

habic



MADERA ESTRUCTURAL

SEGUN CTE

Autor: Roberto Alonso Achiaga

INDICE

Normativa	1
Materiales	1
Valores característicos materiales	2-3
Clasificación de las acciones	4
Clases de servicio	4
Factores γ_m y K_{mod}	4
Factores de corrección, K_h y K_{vol}	5
Clases de uso	5
Protección madera y acero	5
Ecuaciones cálculo secciones rectangulares	7
Factor de pandeo χ_c	7
Deformaciones	8
Coeficientes de simultaneidad Ψ	9
Factor de fluencia K_{def}	9
Resistencia al fuego	9
Tabla dimensionamiento	11
Ficha técnica pino insignis (Pinus radiata)	12

Definición

La madera laminada está constituida por láminas de grosor fiable de longitudes diversas, ensambladas por entalladuras múltiples en las testas y encoladas, unas a otras, para la obtención de elementos macizos de sección rectangular.

Este sistema permite por saneamiento de las láminas, obtener elementos de características superiores a las maderas tradicionales en igualdad de sección.

La madera laminada desarrolla los planos de encolado paralelos al eje de giro y por flexión de la sección.

Normativa

El Código Técnico de la Edificación, en adelante el CTE está compuesto por los siguientes documentos básicos:

- DB-SE Seguridad estructural
- DB-SE-AE Acciones en la Edificación
- DB-SE-C Cimientos
- DB-SE-A Acero
- DB-SE-F Fábrica
- DB-SE-M Madera

Todos ellos especifican parámetros y procedimientos cuyo cumplimiento asegura la satisfacción de las exigencias básicas y la superación de los niveles mínimos de calidad propios del requisito básico seguridad estructural

Materiales

Clases resistentes de madera laminada encolada:

- Homogénea: GL24h, GL28h, GL32h y GL36h.
- Combinada: GL24c, GL28c, GL32c y GL36c

Clases resistentes de madera aserrada:

- Coníferas y chopo: C14, C16, C18, C20, C22, C24, C27, C30, C35, C40, C45 Y C50
- Frondosas: D30, D35, D40, D50, D60 Y D70

Tabla D.2. CTE DB SE-M
Correspondencia entre clases de madera laminada encolada y madera aserrada

	Clases resistentes		
Madera laminada encolada homogénea - Todas las láminas	GL24h C24	GL28h C30	GL32h C40
Madera laminada encolada combinada - Láminas externas ⁽¹⁾ - Láminas internas	GL24c C24 C18	GL28c C30 C24	GL32c C40 C30

⁽¹⁾ Los requisitos se aplican al sexto del canto extremo de cada lado con un mínimo de 2 láminas.

Valores de las propiedades de resistencia, rigidez y densidad, para madera aserrada y madera laminada encolada

Tabla E.1 Madera aserrada. Especies de coníferas y chopo.
Valores de las propiedades asociadas a cada Clase Resistente

Propiedades		C14	C16	C18	C20	C22	C24	C27	C30	C35	C40	C45	C50
Resistencia (característica) en N/mm²													
- Flexión	$f_{m,k}$	14	16	18	20	22	24	27	30	35	40	45	50
- Tracción paralela	$f_{t,0,k}$	8	10	11	12	13	14	16	18	21	24	27	30
- Tracción perpendicular	$f_{t,90,k}$	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4
- Compresión paralela	$f_{c,0,k}$	16	17	18	19	20	22	22	23	25	26	27	29
- Compresión perpendicular	$f_{c,90,k}$	2,0	2,2	2,2	2,3	2,4	2,5	2,6	2,7	2,8	2,9	3,1	3,2
- 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
Rigidez, en kN/mm²													
- Módulo de elasticidad paralelo medio	$E_{0,medio}$	7	8	9	9,5	10	11	11,5	12	13	14	15	16
- Módulo de elasticidad paralelo 5 ^o -percentil	$E_{0,k}$	4,7	5,4	6,0	6,4	6,7	7,4	7,7	8,0	8,7	9,4	10,0	10,7
- Módulo de elasticidad perpendicular medio	$E_{90,medio}$	0,23	0,27	0,30	0,32	0,33	0,37	0,38	0,40	0,43	0,47	0,50	0,53
- Módulo transversal medio	G_{medio}	0,44	0,50	0,56	0,59	0,63	0,69	0,72	0,75	0,81	0,88	0,94	1,00
Densidad, en kg/m³													
- Densidad característica	p_k	290	310	320	330	340	350	370	380	400	420	440	460
- Densidad media	p_{medio}	350	370	380	390	410	420	450	460	480	500	520	550

Tabla E.2 Madera aserrada. Especies frondosas.
Valores de las propiedades asociadas a cada Clase Resistente

Propiedades		D18	D24	D30	D35	D40	D50	D60	D70
Resistencia (característica) en N/mm²									
- Flexión	$f_{m,k}$	18	24	30	35	40	50	60	70
- Tracción paralela	$f_{t,0,k}$	11	14	18	21	24	30	36	42
- Tracción perpendicular	$f_{t,90,k}$	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6
- Compresión paralela	$f_{c,0,k}$	18	21	23	25	26	29	32	34
- Compresión perpendicular	$f_{c,90,k}$	7,5	7,8	8,0	8,1	8,3	9,3	10,5	13,5
- Cortante	$f_{v,k}$	3,4	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,5	5,0
Rigidez, en kN/mm²									
- Módulo de elasticidad paralelo medio	$E_{0,medio}$	10	11	12	12	13	14	17	20
- Módulo de elasticidad paralelo 5 ^o -percentil	$E_{0,k}$	8,4	9,2	10,1	10,1	10,9	11,8	14,3	16,8
- Módulo de elasticidad perpendicular medio	$E_{90,medio}$	0,67	0,73	0,80	0,80	0,86	0,93	1,13	1,33
- Módulo transversal medio	G_{medio}	0,63	0,69	0,75	0,75	0,81	0,88	1,06	1,25
Densidad, en kg/m³									
- Densidad característica	p_k	500	520	530	540	550	620	700	900
- Densidad media	p_{medio}	610	630	640	650	660	750	840	1080

Tabla E.3 Madera laminada encolada homogénea.
Valores de las propiedades asociadas a cada Clase Resistente

Propiedades		Clase resistente			
		GL24h	GL28h	GL32h	GL36h
Resistencia (característica) en N/mm²					
- Flexión	$f_{m,g,k}$	24	28	32	36
- Tracción paralela	$f_{t,0,g,k}$	16,5	19,5	22,5	26
- Tracción perpendicular	$f_{t,90,g,k}$	0,4	0,45	0,5	0,6
- Compresión paralela	$f_{c,0,g,k}$	24	26,5	29	31
- Compresión perpendicular	$f_{c,90,g,k}$	2,7	3,0	3,3	3,6
- Cortante	$f_{v,g,k}$	2,7	3,2	3,8	4,3
Rigidez, en kN/mm²					
- Módulo de elasticidad paralelo medio	$E_{0,g,medio}$	11,6	12,6	17,7	14,7
- Módulo de elasticidad paralelo 5 ^o -percentil	$E_{0,g,k}$	9,4	10,2	11,1	11,9
- Módulo de elasticidad perpendicular medio	$E_{90,g,medio}$	0,39	0,42	0,46	0,49
- Módulo transversal medio	$G_{g,medio}$	0,72	0,78	0,85	0,91
Densidad, en kg/m³					
Densidad característica	$P_{g,k}$	380	410	430	450

Tabla E.4 Madera laminada encolada combinada.
Valores de las propiedades asociadas a cada Clase Resistente

Propiedades		Clase resistente			
		GL24c	GL28c	GL32c	GL36c
Resistencia (característica) en N/mm²					
- Flexión	$f_{m,g,k}$	24	28	32	36
- Tracción paralela	$f_{t,0,g,k}$	14	16,5	19,5	22,5
- Tracción perpendicular	$f_{t,90,g,k}$	0,35	0,4	0,45	0,5
- Compresión paralela	$f_{c,0,g,k}$	21	24	26,5	29
- Compresión perpendicular	$f_{c,90,g,k}$	2,4	2,7	3,0	3,3
- Cortante	$f_{v,g,k}$	2,2	2,7	3,2	3,8
Rigidez, en kN/mm²					
- Módulo de elasticidad paralelo medio	$E_{0,g,medio}$	11,6	12,6	13,7	14,7
- Módulo de elasticidad paralelo 5 ^o -percentil	$E_{0,g,k}$	9,4	10,2	11,1	11,9
- Módulo de elasticidad perpendicular medio	$E_{90,g,medio}$	0,32	0,39	0,42	0,46
- Módulo transversal medio	$G_{g,medio}$	0,59	0,72	0,78	0,85
Densidad, en kg/m³					
Densidad característica	$P_{g,k}$	350	380	410	430

Factores que afectan al comportamiento estructural de la madera

Tabla 2.2. CTE DB SE-M Clases de duración de las acciones

Clase de duración	Duración aproximada acumulada de la acción en valor característico	Acción
Permanente	más de 10 años	Permanente, peso propio
Larga	de 6 meses a 10 años	Apeos o estructuras provisionales no itinerantes
Media	de una semana a 6 meses	sobrecarga de uso; nieve en localidades de >1000 m
Corta	menos de una semana	viento; nieve en localidades de <1000 m
Instantánea	algunos segundos	sismo

Clases de servicio

- **Clase de servicio 1:** Contenido de humedad en la madera correspondiente a una temperatura de 20 ± 2° C y una humedad relativa del aire que solo exceda el 65% unas pocas semanas al año.
- **Clase de servicio 2:** Contenido de humedad en la madera correspondiente a una temperatura de 20 ± 2° C y una humedad relativa del aire que solo exceda el 85% unas pocas semanas al año.
- **Clase de servicio 3:** Condiciones ambientales que conduzcan a un contenido de humedad superior a la clase de servicio 2.

Valor de cálculo de las propiedades del material y de las uniones: $\chi_d = K_{mod} \frac{\chi_k}{\gamma_m}$

Valor de la capacidad de la carga de cálculo: $R_d = k_{mod} \frac{R_k}{\gamma_m}$

Tabla 2.3 CTE DB SE-M Coeficientes parciales de Seguridad para material γ_m

Situaciones persistentes y transitorias

Madera maciza	1,30
Madera laminada encolada	1,25
Madera microlaminada, tablero contrachapado, tablero de virutas orientadas	1,20
Tablero de partículas y tableros de fibras (duros, medios, densidad media, blandos)	1,30
Uniones	1,30
Placas clavo	1,25

Situaciones extraordinarias: 1,0

Tabla 2.4 CTE DB SE-M Valores del factor K_{mod}

Material	Norma	Clase de servicio	Clase de duración de la carga				
			Permanente	Larga	Media	Corta	Instantánea
Madera maciza	UNE-EN 14081-1	1	0,60	0,70	0,80	0,90	1,10
		2	0,60	0,70	0,80	0,90	1,10
		3	0,50	0,55	0,65	0,70	0,90
Madera laminada encolada	UNE-EN 14080	1	0,60	0,70	0,80	0,90	1,10
		2	0,60	0,70	0,80	0,90	1,10
		3	0,50	0,55	0,65	0,70	0,90

Factores de corrección de la resistencia

Madera maciza

$K_h = \left(\frac{150}{h} \right)^{0,2} \leq 1,3$ Cuando $h < 150$ mm, siendo h canto en flexión o mayor dimensión en tracción, los valores característicos $f_{m,k}$ y $f_{t,0,k}$ pueden multiplicarse por el factor K_h

Madera laminada encolada

$K_h = \left(\frac{600}{h} \right)^{0,1} \leq 1,1$ Cuando $h < 600$ mm, siendo h canto en flexión o mayor dimensión en tracción, los valores característicos $f_{m,g,k}$ y $f_{t,0,g,k}$ pueden multiplicarse por el factor K_h

$K_{vol} = \left(\frac{V_0}{V} \right)^{0,2}$ Cuando el volumen V en la zona considerada sea mayor que V_0 , y esté sometido a esfuerzos de tracción perpendicular a la fibra, siendo $V_0 = 0,01$ m³, el valor característico $f_{t,90,g,k}$ se multiplicará por el K_{vol} .

Durabilidad

Clases de uso

Clase de Uso 1: elemento estructural cubierto, protegido de la intemperie y no expuesto a la humedad. La madera maciza tiene un contenido de humedad menor que el 20%.

Clase de Uso 2: elemento estructural cubierto y protegido de la intemperie, pero ocasionalmente el contenido de humedad de la madera puede superar el 20%.

Clase de Uso 3: elemento estructural al descubierto, no en contacto con el suelo, con un contenido de humedad que puede superar el 20%.

■ Clase de Uso 3.1: elemento estructural se encuentra al exterior, por encima del suelo y protegido, donde el contenido de humedad de la madera puede superar ocasionalmente el 20%.

■ Clase de Uso 3.2: elemento estructural se encuentra al exterior, por encima del suelo y no protegido, donde el contenido de humedad de la madera supera frecuentemente el 20%.

Clase de Uso 4: elemento estructural en contacto con el suelo o con agua dulce y superando permanentemente el contenido de humedad del 20% en la madera.

Clase de Uso 5: elemento estructural en contacto permanente con agua salada, y superando permanentemente el contenido de humedad del 20% en la madera.

Tabla 3.1 CTE DB SE-M. Elección del tipo de protección de la madera

Clase de uso		Nivel de penetración NP (UNE-EN 351-1)
1	NP1 ⁽¹⁾	Sin exigencias específicas. Todas las caras tratadas
2	NP1 ⁽²⁾⁽³⁾	Sin exigencias específicas. Todas las caras tratadas
3.1	NP2 ⁽³⁾	Al menos 3 mm en la albura de todas las caras de la pieza
3.2	NP3 ⁽⁴⁾	Al menos 6 mm en la albura de todas las caras de la pieza. Todas las caras tratadas
4	NP4 ⁽⁵⁾	Al menos 25 mm en todas las caras
	NP5	Penetración total en la albura. Todas las caras tratadas
5	NP6 ⁽⁴⁾	Penetración total en la albura y a menos en 6 mm en la madera de duramen expuesta

Tabla 3.2 CTE DB SE-M.

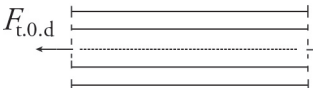
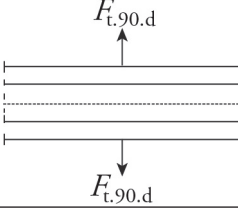
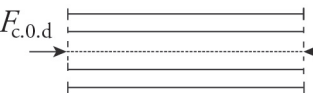
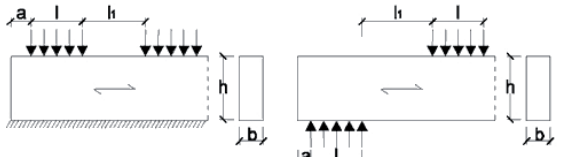
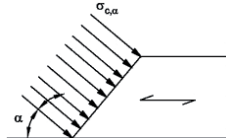
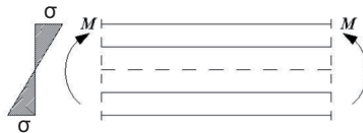
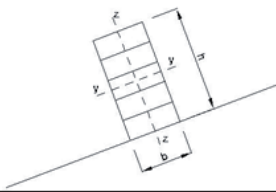
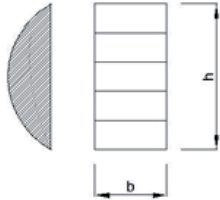
Protección mínima frente a la corrosión (relativa a la norma ISO 2081), o tipo de acero necesario

Eliminación de fijación	Clase de servicio		
	1	2	3
Clavos y tirafondos con $d \leq 4$ mm	Ninguna	Fe/Zn 12c ⁽¹⁾	Fe/Zn 25c ⁽²⁾
Pernos, pasadores y clavos con $d > 4$ mm	Ninguna	Ninguna	Fe/Zn 25c ⁽²⁾
Grapas	Fe/Zn 12c ⁽¹⁾	Fe/Zn 12c ⁽¹⁾	Acero inoxidable
Placas dentadas y chapas de acero con espesor de hasta 3 mm	Fe/Zn 12c ⁽¹⁾	Fe/Zn 12c ⁽¹⁾	Acero inoxidable
Chapas de acero con espesor por encima de 3 hasta 5 mm	Ninguna	Fe/Zn 12c ⁽¹⁾	Fe/Zn 25c ⁽²⁾
Chapas de acero con espesor superior a 5 mm	Ninguna	Ninguna	Fe/Zn 25c ⁽²⁾

⁽¹⁾ Si se emplea galvanizado en caliente la protección Fe/Zn debe sustituirse por Z 275, y la protección Fe/Zn 25c debe sustituirse por Z 350

⁽²⁾ En condiciones expuestas especialmente a la corrosión debe considerarse la utilización de Fe/Zn 40c, un galvanizado en caliente más grueso o acero inoxidable

Cálculo de secciones rectangulares uniformes

Tracción	Paralela a la fibra		$\sigma_{t,0,d} = \frac{F_{t,0,d}}{A_e f} \leq f_{t,0,d}$
	Perpendicular a la fibra		$\sigma_{t,90,d} = \frac{F_{t,90,d}}{A_e f} \leq k_{vol} \cdot f_{t,90,d}$
Compresión	Paralela a la fibra		$\sigma_{c,0,d} = \frac{F_{c,0,d}}{A_e f} \leq X_{cz} \cdot f_{c,0,d}$ $\sigma_{c,0,d} = \frac{F_{c,0,d}}{A_e f} \leq X_{cy} \cdot f_{c,0,d}$
	Perpendicular a la fibra		$\sigma_{c,90,d} = \frac{F_{c,90,d}}{A_e f} \leq k_{c,90} \cdot f_{c,90,d} \quad k_{c,90} \text{ (ver*)}$
	Inclinada respecto a la fibra		$\sigma_{c,\alpha,d} = \frac{F_{c,\alpha,d}}{A_e f} \leq \frac{f_{c,0,d}}{\frac{f_{c,0,d}}{f_{c,90,d}} \sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha}$
Flexión	Simple		$\sigma_{m,d} = \frac{M_d}{W} \leq k_h \cdot f_{m,d}$
	Desviada		$\frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d} \cdot k_h} + k_m \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d} \cdot k_h} \leq 1$ $\frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d} \cdot k_h} \cdot k_m + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d} \cdot k_h} \leq 1$ Siendo $k_m = 0,7$ para secciones rectangulares
Cortante	Viga recta		$\tau_d = \frac{1,5 \cdot V_d}{K_{cr} B h} \leq f_{v,d}$ Siendo $K_{cr} = 0,67$ para madera laminada encolada y madera maciza

$*k_{c,90}$

En caso de **apoyo continuo**, figura a) y siempre que $l_1 \geq 2h$

$k_{c,90} = 1,25$ para madera maciza de coníferas

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

En caso de **apoyos aislados**, figura b) y siempre que $l_1 \geq 2h$

$k_{c,90} = 1,5$ para madera maciza de coníferas

$k_{c,90} = 1,75$ para madera laminada encolada de coníferas siempre que $l \leq 400$ mm

Para determinar A_{ef} el área de contacto real l se incrementa 30 mm a cada lado pero no más de $l_0/2$ figura b)

Valores del factor de pandeo

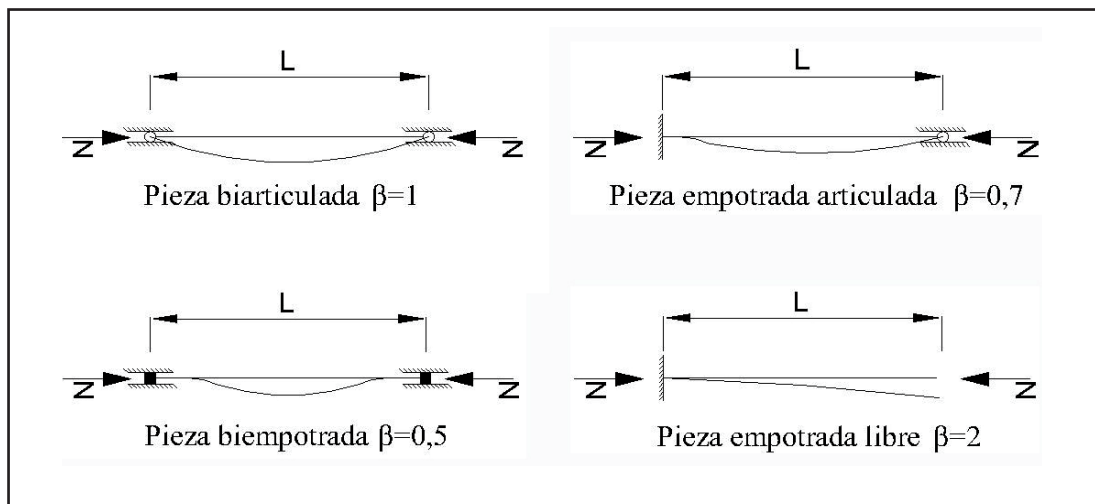
Tabla 6.1 CTE DB-SE-M. Valores del factor de pandeo ($\chi_{c,y}$ o $\chi_{c,z}$)

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	
C14	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	
C16	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	
C18	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	
C20	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	
C22	0,99	0,94	0,88	0,78	0,66	0,53	0,43	0,35	0,29	0,24	0,21	0,19	0,16	0,14	0,12	0,11	0,10	0,09	0,08	
C24	0,99	0,95	0,88	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	
C27	0,99	0,95	0,88	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	
C30	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	
C35	0,99	0,95	0,89	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	
C40	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	
C45	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	
C50	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	
D30	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	
D35	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	
D40	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	
D50	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	
D60	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	
D70	1,00	0,97	0,93	0,87	0,79	0,69	0,58	0,49	0,41	0,35	0,30	0,26	0,22	0,20	0,17	0,16	0,14	0,13	0,11	
GL24h	1,00	0,98	0,95	0,89	0,80	0,66	0,54	0,44	0,36	0,30	0,25	0,22	0,19	0,16	0,15	0,13	0,12	0,10	0,09	
GL28h	1,00	0,98	0,95	0,89	0,79	0,65	0,53	0,43	0,35	0,29	0,25	0,21	0,19	0,16	0,14	0,13	0,11	0,10	0,09	
GL32h	1,00	0,98	0,94	0,89	0,79	0,65	0,52	0,43	0,35	0,29	0,25	0,21	0,18	0,16	0,14	0,13	0,11	0,10	0,09	
GL36h	1,00	0,98	0,94	0,89	0,79	0,65	0,53	0,43	0,35	0,29	0,25	0,21	0,18	0,16	0,14	0,13	0,11	0,10	0,09	
GL24c	1,00	0,98	0,96	0,91	0,84	0,72	0,60	0,60	0,41	0,34	0,29	0,25	0,21	0,19	0,17	0,15	0,13	0,12	0,11	
GL28c	1,00	0,98	0,95	0,91	0,82	0,72	0,57	0,57	0,39	0,32	0,27	0,24	0,20	0,18	0,16	0,14	0,12	0,11	0,10	
GL32c	1,00	0,98	0,95	0,90	0,82	0,69	0,57	0,57	0,38	0,32	0,27	0,23	0,20	0,18	0,16	0,14	0,12	0,11	0,10	
GL36c	1,00	0,98	0,95	0,90	0,81	0,68	0,56	0,56	0,37	0,31	0,27	0,23	0,20	0,17	0,15	0,13	0,12	0,11	0,10	

Esbeltez mecánica de una pieza comprimida: $\lambda_y = \frac{\beta_y \cdot L}{i_y}$ y $\lambda_{yz} = \frac{\beta_z \cdot L}{i_z}$

Siendo L la longitud de la pieza e i_y e i_z los radios de giro

Coefficientes de esbeltez β para distintas restricciones en el extremo de las piezas.
Guarda relación con la deformada.



Deformaciones

Han de cumplirse los tres criterios siguientes:

Integridad: ante cualquier combinación de acciones característica, considerando solo las deformaciones que se producen después de la puesta en obra del elemento,

la flecha relativa es menor que $l/300 \sum_{j \geq 1} \delta_{dif,j} + \delta_{ini,Qk,1} + \sum_{i \geq 1} \Psi_{0i} \cdot \delta_{ini,Qk,i}$

Confort: ante cualquier combinación de acciones característica, considerando solo las acciones de corta duración

la flecha relativa es menor que $l/350 \delta_{ini,Qk,1} + \sum_{i \geq 1} \Psi_{0i} \cdot \delta_{ini,Qk,i}$

Apariencia: ante cualquier combinación de acciones casi permanente,

la flecha relativa es menor que $l/300 \sum_{j \geq 1} \delta_{ini,Gkj} + \sum_{j \geq 1} \delta_{dif,j} + \sum_{i \geq 1} \Psi_{2,1} \cdot \delta_{ini,Qk,i}$

Las condiciones anteriores deben verificarse entre dos puntos cualesquiera de la planta, tomando como luz el doble de la distancia entre ellos.

Siendo δ_{ini} la deformación elástica frente a dicha acción
 δ_{dif} la deformación elástica frente a dicha acción

Deformación diferida se determina a partir de la siguiente expresión:

$$\delta_{dif} = \delta_{ini} \cdot \Psi_2 \cdot k_{def}$$

Tabla 4.2 Coeficientes de simultaneidad (Ψ). Para cargas permanentes $\Psi_2 = 1$.

	Ψ_0	Ψ_1	Ψ_2
Sobrecarga superficial de uso / (Categorías según DB-SE-AE)			
• Zonas residenciales (Categoría A)	0,7	0,5	0,3
• Zonas administrativas (Categoría B)	0,7	0,5	0,3
• Zonas destinadas al público (Categoría C)	0,7	0,7	0,6
• Zonas comerciales (Categoría D)	0,7	0,7	0,6
• Zonas de tráfico y de aparcamiento de vehículos ligeros con un peso total inferior a 30 kN (Categoría E)	0,7	0,5	0,6
• Cubiertas transitables (Categoría F)		⁽¹⁾	
• Cubiertas accesibles únicamente para mantenimiento (Categoría G)	0	0	0
Nieve			
• Para altitudes > 1000 m	0,7	0,5	0,2
• Para altitudes ≤ 1000	0,5	0,2	0
Viento	0,6	0,5	0
Temperatura	0,6	0,5	0
Acciones variables del terreno	0,7	0,7	0,7

⁽¹⁾ En las cubiertas transitables, se adoptarán los valores correspondientes al uso desde el que se accede

K_{def} factor de fluencia en función de la clase de servicio.

Tabla 7.1 CTE DB SE-M. Valores de k_{def} para madera y productos derivados de la madera

Material	Tipo de producto	Clase de servicio		
		1	2	3
Madera Maciza		0,60	0,80	2,00
Madera laminada encolada		0,60	0,80	2,00
Madera microlaminada (LVL)		0,60	0,80	2,00

Resistencia al fuego

Se considera que la resistencia al fuego de un elemento estructural principal del edificio (incluidos, vigas, forjados y soportes), es suficiente si alcanza la clase indicada en la tabla 3.1, ó 3.2 que representa el tiempo en minutos de resistencia ante la acción representada por la curva normalizada tiempo temperatura.

Tabla 3.1 CTE DB SI. Resistencia al fuego suficiente de los elementos estructurales

Uso del <i>sector de incendio</i> considerando ⁽¹⁾	Plantas de sótano	Plantas sobre rasante altura de evacuación del edificio		
		≤ 15 m	≤ 28 m	>28 m
Vivienda unifamiliar ⁽²⁾	R 30	R 30	-	-
Residencial Vivienda, Residencial Público, Docente, Administrativo	R 120	R 60	R 90	R 120
Comercial, Pública Concurrencia, Hospitalario	R 120 ⁽³⁾	R 90	R 120	R 180
Aparcamiento (edificio de uso exclusivo o situado sobre otro uso)			R 90	
Aparcamiento (situado bajo un uso distinto)			R 140 ⁽⁴⁾	

⁽¹⁾ La *resistencia al fuego* suficiente R de los elementos estructurales de un suelo que separa *sectores de incendio* es función del uso del sector inferior. Los elementos estructurales de suelos que no delimitan un *sector de incendios*, sino que están contenidos en el, deben tenerl al menos la *resistencia al fuego* suficiente R que se exija para el uso de dicho sector.

⁽²⁾ En viviendas unifamiliares agrupadas o adosadas, los elementos que formen parte de la estructura común tendrán la *resistencia al fuego* exigible a edificios de *uso Residencial Vivienda*.

⁽³⁾ R 180 si la *altura de evacuación* del edificio excede de 28 m.

⁽⁴⁾ R 180 cuando se trate de *aparcamientos robotizados*.

Tabla 3.2 CTE DB SI. Resistencia al fuego suficiente de los elementos estructurales de zonas de riesgo especial integradas en los edificios⁽¹⁾

Riesgo especial bajo	R 90
Riesgo especial medio	R 120
Riesgo especial alto	R 180

⁽¹⁾ No será inferior al de la estructura portante de la planta del edificio excepto cuando la zona se encuentre bajo una cubierta no prevista para evacuación y cuyo fallo no suponga riesgo para la estabilidad de otras plantas ni para la compartimentación contra incendios, en cuyo caso puede ser R 30.

La *resistencia al fuego* suficiente R en los elementos estructurales de un suelo de una zona de riesgo especial es función del uso del espacio existente bajo dicho suelo.

La estructura principal de las cubiertas ligeras no previstas para ser utilizadas en la evacuación de los ocupantes y cuya altura respecto de la rasante exterior no exceda 28 m, así como los elementos que únicamente sustenten dichas cubiertas, podrán ser R 30 cuando su fallo no pueda ocasionar daños graves a los edificios o establecimientos próximos, ni comprometer la estabilidad de otras plantas inferiores o la compartimentación de los sectores de incendio.

Puede entenderse como cubierta ligera aquella cubierta cuya carga permanente debida únicamente a su cerramiento no exceda de 1KN/m².

Comportamiento de la estructura de madera laminada bajo la acción del fuego.

El valor estético de la madera, su adaptabilidad y versatilidad, su textura y su naturalidad, provocan el deseo de su uso y compañía, siendo desde siempre uno de los materiales nobles en la construcción. Pero a causa de su combustibilidad, es patente una cierta aversión y perplejidad ante su uso como material resistente.

Institutos de investigación como el Trada en Londres, el Bundesanstalt für Materialprüfung de Berlín y otros han demostrado con severas pruebas, que la madera laminada puede ser considerada como uno de los materiales más seguros en caso de incendio.

Siendo cierto que la madera tiene una mala reacción al fuego, es indiscutible su excelente resistencia al fuego, siendo esta característica fundamental en la garantía de un tiempo de huida necesario para la evacuación de bienes y vidas. Con otros materiales no es previsible el comportamiento del edificio frente al fuego. Con la madera laminada desde el proyecto, se sabe cual será su comportamiento y su tiempo de huida antes del colapso.

De 100°C a 300°C la madera se calienta iniciándose la evaporación del agua contenida, y por tanto contribuyendo al aumento de las características físico-mecánicas de la madera. Se comienza a carbonizar la madera entre los 500°C y los 800°C. Esta descomposición superficial del material es debida a una bajísima conductividad térmica.

Cuanto menor es la conductividad térmica (Kcal/m²h°C) de un material, tanto más lentamente se alcanza la temperatura crítica de pérdida de características físico-mecánicas.

Algunos coeficientes de conductividad térmica de materiales usados en construcción: aluminio 175, acero 45, cemento armado 1,2, madera 0,13, carbón de madera 0,03.

De los datos expuestos resulta evidente que la madera y más el carbón de madera, presentan unos valores muy bajos de conductividad térmica, netamente inferiores a otros materiales, y esto explica que el estrato carbonizado que se forma superficialmente, proteja de la combustión el ánima de la madera por un tiempo relativamente largo, manteniendo así su estabilidad estructural. Elementos estructurales en materiales de alta conductividad térmica, sino son suficientemente protegidos por costosas capas protectoras, en caso de aumento de la temperatura, pierden sus características estáticas.

Los ensayos sobre el comportamiento al fuego demuestran que existe una relación lineal entre la profundidad de carbonización y el tiempo. Por tanto puede hablarse de una velocidad constante de carbonización que permite calcular cual es la sección residual de la pieza después de un tiempo determinado.

Tabla E.1 CTE DB SI. Velocidad de carbonización nominal de cálculo, β_n , de maderas sin protección

	β_n (mm/min)
Coníferas y haya	
Madera laminada encolada con densidad característica $\geq 290 \text{ kg/m}^3$	0,70
Madera maciza con densidad característica $\geq 290 \text{ kg/m}^3$	0,80
Frondosas	
Madera maciza o laminada encolada de frondosas con densidad característica de $290 \text{ Kg/m}^{3(1)}$	0,70
Madera maciza o laminada encolada de frondosas con densidad característica $\geq 450 \text{ Kg/m}^3$	0,55
Madera microlaminada	
Con una densidad característica $\geq 480 \text{ Kg/m}^3$	0,70

⁽¹⁾ Para densidad característica comprendida entre 290 y 450 kg/m^3 , se interpolara linealmente

Dimensiones aconsejadas para vigas rectas biapoyadas de madera laminada.

Material GL24h y Clase de servicio 2

Luz (m)	Q=kg/ml = (kg/m2 x distancia inter-eje) (sin mayorar)						
	50	100	150	200	250	300	350
4	80x135	90x135	100x180	100x180	100x180	100x225	100x225
4,5	90x135	90x180	100x180	115x180	100x225	100x225	115x225
5	90x135	90x180	115x180	100x225	115x225	100x270	115x270
5,5	90x180	100x180	115x225	115x225	115x270	115x270	115x315
6	90x180	100x225	115x225	115x270	115x270	115x315	115x315
6,5	90x180	100x225	115x270	115x270	115x315	115x315	115x360
7	90x225	115x225	115x270	115x315	115x315	115x360	115x360
7,5	100x225	115x270	115x270	115x315	115x360	115x405	115x405
8	100x225	115x270	115x315	115x315	115x360	115x450	140x405
8,5	115x225	115x270	115x315	115x360	140x360	140x405	140x405
9	115x270	115x315	115x360	140x360	140x360	140x405	140x450
9,5	115x270	115x315	115x405	140x360	140x405	140x450	140x495
10	115x270	115x360	140x405	140x405	140x450	140x495	140x540

FICHA TÉCNICA PINO INSIGNIS (PINUS RADIATA)

Los resultados obtenidos en los diferentes proyectos del Aula de Ecodiseño desarrollados por CLUSTER HABIC demuestran que, en la comparativa con el resto de materiales utilizados en la construcción, la madera (sobre todo las especies locales como el Pino Radiata), es el material más sostenible y que menos CO2 consume.

La madera de pino radiata es una madera caracterizada para su uso en estructuras, tanto en maciza, como contralaminada y/o laminada. Esto significa que se encuentra en norma para su utilización en todo Europa. El pino radiata (Pinus radiata D. Don) es un pino serotino de la Costa Pacífica de Norteamérica.

Propiedades mecánicas	Norma	Unidades	2%	18%	Verde	Calificación
Compresión axial	UNE 56535	Kg/cm ²	434	293	201	Media
Flexión estática	UNE 56537	Kg/cm ²	875	660	479	Media
Módulo elástico de flexión	UNE 56537	Kg/cm ²	90.000	80.000	75.000	Flexible
Cortadura radial	UNE 56543	Kg/cm ²	97	82	54	Media
Cortadura tangencial	UNE 56543	Kg/cm ²	107	93	66	Media
Tracción perpendicular	UNE 56538	Kg/cm ²	23,5	-	-	Media
Hienda(tangencial)	UNE 56539	Kg/cm ²	10,6	-	-	Baja
Flexión dinámica (Choque)	UNE 56536	Kg/cm ²	0,37	0,49	0,7	Baja
Dureza Monnin	UNE 56534		1,8	1,1	-	Media (Coníferas)

Propiedades mecánicas de Pinus radiata (probetas pequeñas libres de defectos)

Propiedades físicas	Norma	Unidades	12%	Varios	Verde	Calificación
Densidad (al 12%)	NFB 51005	Kg/cm ²	500		900	Media (Coníferas)
Contracción volumétrica total		%	-	14,5	-	
Contracción radial		%	-	4,2	-	
Contracción tangencial		%	-	7,5	-	
Calor específico	-	J/Kg.°C	1650	-	-	Media
Velocidad penetración de llamas	UNE 23093	mm/min	0,83	-	-	Alta

Propiedades físicas de Pinus radiata (probetas pequeñas libres de defectos)

Calidad Visual (UNE 56544:2007)	Unidades	ME-1	ME-2	MEG
Densidad media	Kg/m ³	504	484	515
Densidad característica	Kg/m ³	426	400	450
Resistencia a la flexión característica	N/mm ²	29,6	18,0	22,6
Módulo de elasticidad medio en flexión	N/mm ² · 10 ³	11264	11077	10483
Asignación a clases resistentes (EN 338)	-	C24	C18	C22
Rendimiento clasificatorio	%	21	42	46

Propiedades físicas de Pinus radiata (dimensiones de uso)

Clases resistentes (prEN338:2012)	Unidades	C18	C22	C24
Flexión	N/mm ²	18	22	24
Tracción paralela a la fibra	N/mm ²	11	13	14
Tracción perpendicular a la fibra	N/mm ²	0,4	0,4	0,4
Compresión paralela a la fibra	N/mm ²	18	20	21
Compresión perpendicular a la fibra	N/mm ²	2,2	2,4	2,5
Cortante	N/mm ²	3,4	3,8	4,0
Módulo de elasticidad media paralela a la fibra (flexión)	N/mm ² · 10 ³	9,0	10,0	11,0
Módulo de elasticidad paralela a la fibra (5º percentil)	N/mm ² · 10 ³	6,0	6,7	7,4
Módulo de elasticidad media paralela a la fibra (tracción)	N/mm ² · 10 ³	8,3	9,2	10,1
Módulo de elasticidad medio perpendicular a la fibra	N/mm ² · 10 ³	0,30	0,33	0,37
Módulo de cortante medio	N/mm ² · 10 ³	0,56	0,63	0,69
Densidad característica	Kg/m ³	320	340	350
Densidad media	Kg/m ³	380	410	420

Durabilidad natural				Impregnabilidad		Anchura de la albura
Hongos	Hylotrupes	Anóridos	Termitas	Duramen	Albura	
4-5	S	SH	S	2-3	1	Grande
Poco Durable; No durable	Sensible	Duramen también sensible	Sensible	Medianamente; Poco impregnable	Impregnable	Grande (> 10 cm)

UNE-EN 350-2:1995 Durabilidad de la madera y de los materiales derivados de la madera. Durabilidad natural de la madera maciza. Parte 2: guía de la durabilidad natural y de la impregnabilidad de especies de madera seleccionadas por su importancia en Europa.

©Los datos y textos INIA



La utilización de esta madera puede ser el principal elemento de una obra respetuosa con los conceptos de impacto medioambiental, cambio climático, sostenibilidad y “compra verde”

Madera certificada PEFC: garantía de gestión forestal respetuosa con el medio ambiente

La madera es la principal materia prima sostenible que el arquitecto dispone para la ejecución de sus ideas y proyectos. Si esa madera, además, posee la certificación PEFC, se está garantizando que proviene de bosques gestionados de forma sostenible a nivel social, económico y medioambiental, de tal forma que se promueve la conservación y la mejora de las masas forestales.

Cada día, un mayor número de gestores forestales apuesta por realizar una gestión planificada y respetuosa con las directrices de sostenibilidad que se han acordado de forma internacional. En Euskadi, esta tendencia aumenta mes a mes. Actualmente, 576 gestores certifican con PEFC su madera, lo que supone que un total de 69.000 ha de bosque poseen ya la acreditación de estar explotadas de forma sostenible.

PEFC Euskadi es una asociación que acoge a las diferentes partes implicadas en la gestión forestal, industria de transformación de la madera, administración forestal, universidades y el conjunto de la ciudadanía interesada en una gestión forestal respetuosa con las condiciones ambientales, sociales y económicas. Para ser incluidos en esta certificación, los gestores de montes deben realizar una planificación de las labores forestales de las próximas década y comprometerse a respetar las directrices de gestión sostenible consensuadas en el seno de la asociación.

La madera es la principal materia prima sostenible que el arquitecto dispone para la ejecución de sus ideas y proyectos, y la certificación PEFC garantiza ese origen sostenible de la misma. La utilización de esta madera puede ser el principal elemento de una obra respetuosa con los conceptos de impacto medioambiental, cambio climático, sostenibilidad y “compra verde”. Con el empleo de madera PEFC, se apoya además a los gestores forestales que apuestan por una gestión planificada y el respeto a directrices acordadas internacionalmente.

Garantía para el prescriptor

Todas las empresas vascas suministradoras de soluciones constructivas con madera disponen de la certificación de sus procesos para poder entregar producto certificado PEFC si el prescriptor así lo dispone.

El objetivo es claro: asegurar al prescriptor que el producto final que adquiere provenga de un bosque gestionado con criterios sostenibles, que no provoque efectos indeseados en el medio y que garantice su pervivencia en el futuro. Todo ello en la confianza de que el mercado sabrá premiar a quienes adquieren este tipo de compromiso, especialmente cuando se trata de un producto natural y ecológico como la madera, que presenta numerosas ventajas medioambientales respecto a otras materias primas.

Equipando el Futuro



Cluster del Hábitat, Madera,
Oficina y Contract del País Vasco

Area Anardi, 5 / Edificio TECNALIA
20730 / Azpeitia / Gipuzkoa / Spain

T +34 943 815 756
clusterhabic@clusterhabic.com

www.clusterhabic.com