \sqrt{k^2 - \lambda_{rel}^2}}$$

Donde  $K$  vale:

$$k = 0,5 \left[ 1 + \beta_c (\lambda_{rel} - 0,5) + \lambda_{rel}^2 \right]$$

$\beta_c =$

0,2 madera aserrada excentricidad $\leq L/300$
0,1 madera laminada excentricidad $\leq L/500$

$K$  es función de la esbeltez relativa  $\lambda_{rel}$ , definida como:

$$\lambda_{rel} = \frac{\lambda}{\pi} \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0,k}}}$$

$\lambda$  (esbeltez mecánica) =  $L/i$

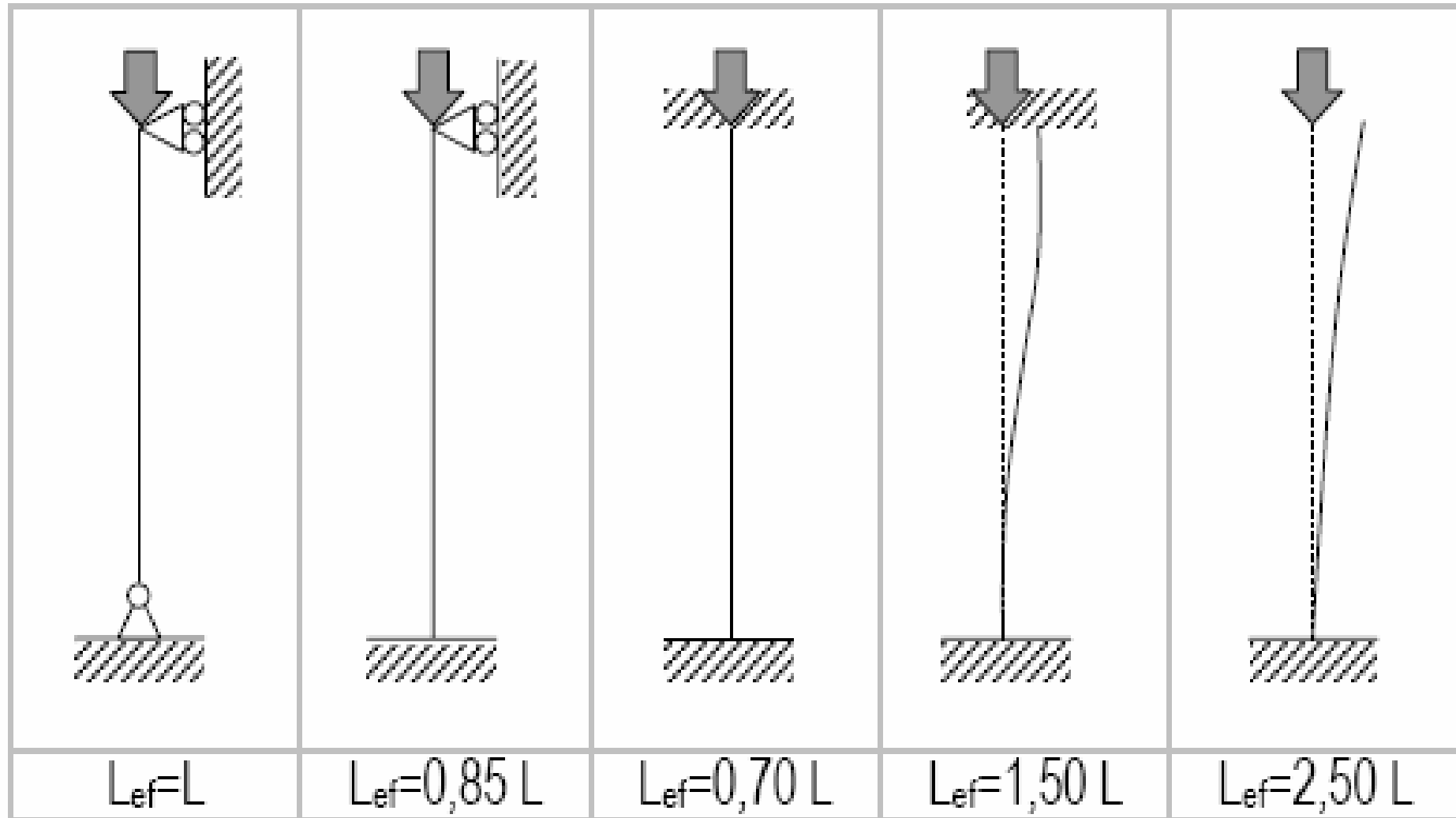
$i$  = radio de giro mínimo.

$L$  = Longitud eficaz de pandeo

$E_{0,k}$  = Módulo de elasticidad

# SE-M: Inestabilidad – Pandeo.

## LONGITUD EFICAZ DE PANDEO.



# SE-M: Pandeo –Comprobación.

•Ha de hacerse para los dos planos principales de inercia según la expresión:

Donde  $k_m$  es 0,7 para secciones rectangulares y 1 en otras.

Si el viento actúa solo en el plano z, queda:

$$\frac{I_{c,0}}{K_{c,z}} + I_{m,z} + k_m \cdot I_{m,y} \leq 1$$

$$\frac{I_{c,0}}{K_{c,y}} + k_m \cdot I_{m,z} + I_{m,y} \leq 1$$

$$\frac{I_{c,0}}{K_{c,z}} + k_m \cdot I_{m,y} \leq 1$$

$$\frac{I_{c,0}}{K_{c,y}} + I_{m,y} \leq 1$$

Y en el caso de compresión simple:

$$\frac{I_{c,0}}{K_{c,z}} \leq 1$$

$$\frac{I_{c,0}}{K_{c,y}} \leq 1$$

$K_{c,z}$  (EC5) =  $\chi_{c,z}$  (SE-M)

Es el factor de pandeo que ahora es menor que la unidad. En teoría clásica era  $> 1$  y multiplicador.

# SE-M: Inestabilidad – Pandeo.

VALOR DE FACTOR DE PANDEO  $\chi_{c,y}$  ó  $\chi_{c,z}$

Clase Resistente	Esbeltez mecánica de la pieza																		
	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160	170	180	190	200
<b>C14</b>	0,98	0,93	0,86	0,74	0,60	0,48	0,39	0,31	0,26	0,22	0,18	0,16	0,14	0,12	0,11	0,09	0,08	0,08	0,07
<b>C16</b>	0,99	0,94	0,87	0,77	0,64	0,51	0,41	0,34	0,28	0,23	0,20	0,17	0,15	0,13	0,11	0,10	0,09	0,08	0,07
<b>C18</b>	0,99	0,94	0,88	0,78	0,65	0,53	0,43	0,35	0,29	0,24	0,21	0,18	0,15	0,14	0,12	0,11	0,10	0,09	0,08
<b>C20</b>	0,99	0,94	0,88	0,78	0,66	0,54	0,43	0,35	0,29	0,25	0,21	0,18	0,16	0,14	0,12	0,11	0,10	0,09	0,08
<b>C22</b>	0,99	0,94	0,88	0,78	0,66	0,53	0,43	0,35	0,29	0,24	0,21	0,18	0,16	0,14	0,12	0,11	0,10	0,09	0,08
<b>C24</b>	0,99	0,95	0,89	0,80	0,68	0,55	0,45	0,37	0,31	0,26	0,22	0,19	0,16	0,14	0,13	0,11	0,10	0,09	0,08
<b>C27</b>	0,99	0,95	0,89	0,80	0,69	0,57	0,46	0,38	0,31	0,26	0,22	0,19	0,17	0,15	0,13	0,12	0,10	0,09	0,08
<b>C30</b>	0,99	0,95	0,88	0,79	0,67	0,55	0,44	0,36	0,30	0,25	0,22	0,19	0,16	0,14	0,12	0,11	0,10	0,09	0,08
<b>C35</b>	0,99	0,95	0,88	0,79	0,67	0,55	0,45	0,36	0,30	0,25	0,22	0,19	0,16	0,14	0,12	0,11	0,10	0,09	0,08
<b>C40</b>	0,99	0,95	0,89	0,80	0,69	0,56	0,46	0,38	0,31	0,26	0,22	0,19	0,17	0,15	0,13	0,12	0,10	0,09	0,08
<b>C45</b>	0,99	0,95	0,89	0,81	0,69	0,57	0,47	0,38	0,32	0,27	0,23	0,20	0,17	0,15	0,13	0,12	0,11	0,10	0,09
<b>C50</b>	0,99	0,95	0,89	0,81	0,69	0,57	0,47	0,38	0,32	0,27	0,23	0,20	0,17	0,15	0,13	0,12	0,11	0,09	0,09
<b>D30</b>	0,99	0,95	0,88	0,79	0,67	0,55	0,44	0,36	0,30	0,25	0,22	0,19	0,16	0,14	0,12	0,11	0,10	0,09	0,08
<b>D35</b>	0,99	0,95	0,88	0,79	0,67	0,55	0,45	0,36	0,30	0,25	0,22	0,19	0,16	0,14	0,12	0,11	0,10	0,09	0,08
<b>D40</b>	0,99	0,95	0,89	0,80	0,69	0,56	0,46	0,38	0,31	0,26	0,22	0,19	0,17	0,15	0,13	0,12	0,10	0,09	0,08
<b>D50</b>	1,00	0,96	0,91	0,83	0,73	0,61	0,50	0,42	0,35	0,29	0,25	0,21	0,19	0,16	0,15	0,13	0,12	0,10	0,09
<b>D60</b>	1,00	0,96	0,92	0,85	0,76	0,65	0,54	0,45	0,38	0,32	0,27	0,23	0,20	0,18	0,16	0,14	0,13	0,11	0,10

# SE-M: Inestabilidad – Pandeo.

## Ejemplo

Pilar de 6 m de altura y 15x25 cm de sección.

Carga permanente (i.p.p.)= 20 kN

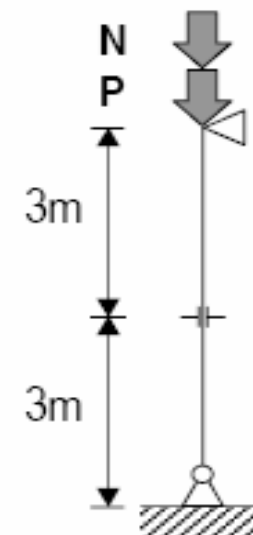
Sobrecarga de nieve (duración corta)= 60 kN

Viento (duración corta)=2 kN/m

Clase resistente: C24 (madera aserrada)

Clase de servicio: 2

Nota: en el plano de fachada la longitud libre del pilar queda reducida a la mitad por un sistema de arriostramiento.



		Eje y	Eje z
Mom. Inercia	$I =$	19.531	$I =$ 7.031
Mód. Resistente	$W =$	1.562,50	$W =$ 937,50
Radio de giro	$i = \sqrt{\frac{I}{A}} =$	7,22	$i = \sqrt{\frac{I}{A}} =$ 4,33
Esbeltez mecánica	$\lambda = \frac{L}{i} =$	83,14	69,28
Esbeltez relativa	$\lambda_{rel} = \frac{\lambda}{\pi} \sqrt{\frac{f_{c,0k}}{E_{0,k}}} =$	1,41	1,17

# SE-M: Pandeo: Continuación del EJEMPLO

$$\text{Esbeltez relativa} \quad \lambda_{\text{rel}} = \frac{\lambda}{\pi} \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0,k}}} = \quad 1,41 \quad 1,17$$

$$k = 0,5 \left[ 1 + \beta_c (\lambda_{\text{rel}} - 0,5) + \lambda_{\text{rel}}^2 \right] = \quad 1,58 \quad 1,26$$

$$k_c = \frac{1}{k + \sqrt{k^2 - \lambda_{\text{rel}}^2}} = \quad 0,43 \quad 0,59$$

eje y

eje z

$$f_{m,d} = k_{\text{mod}} \frac{f_{m,k}}{\gamma_M} \cdot k_n \cdot k_{cc} = 16,62 \text{ N/mm}^2$$

$$M_d = \gamma \cdot \frac{q_k \cdot L^2}{8} = 12,15 \text{ m.kN}$$

$$l_{m,y} = \frac{M_d}{W \cdot f_{m,d}} = 0,47$$

COMPROBACIÓN FLEXO-COMPRESIÓN:

$$\frac{l_{c,z}}{k_{c,z}} + k_m \cdot l_{m,y} = 0,69 \quad \text{OK}$$

$$\frac{l_{c,y}}{k_{c,y}} + l_{m,y} = 0,96 \quad \text{OK}$$

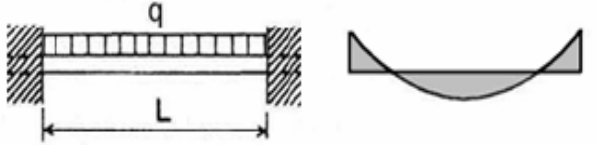
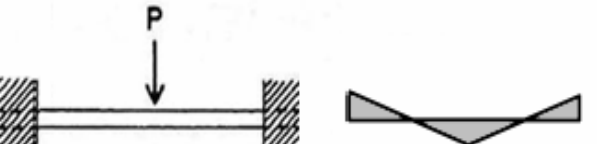

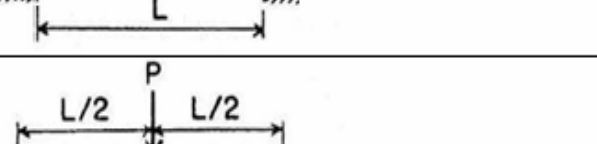

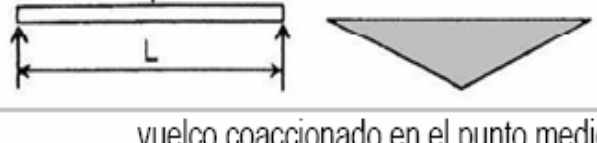
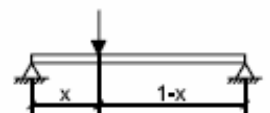
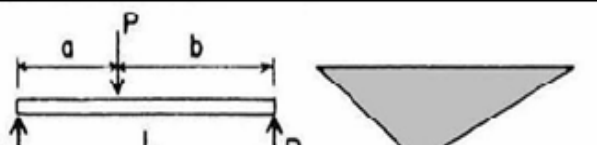
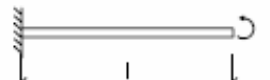
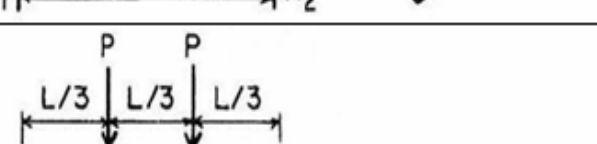

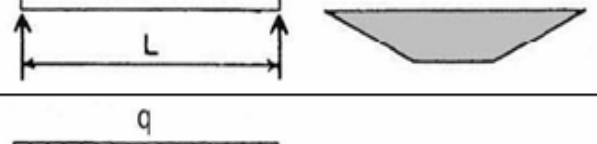


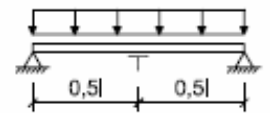
## SE-M: Vuelco lateral en vigas.

En ausencia de zoquetes (arriostramientos puntuales) o entablado (que hace de arriostramiento continuo), al superar un valor crítico se podría producir un desplazamiento y giro lateral con pérdida de estabilidad. – Para ello se calcula la longitud eficaz de vuelco lateral:

$$L_{ef} = \beta_v \cdot L$$

Donde  $\beta_v$  se encuentra en las tablas.....

# SE-M: Vuelco lateral - $\beta_v$

	0,39	Tipo de carga y viga	$\beta_v = L_{ef} / L$
	0,59		$\beta_v = 1,00$
	0,80		$\beta_v = 0,95$
	0,25		$\beta_v = 0,8/\alpha$ $\alpha = 1,35 - 1,4 x(L - x)/L^2$
<p>vuelco coaccionado en el punto medio</p> 	0,8/ $\alpha$		$\beta_v = 2,00$
	$\alpha = 1,35 - \frac{1,4a \cdot b}{L^2}$		$\beta_v = 1,20$
	0,90		$\beta_v = 1,70$
	0,95		$\beta_v = 0,40$
<p>vuelco coaccionado en el punto medio</p>	0,40		

# SE-M: Vuelco Lateral.

•1.-Con  $L_{ef}$  se obtiene el coeficiente de esbeltez geométrica  $C_e$ , que vale:

$$C_e = \sqrt{\frac{L_{ef} \cdot h}{b^2}}$$

2., Para comprobar la estabilidad se obtiene la esbeltez relativa en flexión,  $\lambda_{rel,m}$ :

$$\lambda_{rel,m} = 1,15 \cdot C_e \sqrt{\frac{f_{m,k}}{E_{0,k}}}$$

3.-Según la tabla, un factor  $k_{crit}$  función de la esbeltez relativa:

4.-La condición final de validez es:

$0,75 > \lambda_{rel,m}$	$k_{crit} = 1$
$0,75 < \lambda_{rel,m} \leq 1,4$	$k_{crit} = 1,56 - 0,75 \lambda_{rel,m}$
$\lambda_{rel,m} > 1,4$	$k_{crit} = 1/\lambda_{rel,m}^2$

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

# SE-M: Vuelco Lateral : EJEMPLO

## Ejemplo

Comprobar la seguridad al vuelco lateral de una viga de madera aserrada de 15x35 cm de sección y 8 m de luz, arriostrada en su punto medio.

Carga permanente (i.p.p.)= 2,0 kN/m

Sobrecarga de uso (duración media)= 2,5 kN/m

Clase resistente: C30

Clase de servicio: 2

$$f_{m,d} = k_{mod} \frac{f_{m,k}}{\gamma_M} \cdot k_H \cdot k_{cc} = 16,62$$

$$L_{ef} = \beta_v \cdot L = 475$$

$$C_e = \sqrt{\frac{L_{ef} \cdot h}{b^2}} = 12,42$$

$$\lambda_{rel,m} = 1,15 \cdot C_e \sqrt{\frac{f_{m,k}}{E_{0,k}}} = 0,72$$

$$k_{crit} = 1,00$$

$$M_{op} = 234,38 \text{ m.kN}$$

$$M_{cr} = 312,50 \text{ m.kN}$$

$$M_d = 785,16 \text{ m.kN}$$

$$\sigma_{m,d} = \frac{M_d}{W} = 13,94$$

$$k_m = \frac{\sigma_{m,d}}{k_{crit} \cdot f_{m,d}} = 0,84 \quad \text{VALE}$$

# SE-M: MADERA

SI: cálculo en situación de incendio

**Para la resistencia al fuego, más que un cálculo el CTE da una serie de recomendaciones constructivas, protegiéndolas con placas de yeso o material intumescente.**

**Para las estructuras:**  
**Sobredimensionar**

# SE-M: MADERA

## SI: cálculo en situación de incendio

### • Método de la sección reducida.

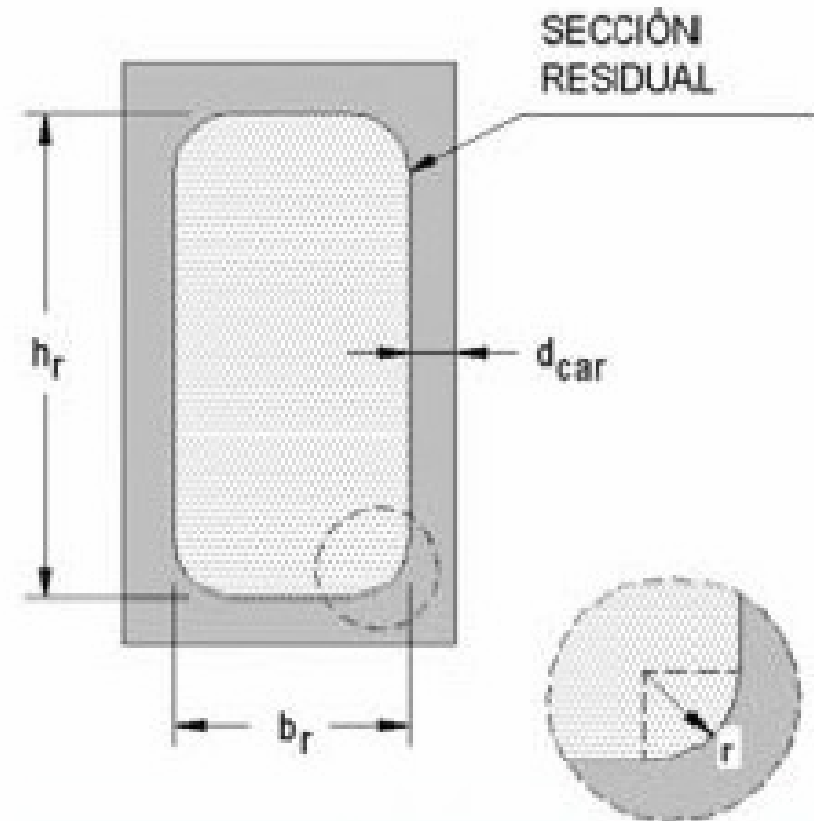
Se estima la profundidad carbonizada:

$$d_{\text{car}} = \beta \cdot t$$

donde:

	$\beta$ mm/min.	$\beta_0^*$ mm/min.
Coníferas	0,67	0,8
Frondosas	0,54	0,5 – 0,7

\* Considera el redondeo en las esquinas.



# SE-M: MADERA

## SI: cálculo en situación de incendio

- **Calculamos la profundidad de carbonización eficaz:**
- **$K_0$  = Corrector profundidad instantes iniciales (se estabiliza a los 20' la pérdida de resistencia).**
- **$d_0=7\text{mm}$ . (pirólisis=pérdida de resistencia en el perímetro por temp.)**

$$d_{ef} = d_{car} + k_0 \cdot d_0$$

	$k_0$
$t < 20 \text{ min}$	$t/20$
$t \geq 20 \text{ min}$	1

**El EC5 admite elevar la resistencia de la madera mediante:**

$$\gamma_m = 1$$

$$K_{mod} = 1$$

$$X_{f,d} = 1,25X_k$$

**El valor de cálculo se incrementa un 25%**

# SE-M: MADERA

## SI: cálculo en situación de incendio

- **Al tratarse de una situación accidental, incompatible con el estado de cargas normalmente previsible, sus valores característicos se infraponderan según la tabla:**

Permanente	Uso	Nieve	Viento
<b>1,00</b> (0,90)	<b>0,70</b> (0)	0,00 (0)	0,00 (0)
	<b>0,60</b> (0)	<b>0,20</b> (0)	0,00 (0)
		0,00 (0)	<b>0,50</b> (0)

( ) corresponden a situaciones en las que el efecto de la carga es favorable

# SE-M: MADERA

SI: cálculo en situación de incendio

## PREDIMENSIONADO

De forma aproximada, en situación de incendio:

- La resistencia de cálculo aumenta al doble.
- Las acciones de cálculo bajan a la mitad.

Por lo que:

**Para ser apta en flexión, la sección reducida deberá tener un módulo resistente  $W$  del orden mitad al inicial.**

# CTE – SE - Madera

## - Generalidades

- Madera aserrada (tronco) y laminada (encolada)
- Tableros de varios tipo
- Modelo del borrador de Eurocódigo
- Estados límite

## - Peculiaridades

- Clases de servicio: interior, intemperie, expuesta
  - Coeficiente de seguridad función de la duración de la carga
- Anisotropía: variación con la dirección; notación
- Clasificación de la madera en origen
- Incendio: velocidad de carbonización
  - Notación compleja

## CTE – SE - Madera

### - Vigas y soportes

- En general nudos articulados

- Análisis lineal: no hay plasticidad

- La flecha tiene componente diferida

*la flecha admisible en SE no salva la madera*

- Pandeo función de esbeltez y clase de resistencia

- Nudos

- Elementos de unión: puntas

### - Paneles

- Vigas con alma de tablero

- Forjados con tablero colaborante

- Soluciones de paneles para muros.

# CTE – Seguridad Estructural - RESUMEN

*Cambios sobre todo formales : notaciones  
coeficientes parciales de seguridad, estados límite.*

- Acciones: las mismas; valores similares. Sube viento  
Bajan las sobrecargas (no se alternan), baja nieve
- Acero : cambios de notación, pandeo con más variables
- Madera : novedad; notación
- Fábricas : amplía el campo; vale para fachadas y muros de sótano
- Cimientos : el SE-PPAL., dificultad de aplicación,  
aumenta la capacidad de los pilotes.  
Incendio: permite calcular la RF que se necesita.