



**Software de análisis y
diseño de estructuras**



www.dlubal.com



Ing. Manuel Ballesta
Organizador

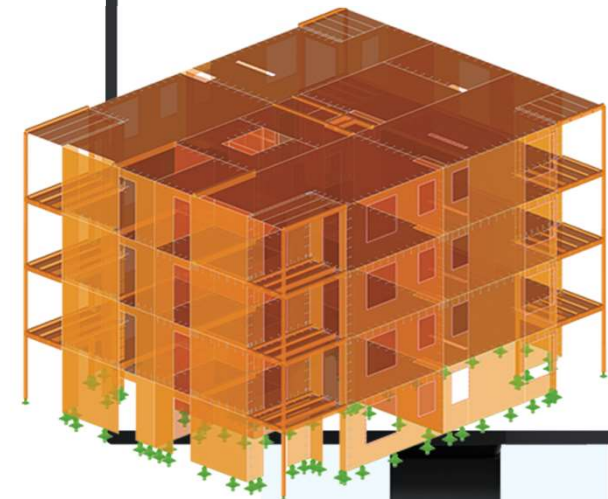
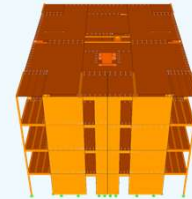
Dlubal Software GmbH



Formación en línea

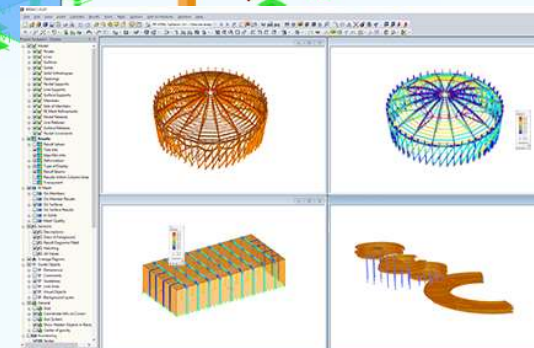
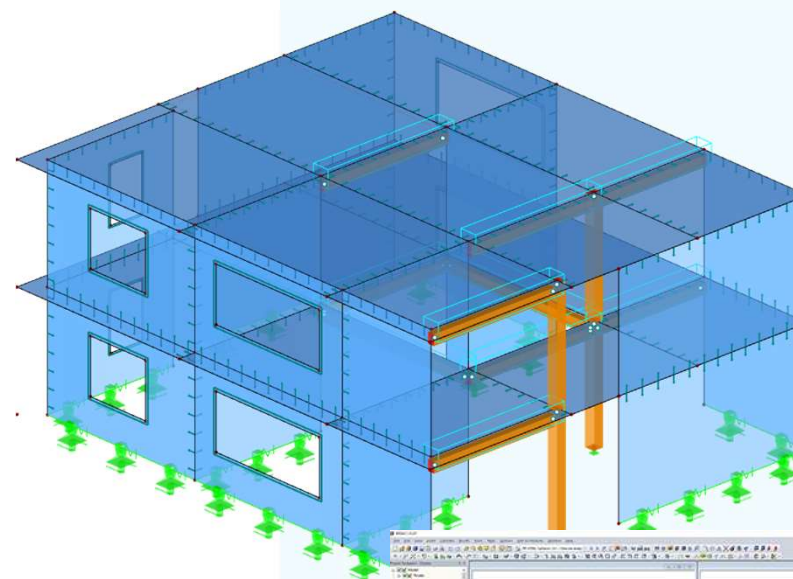
Eurocódigo 5

Estructuras de madera
según EN 1995-1-1



CONTENIDO

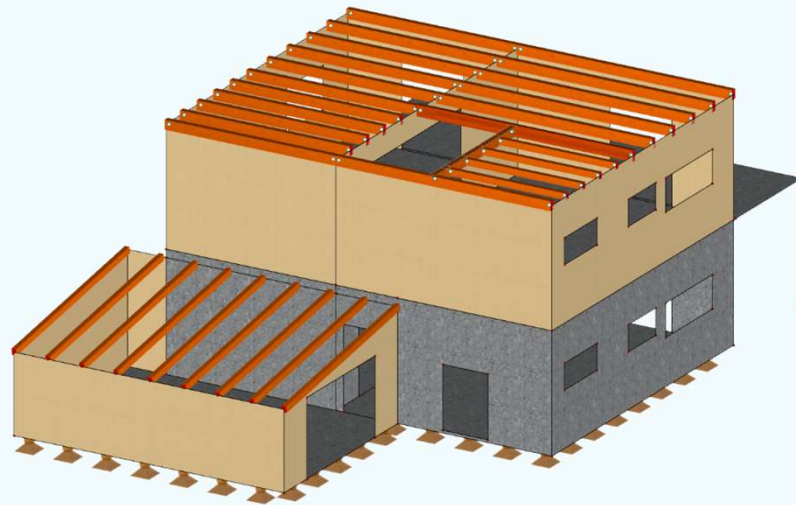
- 01 Normativa
- 02 Estructuras de madera – General
- 03 Modelos materiales
- 04 Análisis de estructuras
- 05 Estabilidad
- 06 Conectores
- 07 Modelado 2D/3D





— Set of Standards for Eurocode 5 (EC 5)

- **EN 1995-1-1** | Reglas generales y especificaciones para edificios
- **EN 1995-1-2** | Diseño estructural frente a fuego
- **EN 1995-2** | Puentes



**Estructuras
de madera**





Estados límite

Estado Límite Último (ELU)

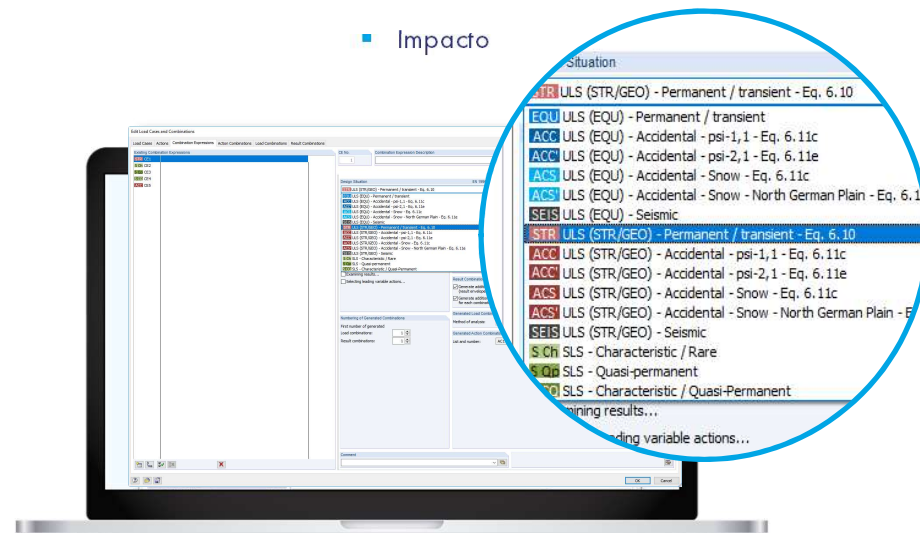
- Situación de peligro de la seguridad de personas humanas
- Resistencia
- Estabilidad
- Equilibrio

Estado Límite Servicio (ELS)

- Deformaciones
- Vibraciones $f < 5$ Hz
- Fatiga

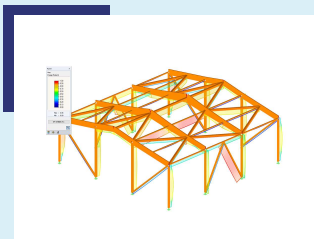
Situación accidental

- Resistencia a fuego
- Sismo
- Impacto



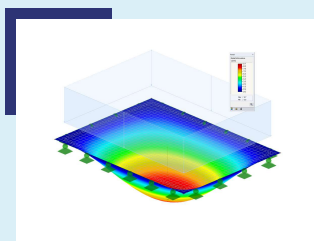


— Productos para el diseño según EC-5



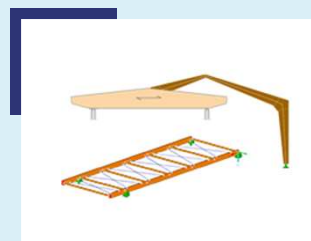
RF-/TIMBER Pro

- Módulo adicional | RFEM/RSTAB
- Diseño de elementos 1D tipo barras y conjuntos



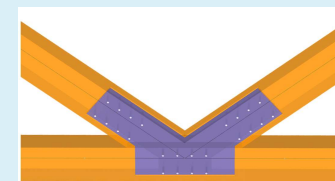
RF-LAMINATE

- Módulo adicional | RFEM
- Diseño de superficies de madera contralaminada



RX-TIMBER

- Módulos independientes
- Madera laminada encolada, frame, correas, entramado, viga continua, cubierta



RF-JOINTS Timber

- Módulos adicionales | RFEM/RSTAB
- Acero con madera
- Madera con madera

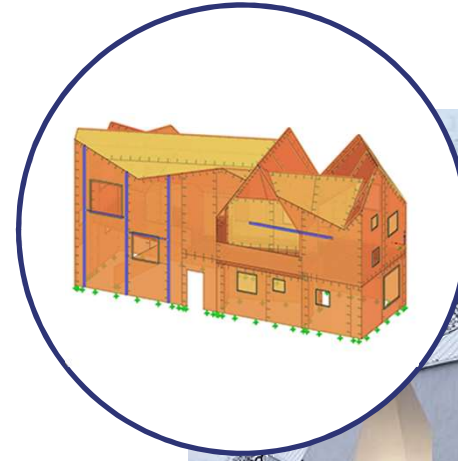


Más información:
www.dlubal.com

— Proyectos de clientes



▲ G3 Shopping Resort in Gerasdorf, Austria (© Graf-Holztechnik GmbH)



▲ Wood Carving Workshop in Val Gardena, Italy (© LignoSystem)

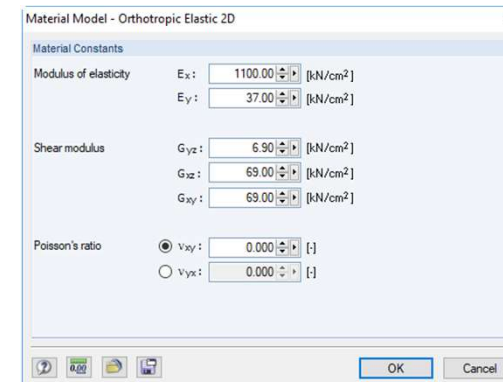
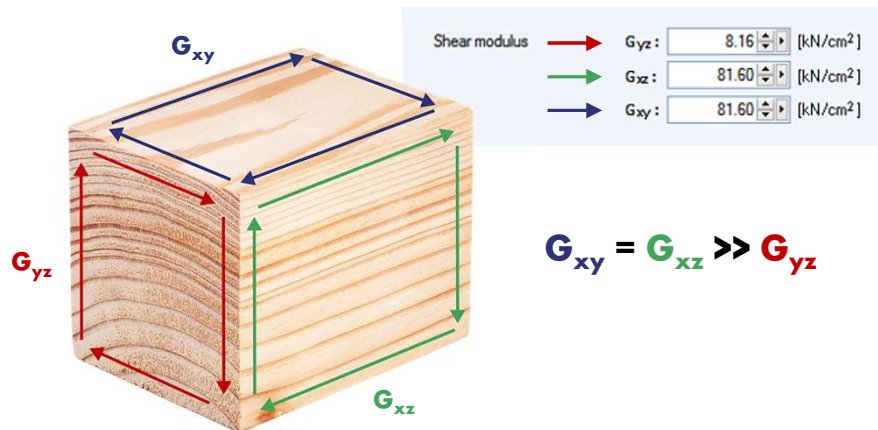


▲ Haus Gables in Atlanta, GA USA (© Bensonwood)



— Propiedades del material

- Defectos por nodos o ramas → propiedades mecánicas difusas
- Comportamiento ortótropo, retracción irregular, radial, axial, tangencial
- Comportamiento húmedo (retracción, hinchamiento), peso específico con 12% humedad de madera



Fluencia en la madera

- Característica - Integridad

$$\sum_{j \geq 1} G_{k,j} k_{\text{def}} + P + Q_{k,1} + Q_{k,1} \psi_{2,1} k_{\text{def}} + \sum_{i > 1} Q_{k,i} \psi_{0,i} + \sum_{i > 1} Q_{k,i} \psi_{0,i} \psi_{2,i} k_{\text{def}}$$

- Frecuente (sólo variables) - Confort

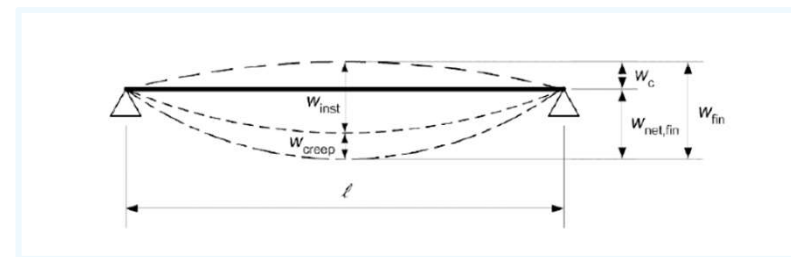
$$Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \psi_{0,i} Q_{k,i}$$

- Cuasipermanente - Apariencia

$$\sum_{j \geq 1} G_{k,j} (1 + k_{\text{def}}) + P + \sum_{i \geq 1} \psi_{2,i} Q_{k,i} (1 + k_{\text{def}})$$



Estructura con
varias capas. ▲

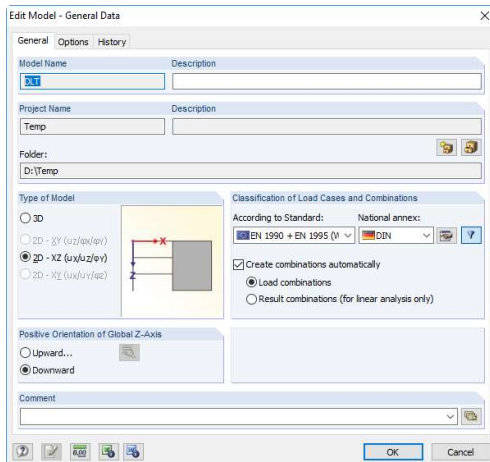


Fuentes deformaciones EN 1995-1-1 ▲

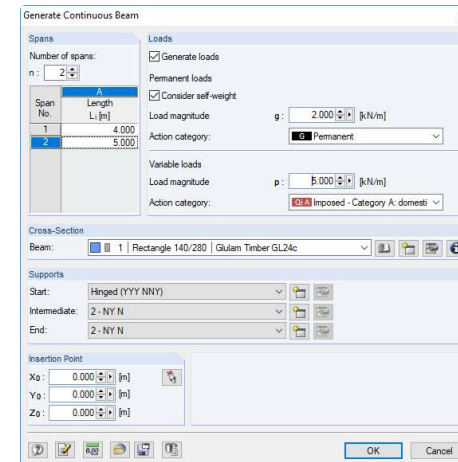


— Ejemplo: Estructura viga continua

Editar Modelo – Datos Generales



Generación de viga continua

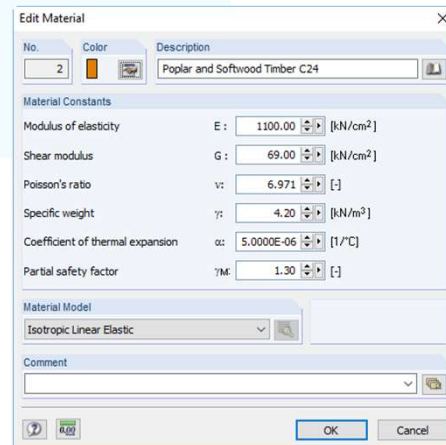




— Coeficiente de poisson

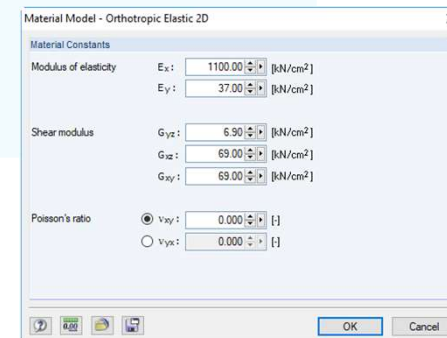
Isótropo (-1 to 0.5)

$$\nu = \frac{E}{2G} - 1 \leq 0.5$$



Ortótropo (-5.45 to 5.45)

$$\frac{\nu_{yx}}{E_y} = \frac{\nu_{xy}}{E_x}$$





— Ejemplo (ir a programa)

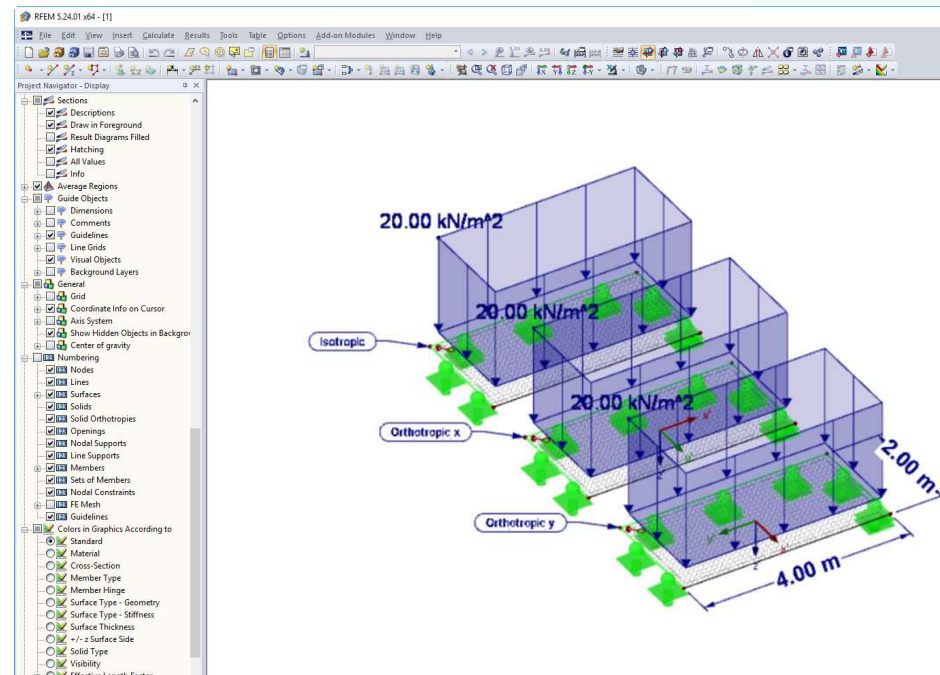
1

Deformación transversal

$$v = \left(\sqrt{E_x \cdot E_y} \right) / (2G) - 1 = 6.97$$

$$v_{xy} = \left(\frac{\sqrt{1100 \cdot 37}}{2 \cdot 69} - 1 \right) \sqrt{\frac{1100}{37}} = 2.52$$

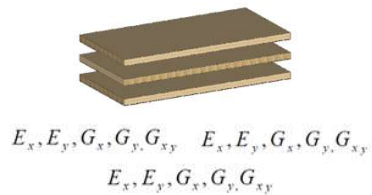
$$v_{xy} = \left(\frac{\sqrt{1100 \cdot 37}}{2 \cdot 69} - 1 \right) \sqrt{\frac{37}{1100}} = 0.085$$



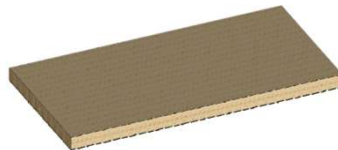


— Teoría de superficie laminada multicapa

1. Rígidez por capa

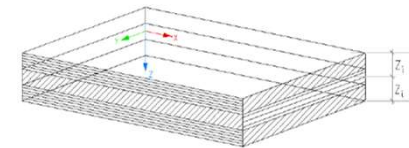


2. Matriz de rigidez global

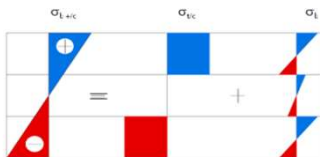


3. Exportación de rigidez

$$D_{11} = \sum_{i=1}^n \frac{z_{i,max}^3 - z_{i,min}^3}{3} d_{i,11}$$



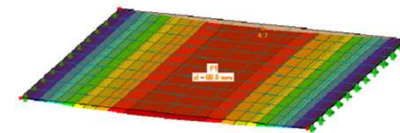
6. Diseño a nivel tensional



5. Reparte la rigidez por capa

$$\varepsilon(z) = \begin{Bmatrix} \varepsilon_x \\ \varepsilon_y \\ \gamma_{xy} \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} \frac{\partial u}{\partial x} \\ \frac{\partial v}{\partial y} \\ \frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} \end{Bmatrix} + z \begin{Bmatrix} \frac{\partial \varphi_y}{\partial x} \\ -\frac{\partial \varphi_x}{\partial y} \\ \frac{\partial \varphi_y}{\partial y} - \frac{\partial \varphi_x}{\partial x} \end{Bmatrix}$$

4. Deformaciones y esfuerzos internos

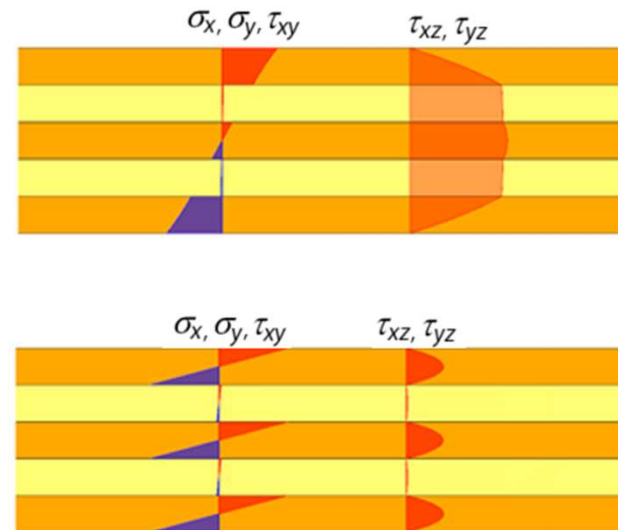




— Acoplamiento a corte (Ejemplo 3)

Sin cola en los lados estrechos

- $E_y = 0$
- Reducción de la rigidez a torsion y a corte del panel de CLT (k_{33} y k_{88})





Factor de corrección a corte

k_{44} y k_{55} factor de corrección a corte

- Cálculo de la corrección de corte según las reglas generales [Schickhofer et al. (2010)]

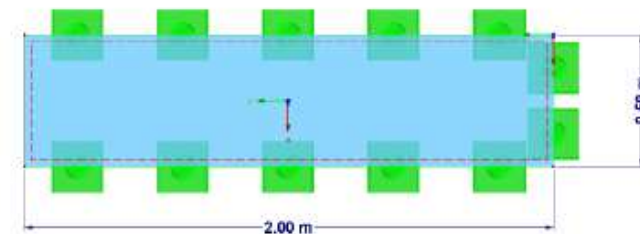
$$D_{44} = \frac{\sum_i G_{xz,i} \cdot A_i}{k_x} \quad D_{55} = \frac{\sum_i G_{yz,i} \cdot A_i}{k_y}$$

$$K = \frac{1}{K_z}$$

$$K_z = \frac{\Sigma G \cdot A}{(E \cdot I_{y,net})^2} \cdot \int_h \frac{[E(z) \cdot \int A \cdot z \, dz]^2}{G(z) \cdot b} \, dz$$



Plate being extremely narrow on the right ▲



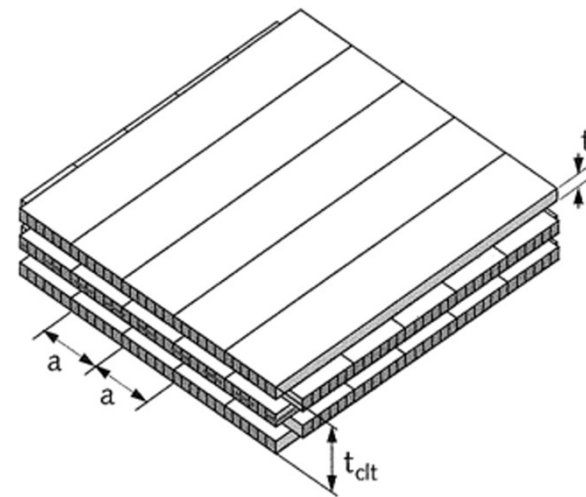


Factores reductores (Torsion y Membrana rasante)

k_{33} y k_{88} factores reductores de rigidez para madera contralaminada sin cola en lados estrechos

Determinación del factor reductor por rigidez torsional D_{33} y rigidez a corte D_{88} de madera contralaminada

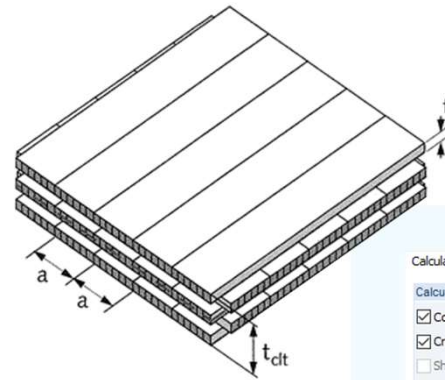
t_{CLT}	= 90 mm	- espesor total
n	= 5	- número de capas
a	= 80 mm	- ancho de tabla
t_i	= 18 mm	- espesor medio de tabla





Factores reductores (Torsion y Membrana rasante)

	Número de capas		
	3	5	7
p_D	0.89	0.67	0.55
q_D	1.33	1.26	1.23
p_S	0.53	0.43	0.43
q_S	1.21	1.21	1.21



$$K_{88} = \frac{1}{1 + 6 \cdot p_S \cdot \left(\frac{t_i}{a}\right)^{q_S}} = \mathbf{0.702}$$

$$K_{33} = \frac{1}{1 + 6 \cdot p_D \cdot \left(\frac{t_i}{a}\right)^{q_D}} = \mathbf{0.620}$$

Calculation / Modeling

Calculation Options

- ☒ Consider coupling
- ☒ Cross laminated timber without glue at narrow sides
- ☐ Shear failure in glued contact surface

Plank width

b : [mm]

Stiffness Reduction Factors

For torsional stiffness elements

k₃₃ : [-]

For shear stiffness elements

k₄₄ : [-]

k₅₅ : [-]

For membrane stiffness elements

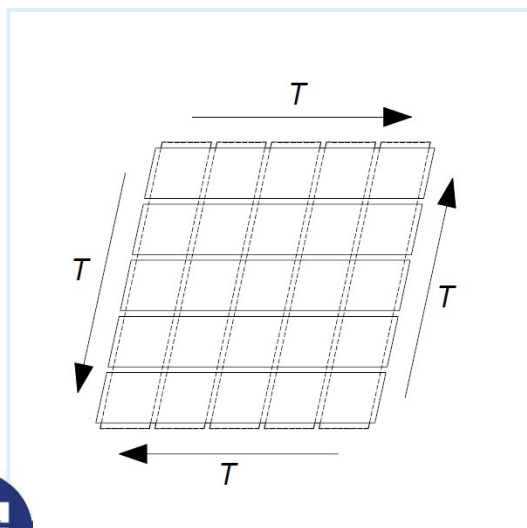
k₈₈ : [-]



— Membrana rasante en el plano

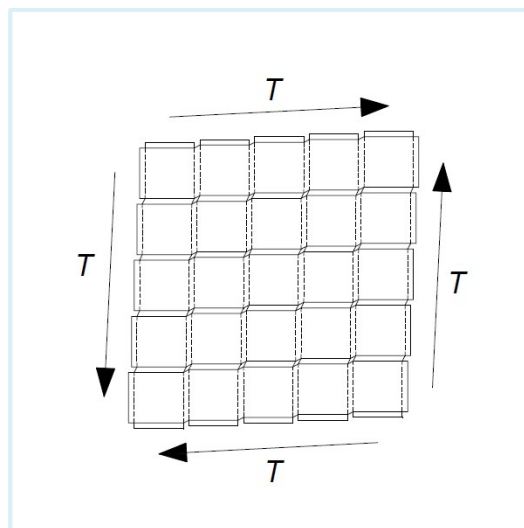
Mecanismo de fallo 1

(Fallo por corte | Sección bruta)



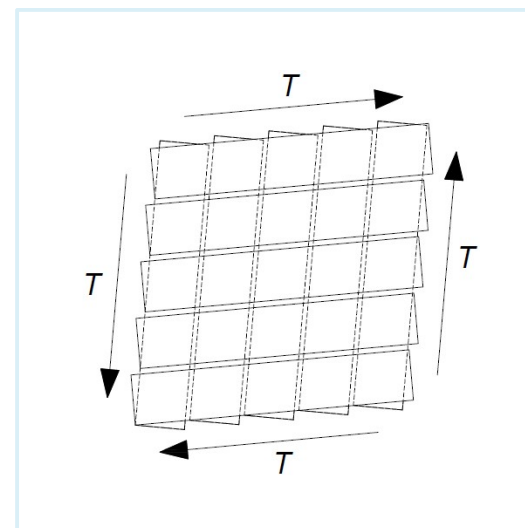
Mecanismo de fallo 2

(Fallo por corte | Sección neta)



Mecanismo de fallo 3

(Fallo por corte | Superficies encoladas)



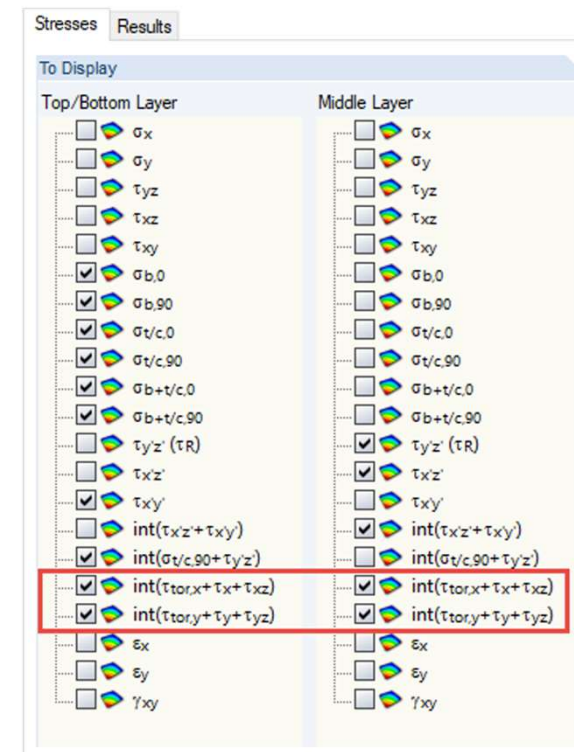


— Membrana rasante en el plano

- Mecanismo de fallo 2 y 3 para madera contralaminada no encolada en lados estrechos.
- Tamaño de malla EF = ancho de panel (b)

$$\eta = \frac{\tau_{tor,x}}{f_{v,tor}} + \frac{\tau_x + \tau_{xz}}{f_R} = \frac{3 \cdot n_{xy}}{b(n-1)} + \frac{\frac{\delta n_x}{\delta x}}{n-1} + \tau_{xz} \leq 1$$

$$\eta = \frac{\tau_{tor,y}}{f_{v,tor}} + \frac{\tau_y + \tau_{yz}}{f_R} = \frac{3 \cdot n_{xy}}{b(n-1)} + \frac{\frac{\delta n_y}{\delta y}}{n-1} + \tau_{yz} \leq 1$$



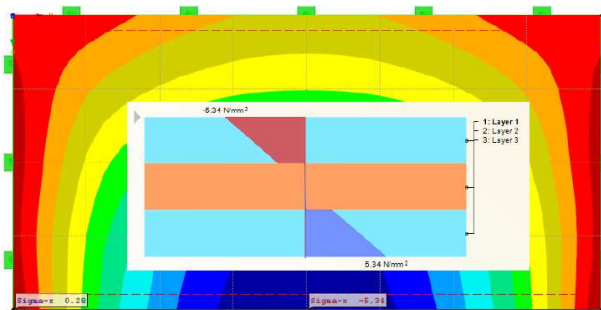


Flexión

Superficie

$$\varepsilon_x = \left(\frac{\delta_u}{\delta_x} \right) + \left(\frac{\delta_{\varphi_v}}{\delta_x} \right) \cdot z$$

$$\sigma_x = d_{11} \cdot \varepsilon_x = 11000 \text{ N/mm}^2 \cdot 0.0004855 = 5.34 \text{ N/mm}^2$$

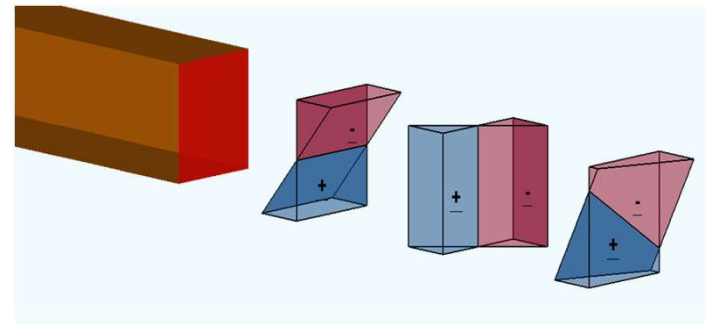


Bending σ_x ▲

Barra

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

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

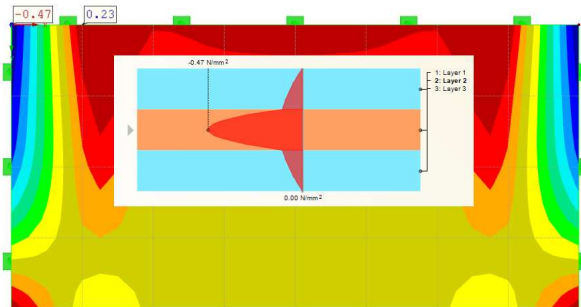




Corte

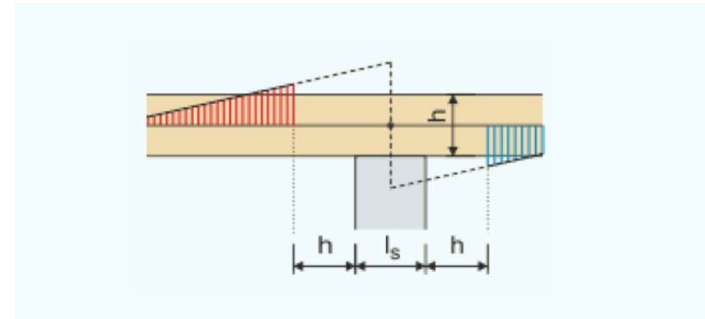
Superficie

$$\tau_{yz} = \frac{v_y}{b} \cdot \frac{I_0 \cdot \int_z^{t/2} E_y(\bar{z}) d\bar{z} - I_1 \cdot \int_z^{t/2} E_y(\bar{z}) d\bar{z}}{I_0 \cdot I_2 - I_1^2}$$



Barra

$$\tau_d = 1.5 \cdot \frac{V_d}{(k_{cr} \cdot b) \cdot h} \leq f_{v,d}$$

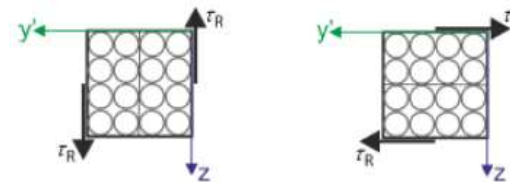
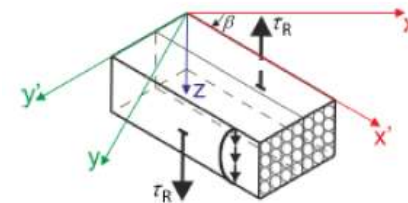
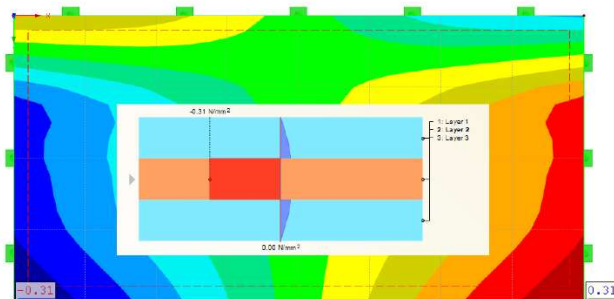




Corte de rodadura

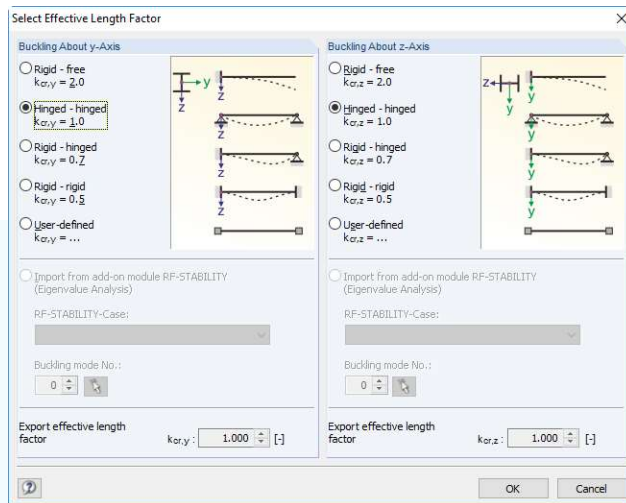
Superficies

$$\tau_r = -\tau_{xz} \cdot \sin(90^\circ) = -0.31 \text{ N/mm}^2$$

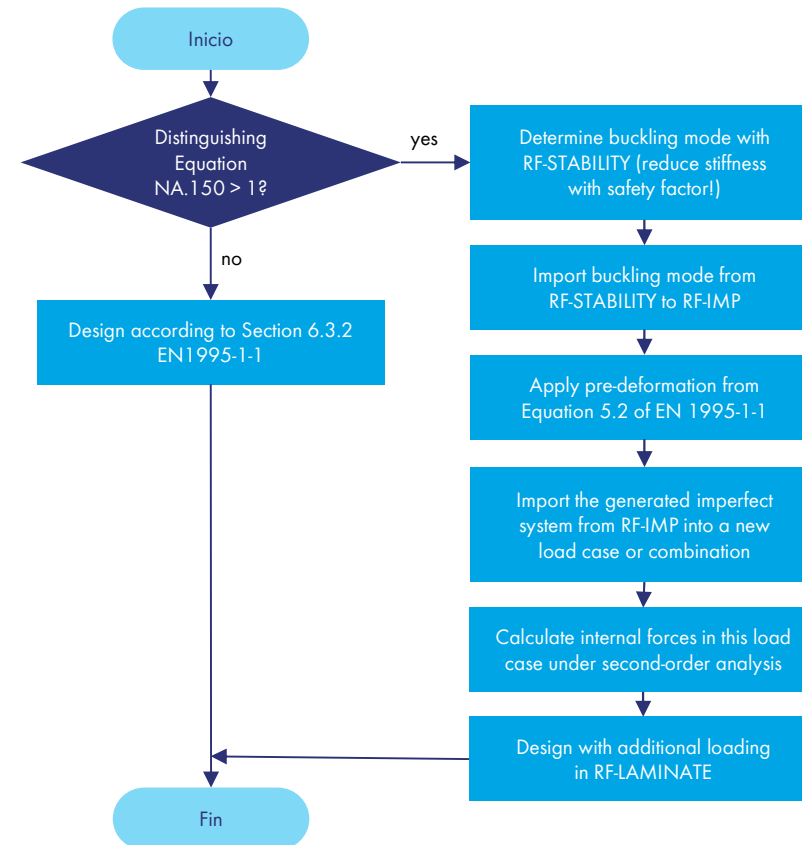




— Diseño a estabilidad



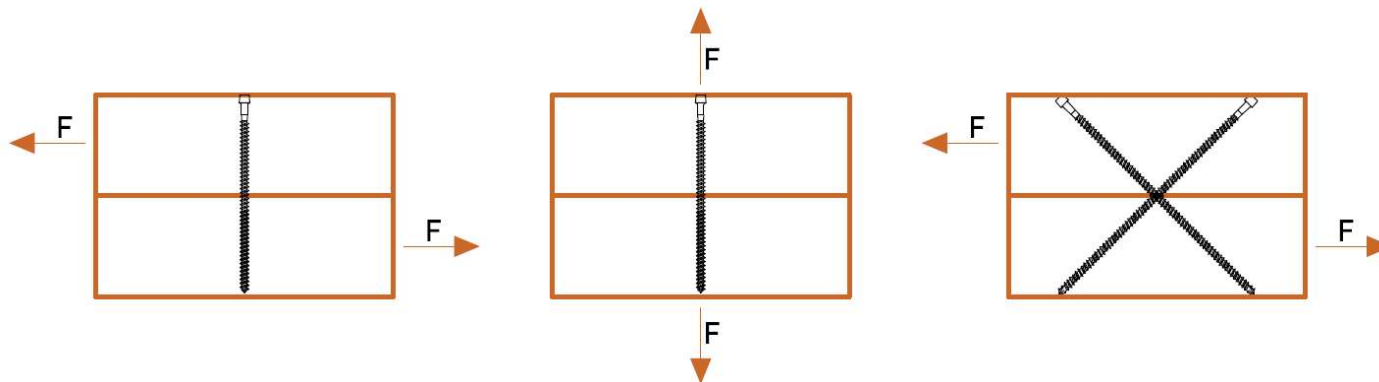
Selección de longitudes eficaces. ▲





— Módulo deslizamiento

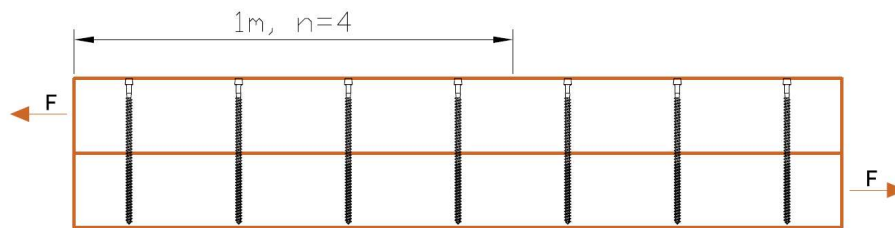
K_{ser} → EN 1995-1-1 Table 7.1





Uniones a deslizamiento

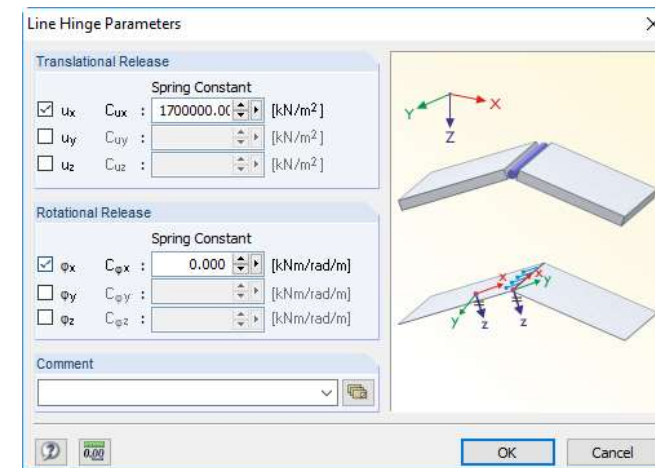
$$K_u = \frac{2}{3} \cdot K_{ser} \quad K_d = \frac{K_u}{\gamma_M}$$



Organización paralela de muelles

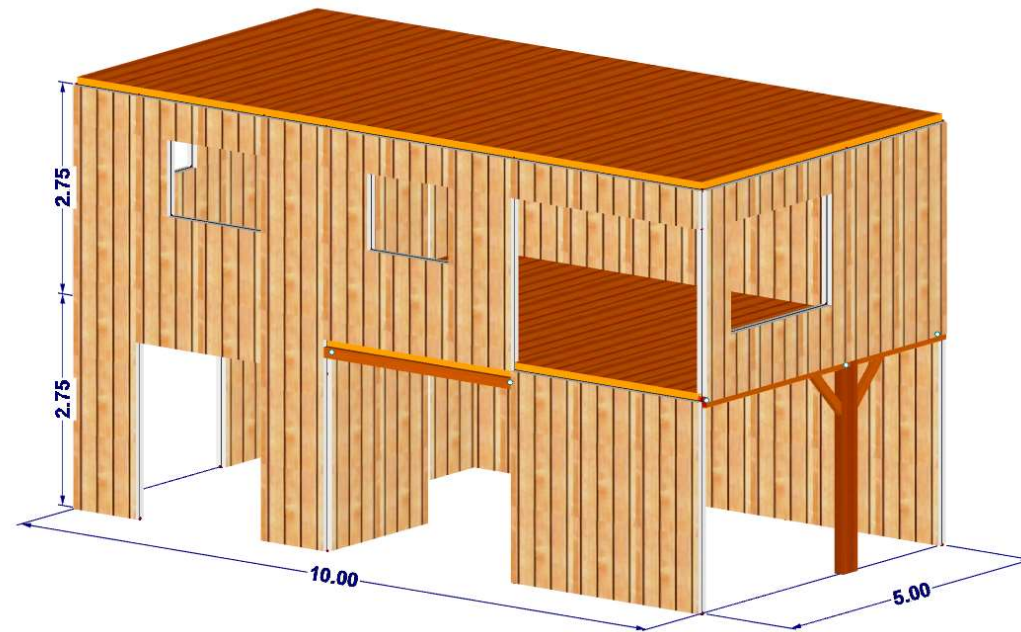
$$C_{ges} = \sum_{i=1}^n D_i \quad C_{u,ser} = K_{ser} \cdot n_{por \text{ metro}}$$

$$C_{u,d} = K_d \cdot n_{por \text{ metro}}$$





— Modelado Espacial





— Rigidez de los muros

Table 4.1

Wall		C	
1	5 m	3.33 kN/mm	0.67 N/mm ²
2	2 m	2.5 kN/mm	1.25 N/mm ²
3	1 m	0.714 kN/mm	0.714 N/mm ²
4	5 m	5 kN/mm	1.0 N/mm ²
5	10 m	3.33 kN/mm	0.33 N/mm ²
6	10 m	10 kN/mm	10 N/mm ²

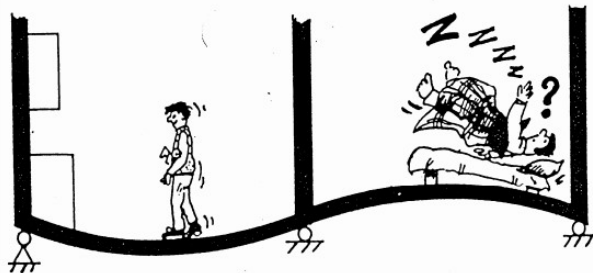
$$C = \frac{F}{U} \cdot K_{\text{ser}}$$

$$c = \frac{F}{I} \cdot C$$





— Normativa CTE



7.3 Vibraciones

7.3.1 Generalidades

- 1 En las estructuras convencionales, y si se cumplen las condiciones de rigidez bajo carga estática establecidas en el CTE, no será necesario considerar en el análisis el estado límite de vibración.
- 2 Para el análisis se emplearán los valores medios de las propiedades de rigidez.

4.3.3.1 Flechas

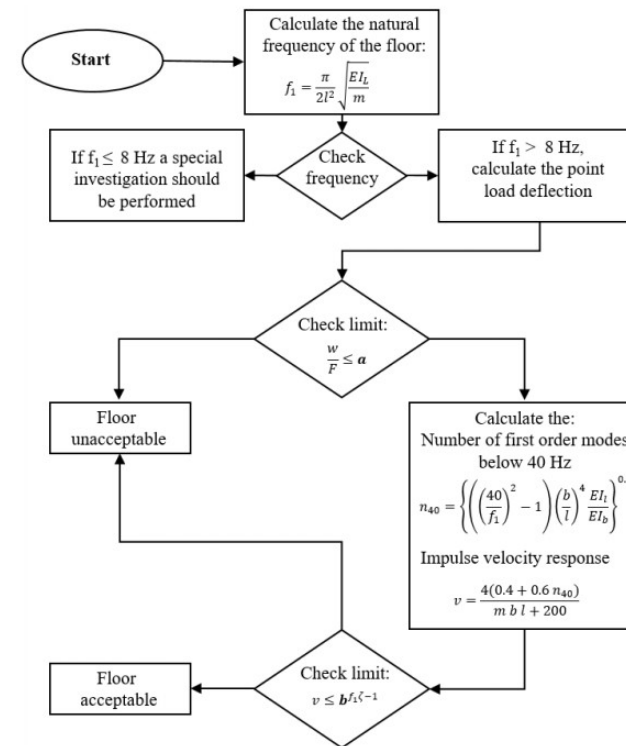
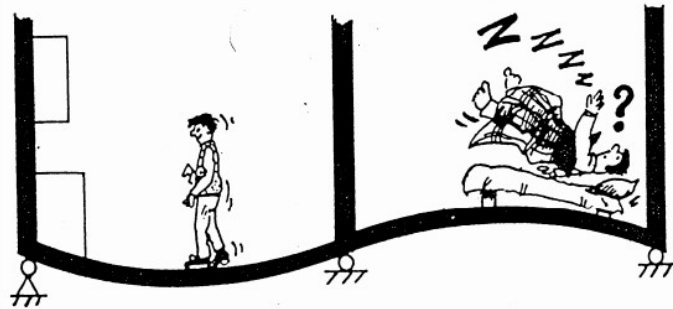
- 2 Cuando se considere el confort de los usuarios, se admite que la estructura horizontal de un piso o cubierta es suficientemente rígida si, para cualquiera de sus piezas, ante cualquier combinación de acciones característica, considerando solamente las acciones de corta duración, la flecha relativa, es menor que $1/350$.

4.3.4 Vibraciones

- 1 Un edificio se comporta adecuadamente ante vibraciones debidas a acciones dinámicas, si la frecuencia de la acción dinámica (frecuencia de excitación) se aparta suficientemente de sus frecuencias propias.
- 2 En el cálculo de la frecuencia propia se tendrán en cuenta las posibles contribuciones de los cerramientos, separaciones, tabiquerías, revestimientos, solados y otros elementos constructivos, así como la influencia de la variación del módulo de elasticidad y, en el caso de los elementos de hormigón, la de la fisuración.
- 3 Si las vibraciones pueden producir el colapso de la estructura portante (por ejemplo debido a fenómenos de resonancia, o a la pérdida de la resistencia por fatiga) se tendrá en cuenta en la verificación de la capacidad portante, tal como se establece en el DB respectivo.
- 4 Se admite que una planta de piso susceptible de sufrir vibraciones por efecto rítmico de las personas, es suficientemente rígida, si la frecuencia propia es mayor de:
 - a) 8 Hz, en gimnasios y polideportivos;
 - b) 7Hz en salas de fiesta y locales de pública concurrencia sin asientos fijos;
 - c) 3,4 Hz en locales de espectáculos con asientos fijos.

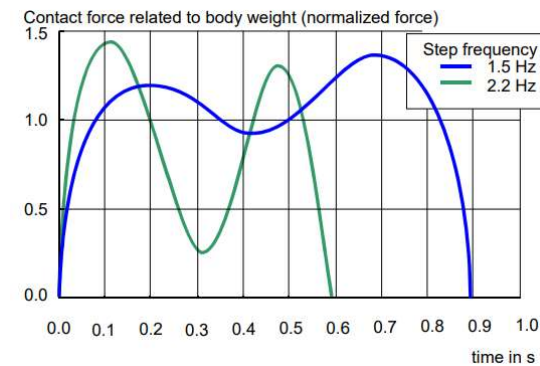
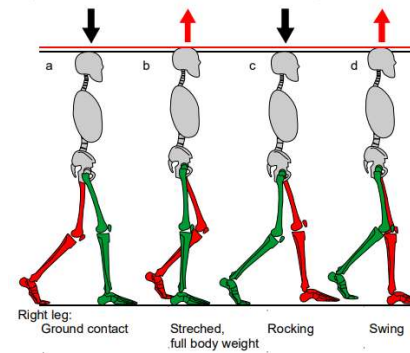
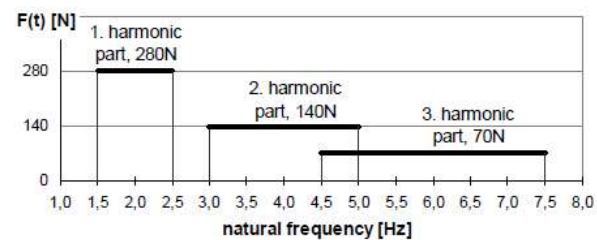


— Normativa Eurocódigo



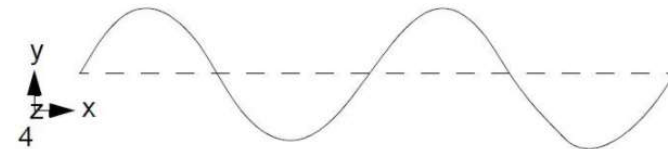
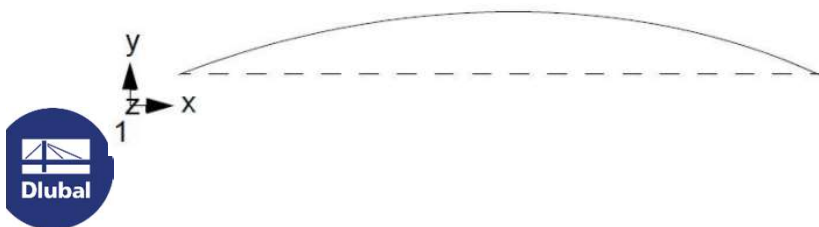
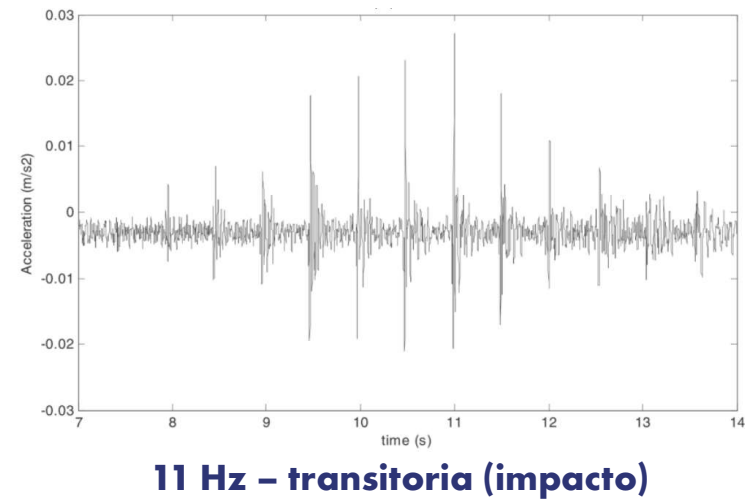
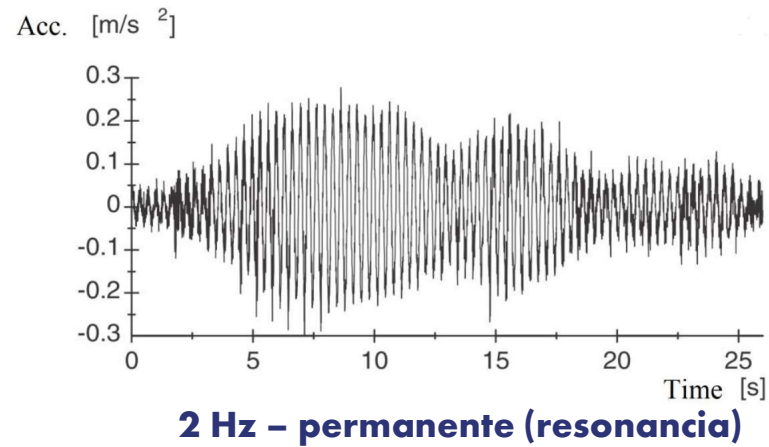


Comportamiento a paso humano





Comportamiento a paso humano

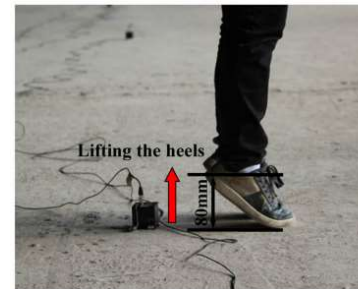
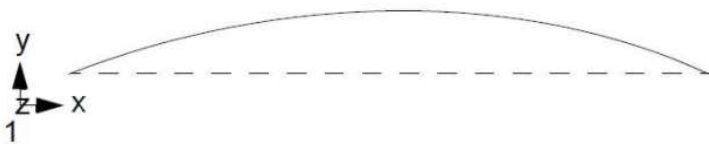




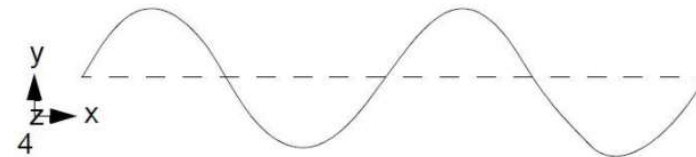
Comportamiento a paso humano



permanente (resonancia)
modos desde 2 Hz a 8 Hz

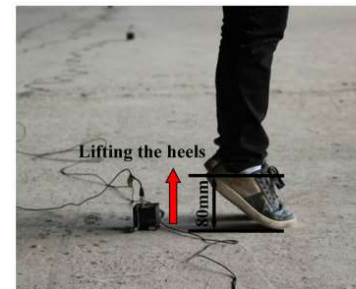
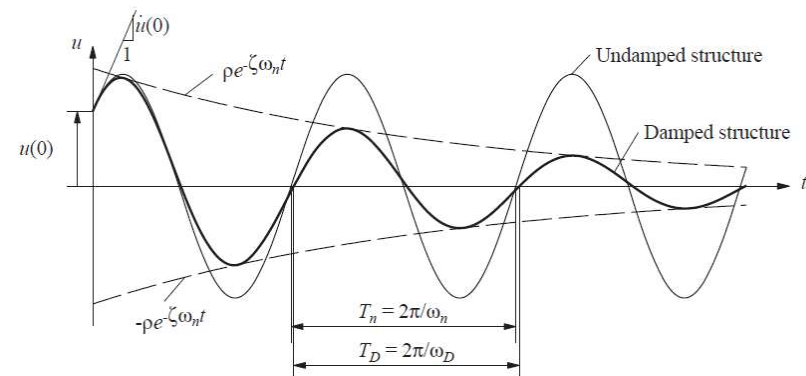
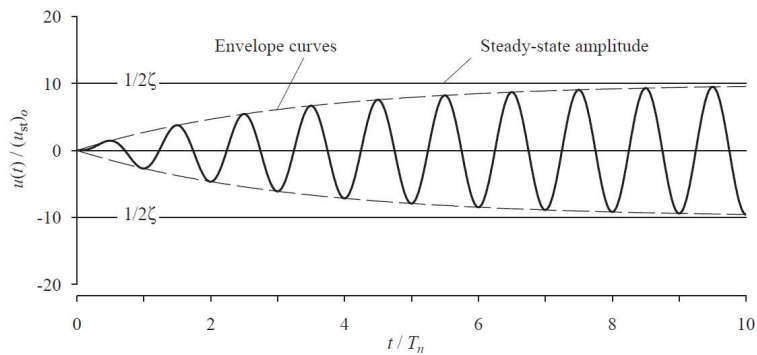


transitoria (impacto)
modos desde 8 Hz a 40 Hz



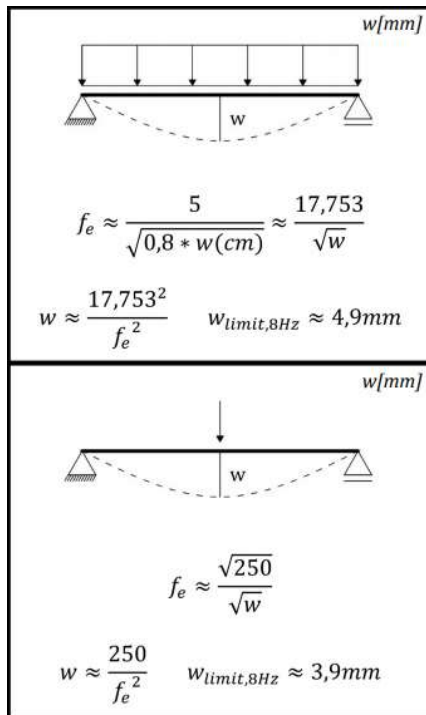


Comportamiento a paso humano





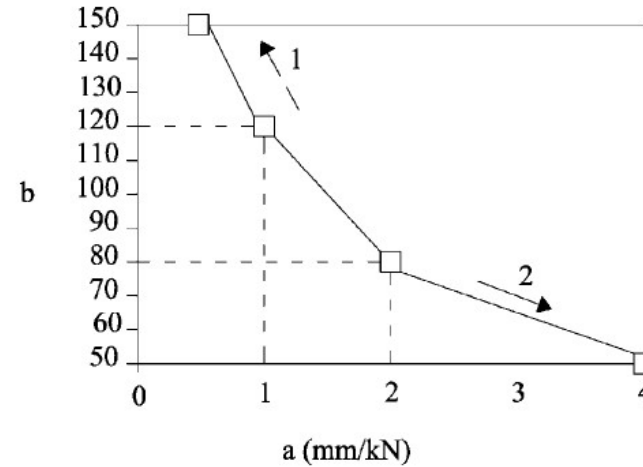
— Normativa Eurocódigo



$$f_{e1} \geq 8 \text{ Hz} \quad (1)$$

$$\frac{w}{F} \leq a \quad [mm / kN] \quad (2)$$

$$v \leq b^{(f_{e1} \cdot D - 1)} \quad [m / (Ns^2)] \quad (3)$$





Comportamiento a paso humano

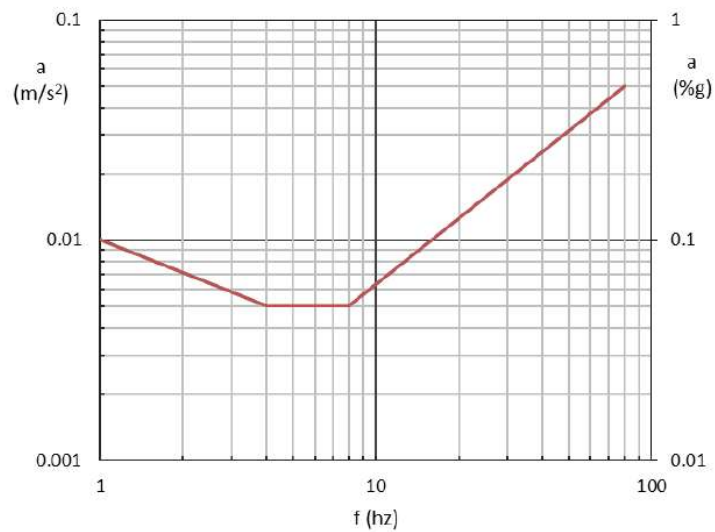
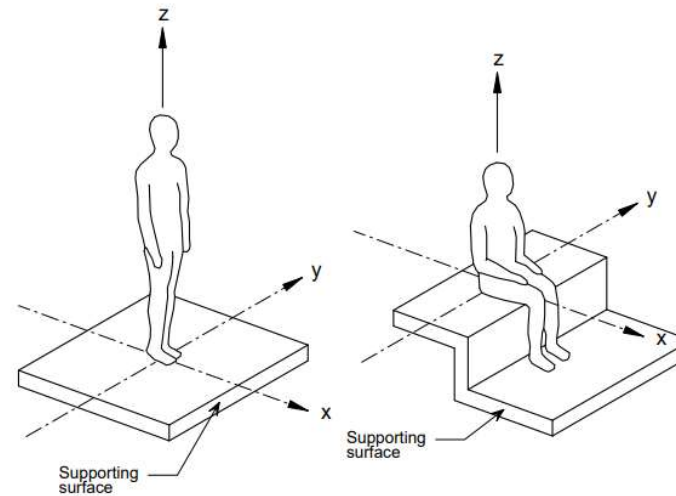


Figure 2-4: ISO 10137 limit of perception of z axis RMS acceleration





www.dlubal.com