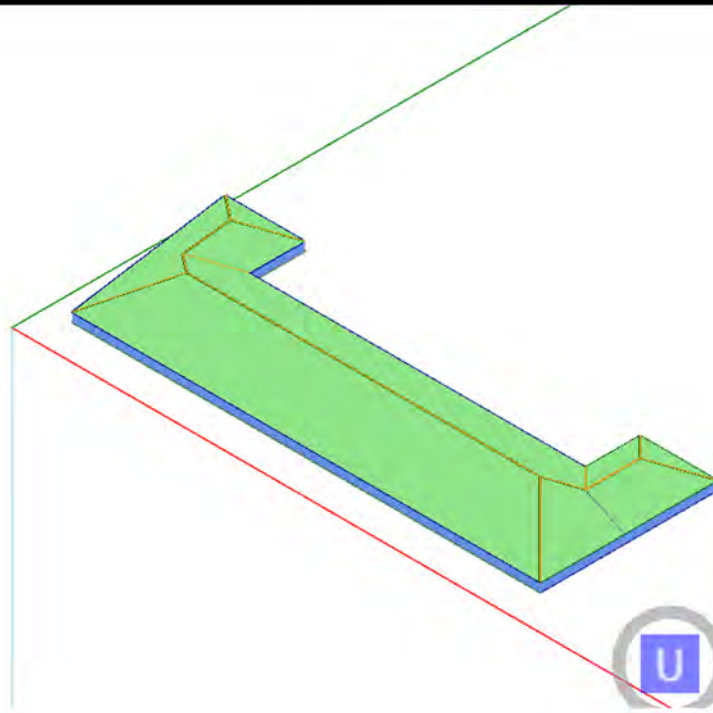


INFORME Y MEMORIA DE CÁLCULO

Diseño de estructuras de madera



Proyecto: Cubierta Colegio

Ubicación: C/ Las escuelas 5 , Pitillas

Cliente: Ayuntamiento de Pitillas

Empresa constructora:

Estructurista: Jose Luis Iriguibel

Fecha: miércoles, marzo de 2026

Códigos y normas de diseño

Los análisis estructurales aquí mostrados se realizan de acuerdo con la normativa vigente CTE DB-SE-M 2019 y compatible con las normativas europeas recogidas en los Eurocodes.

1. EN 1990 – Eurocódigo 0

Bases de diseño estructural

2. EN 1993-1-1 – Eurocódigo 3

Diseño de estructuras de acero - Parte 1-1: Normas generales y normas para edificios

3. EN 1993-1-5 – Eurocódigo 3

Diseño de estructuras de acero - Parte 1-5: Elementos estructurales placa

4. EN 1993-1-8 – Eurocódigo 3

Diseño de estructuras de acero - Parte 1-8: Diseño de uniones

5. EN 1995-1-1 – Eurocódigo 5

Diseño de estructuras de madera - Part 1-1: General – Reglas generales y reglas para edificios

6. EN 1995-1-2 – Eurocódigo 5

Proyecto de estructuras de madera. Parte 1-2: Reglas generales. Proyecto de estructuras sometidas al fuego

7. EN 1998-1-1 – Eurocódigo 8

Diseño de estructuras sismo resistentes - Part 1: Reglas generales, acciones sísmicas y reglas para edificios

8. EN 338

Madera estructural – Clases resistentes

9. EN 14080

Estructuras de madera – Madera laminada encolada y madera maciza encolada - Requerimientos

10. EN 10025

Aceros estructurales laminados en caliente

Descripción general del edificio

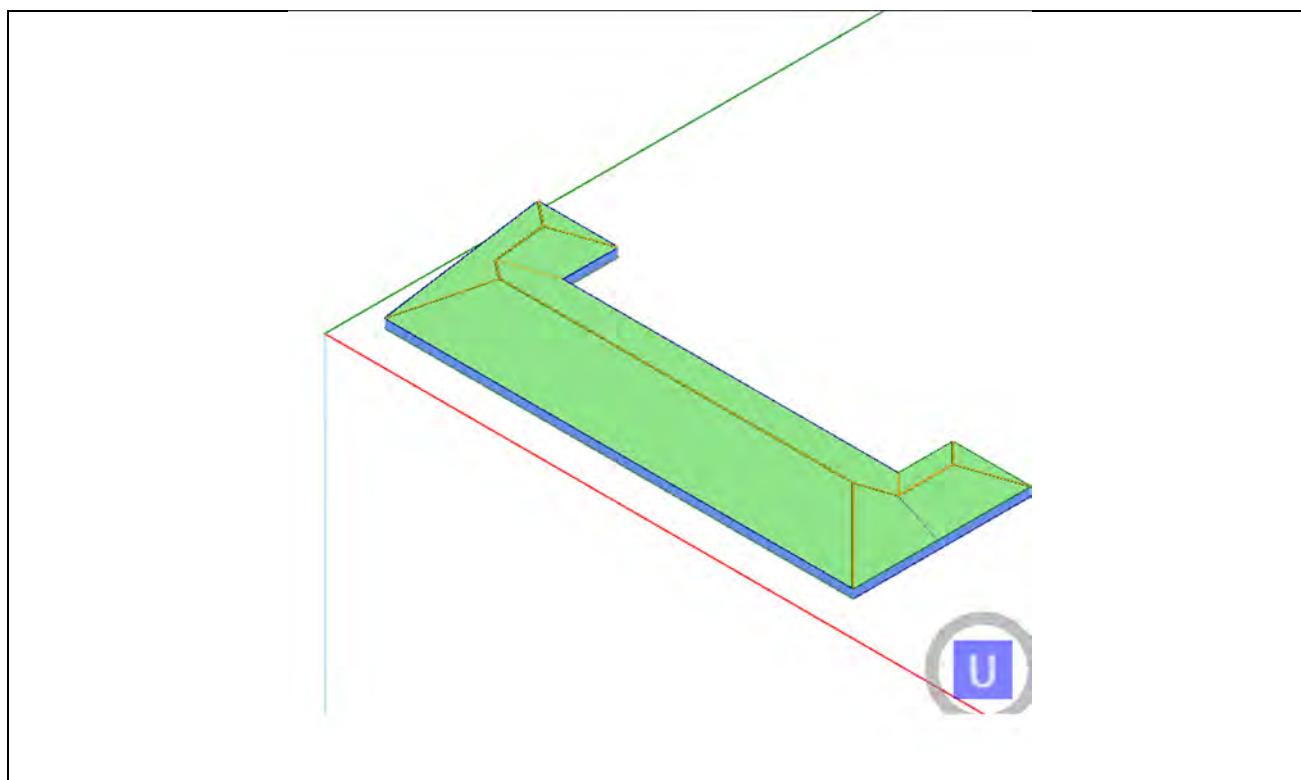
Ubicación

Dirección:

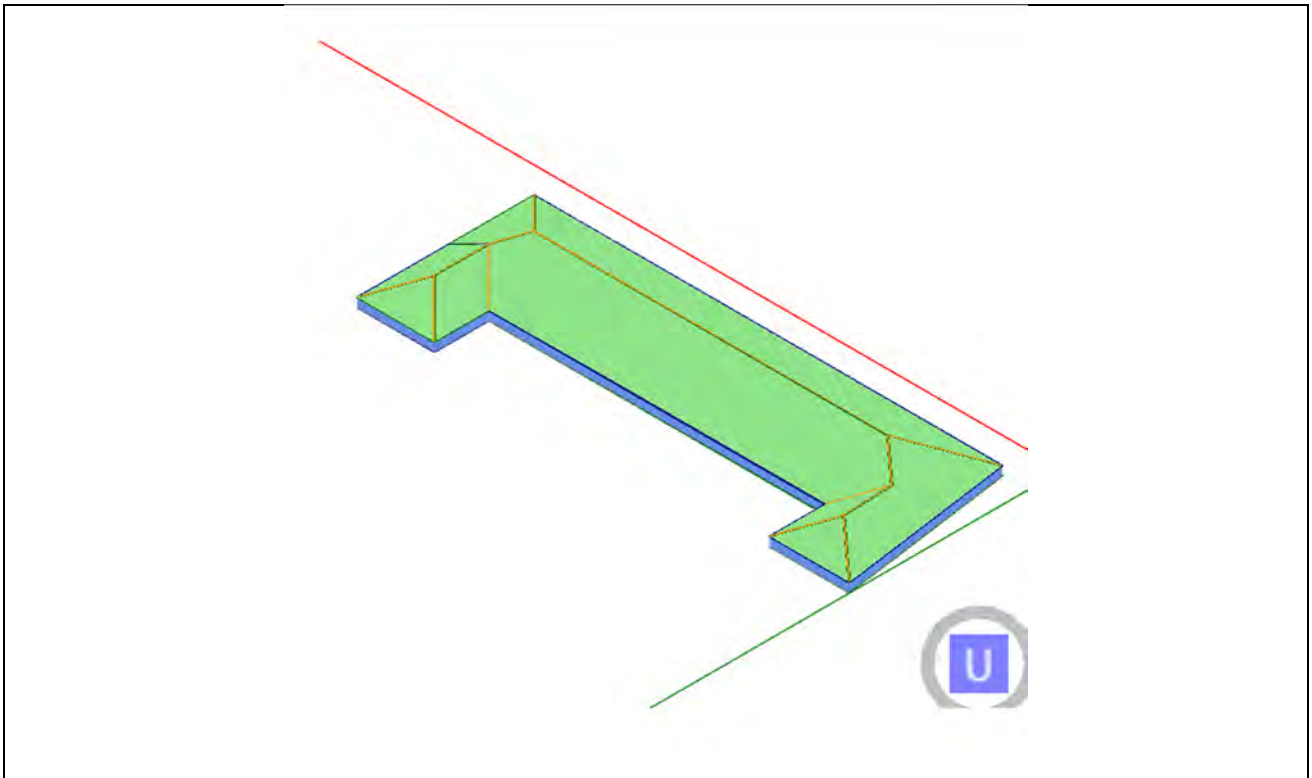
Descripción

Longitud del edificio:	10,3 m
Anchura del edificio:	28,58 m
Altura del edificio:	9.88 m

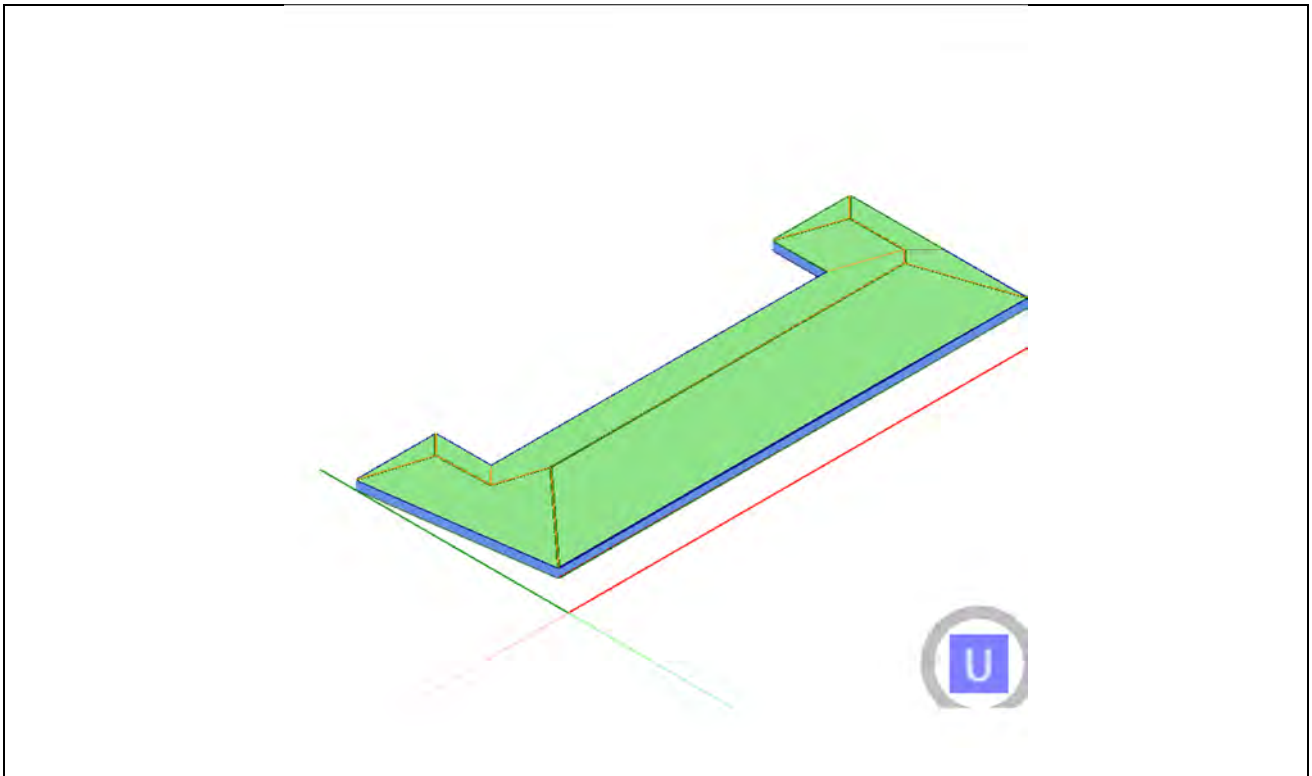
Vista tridimensional Sudeste



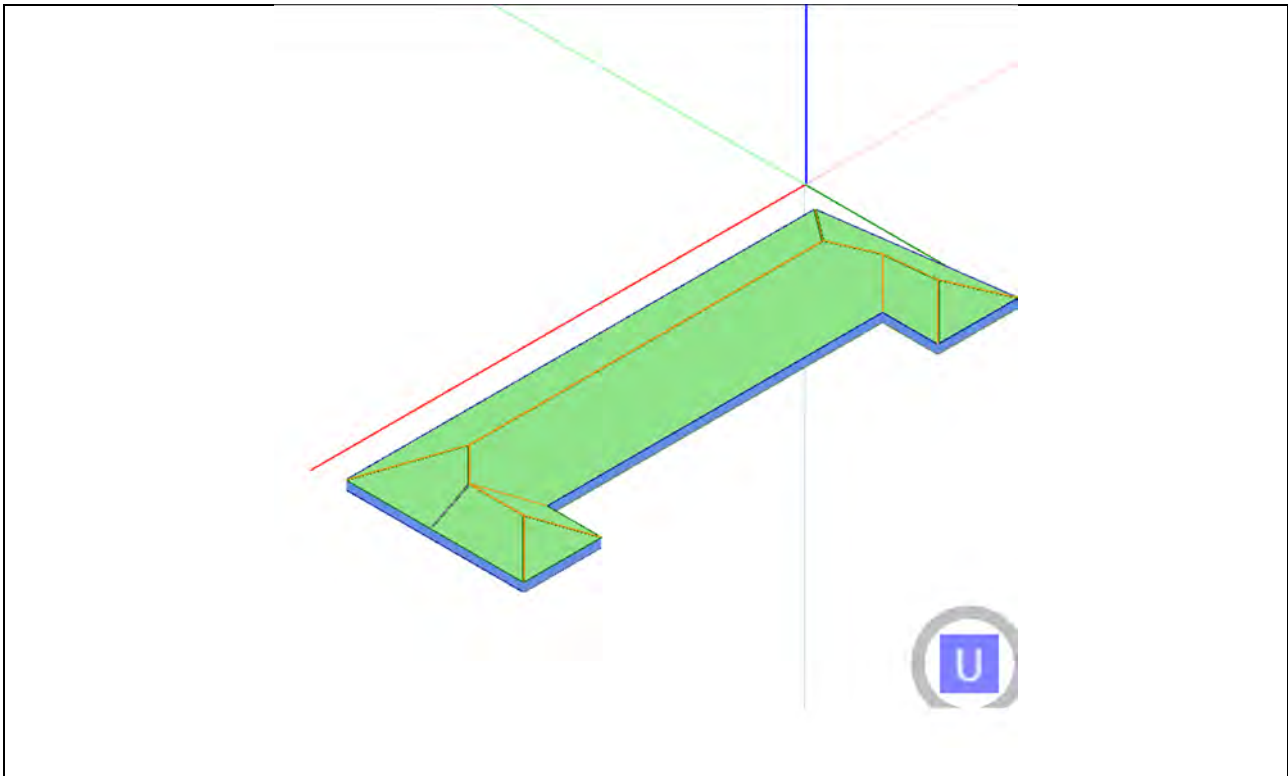
Vista tridimensional Noroeste



Vista tridimensional Suroeste



Vista tridimensional Noreste



Software de cálculo utilizado

Características del Software de cálculo

El software de cálculo utilizado es *TimberTech Buildings*, desarrollado por Timber Tech srl, StartUp de la Universidad de Trento (Italia).

Especificaciones técnicas

Nombre: Timber Tech Buildings

Desarrollador: Timber Tech srl
Via della Villa, 22/A
I-38123 – Villazzano – Trento (TN) – Italy

Versión: 109

Titular de la licencia:

Licencia registrada a nombre de JOSE LUIS IRIGUIBEL
Número de licencia: 3442
Fecha de vencimiento de la actualización: 12/05/2026

Materiales

Materiales de madera

Los materiales usados en el proyecto están listados en las tablas siguientes:

Descr.	Descripción
$f_{m,k}$	Resistencia característica a flexión
$f_{t,0,k}$	Resistencia característica a la tracción paralela a la fibra
$f_{t,90,k}$	Resistencia característica a la tracción perpendicular a la fibra
$f_{c,0,k}$	Resistencia de compresión característica paralela a la fibra
$f_{c,90,k}$	Resistencia de compresión característica perpendicular a la fibra
$f_{v,k}$	Resistencia característica a cortante
$E_{0,mean}$	Valor medio del módulo de elasticidad paralelo a la fibra
$E_{0,05}$	Valor del quinto percentil del módulo de elasticidad paralelo a la fibra
$E_{90,mean}$	Valor medio del módulo de elasticidad perpendicular a la fibra
G_{mean}	Valor medio del módulo cortante
ρ_k	Densidad característica
$f_{v,k,inplane}$	Fuerza cortante característica en el plano del panel CLT
$f_{R,k}$	Resistencia característica al cortante de rodadura
$f_{T,k}$	Resistencia a la torsión de las superficies de cruce.
$G_{R,mean}$	Valor medio del módulo de cizalladura

Madera laminada homogénea

Descr.	$f_{m,k}$ [MPa]	$f_{t,0,k}$ [MPa]	$f_{t,90,k}$ [MPa]	$f_{c,0,k}$ [MPa]	$f_{c,90,k}$ [MPa]	$f_{v,k}$ [MPa]	$E_{0,mean}$ [MPa]	$E_{0,05}$ [MPa]	$E_{90,mean}$ [MPa]	G_{mean} [MPa]	ρ_k [kg/m ³]
GL 24h - EN 14080	24	19,2	0,5	24	2,5	3,5	11500	9600	300	650	385

Madera de conífera

Descr.	$f_{m,k}$ [MPa]	$f_{t,0,k}$ [MPa]	$f_{t,90,k}$ [MPa]	$f_{c,0,k}$ [MPa]	$f_{c,90,k}$ [MPa]	$f_{v,k}$ [MPa]	$E_{0,mean}$ [MPa]	$E_{0,05}$ [MPa]	$E_{90,mean}$ [MPa]	G_{mean} [MPa]	ρ_k [kg/m ³]
C 24	24	14,5	0,4	21	2,5	4	11000	7400	370	690	350

Contralaminado (CLT)

Descr	$f_{m,k}$ [MPa]	$f_{t,0,k}$ [MPa]	$f_{t,90,k}$ [MPa]	$f_{c,0,k}$ [MPa]	$f_{c,90,k}$ [MPa]	$f_{v,k,plast}$ [MPa]	$f_{R,k}$ [MPa]	$f_{v,k,lastr}$ [MPa]	$f_{T,k}$ [MPa]	$E_{0,mean}$ [MPa]	$E_{0,05}$ [MPa]	$E_{90,mean}$ [MPa]	G_{mean} [MPa]	$G_{R,mean}$ [MPa]	ρ_k [kg/m ³]
C 24 XLAM	24	14,5	0,4	21	2,5	4	0,8	4	2,5	11000	7400	370	690	50	350

Anclajes a hormigón

Fabricante	Varilla métrica / norma anclaje	Descr. de varilla métrica / Norma anclaje	Norma para taco químico	Descr. del taco químico
Rotho Blaas	INA5816195	Threaded rod INA - 5.8 - M16 x 195	HYB420	Hybrid chemical anchor ETA-20/1285
Rotho Blaas	INA5812140	Threaded rod INA - 5.8 - M12 x 140	FIX420	Vinylester chemical anchor ETA-20/0363

Método de cálculo y modelo numérico

Descripción del modelo

Hipótesis adoptadas para los elementos

Los muros de madera están fijados en la base por medio de sistemas de conexión capaces de transmitir acciones tanto en el plano como fuera del propio plano del muro.

En análisis, en presencia de cargas horizontales, algunos elementos pueden considerarse como “secundarios”: Esto significa que su fuerza y rigidez no son tenidas en cuenta en el cálculo de la reacción del edificio. En el modelo, estos elementos son representados en términos de masa y son designados únicamente por cargas verticales.

Movimiento del cuerpo rígido – Fuerzas de retención / amarre

Los sistemas de retención o amarre son usados para prevenir la rotación del muro causada por el momento de vuelco generado por la fuerza horizontal. La sujeción, colocada sobre el borde del muro, en tensión, es definida por una fuerza igual a:

$$T = \begin{cases} \left(\frac{M_{3-3}}{b} - \frac{N}{2} \right) \cdot \frac{1}{n_{anc}} & \text{sujección activa} \\ 0 & \text{sujección inactiva} \end{cases}$$

donde:

b es el brazo de la palanca para el par interno;

N es la carga axial vertical en el muro;

M_{3-3} es el momento actuante en el plano del muro;

n_{anc} es el número de conexiones presentes en cada extremo del muro.

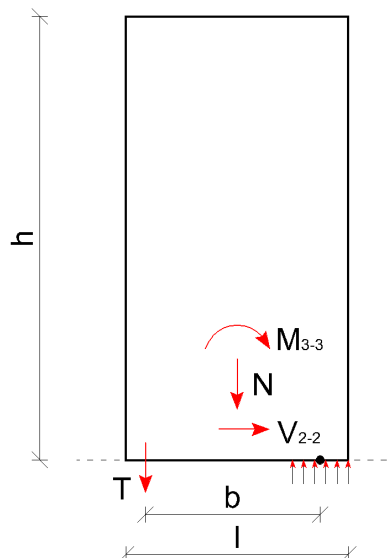


Figura: Modelo de cálculo de la fuerza de tensión actuante en la sujeción

Elementos estructurales

Tipos de elementos estructurales y criterio de signos

Elementos lineales

Los elementos lineales son usados para modelar vigas y columnas. Tienen un Sistema de referencia local con respecto al cual se muestran los componentes de tensión/fuerza. El criterio de signos adoptado se muestra en la figura siguiente.

Fuerza	Descripción	Unidad de medida
N	Fuerza Axil	kN
M_{3-3}	Momento flector sobre eje local 3	kN m
V_2	Cortante a lo largo del eje local 2	kN
M_{2-2}	Momento flector sobre eje local 2	kN m
V_3	Cortante a lo largo de eje local 3	kN

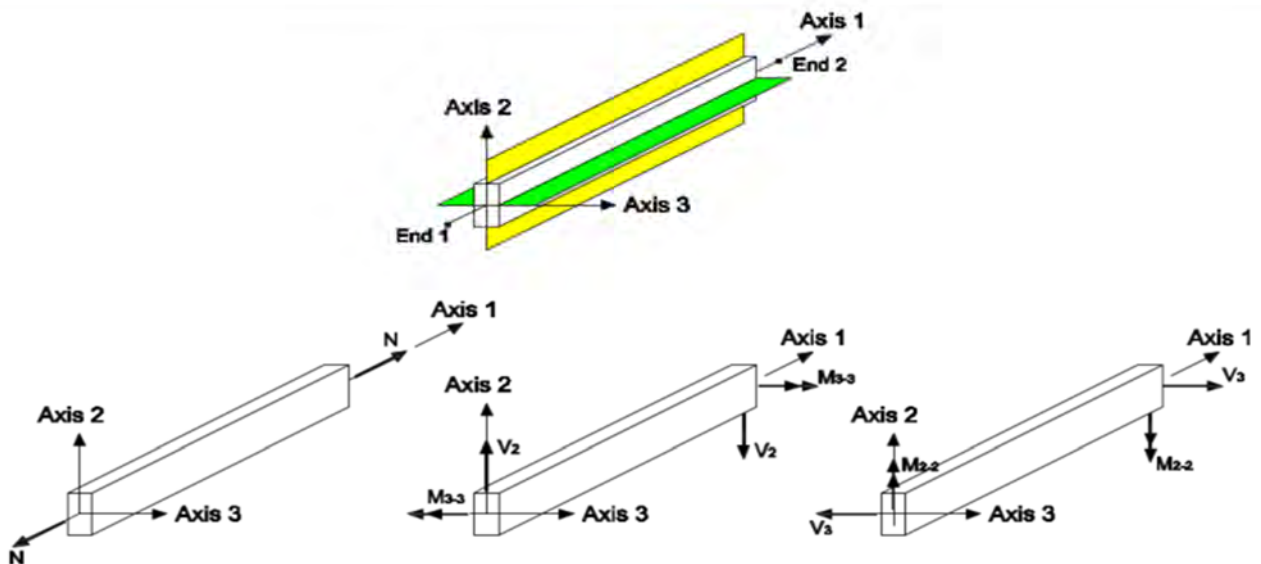


Figura: Criterio de signos en vigas

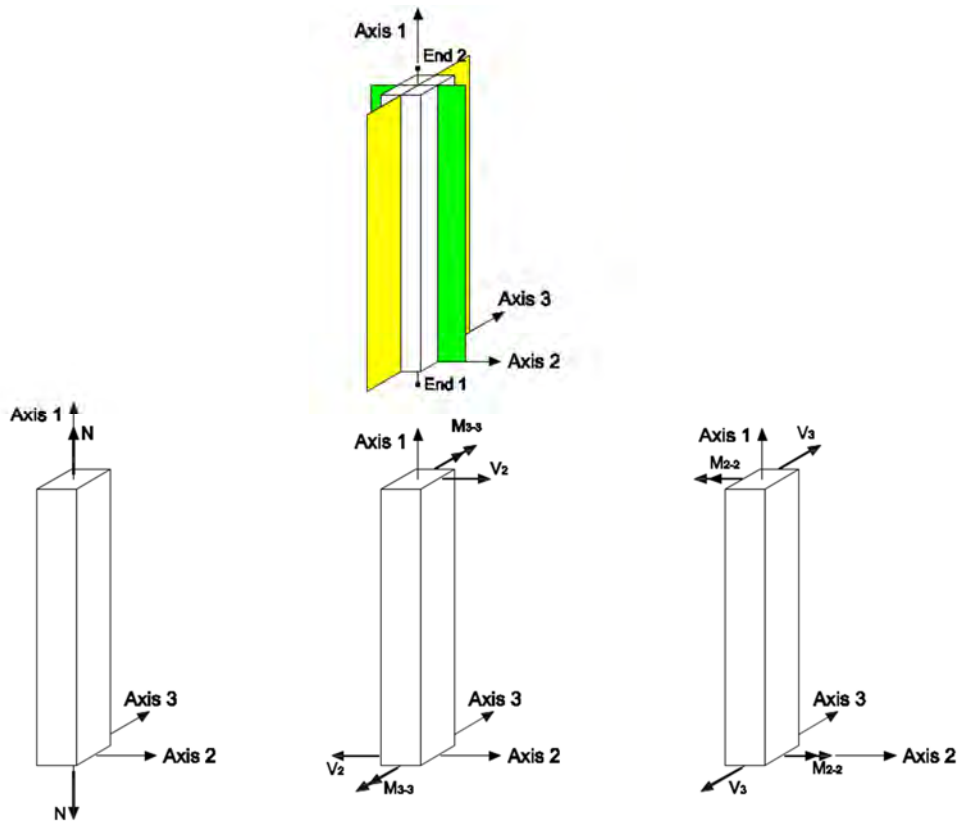


Figura: Criterio de signos en pilares

Elementos de muro

Los muros, independientemente del tipo, tienen el siguiente criterio de signos.

	Tensión	Descripción	Unidad de medida
Esfuerzos en el plano	n	Tensión Axil (por unidad de longitud)	kN/m
	m_{3-3}	Momento flector sobre eje local 3 (por unidad de longitud)	kNm/m
	v_2	Cortante a lo largo del eje local 2 (por unidad de longitud)	kN/m
Esfuerzos fuera de plano (placa)	m_{2-2}	Momento flector sobre el eje local 2 (por unidad de longitud)	kNm/m
	v_3	Cortante a lo largo del eje local 3 (por unidad de longitud)	kN/m

	Fuerza	Descripción	Unidad de medida
Esfuerzos en el plano	N	Fuerza axil total	kN
	M_{3-3}	Momento flector sobre eje local 3	kNm
	V_2	Cortante a lo largo del eje local 2	kN
Esfuerzos fuera de plano (placa)	M_{2-2}	Momento flector sobre el eje local 2	kNm
	V_3	Cortante a lo largo del eje local 2	kN

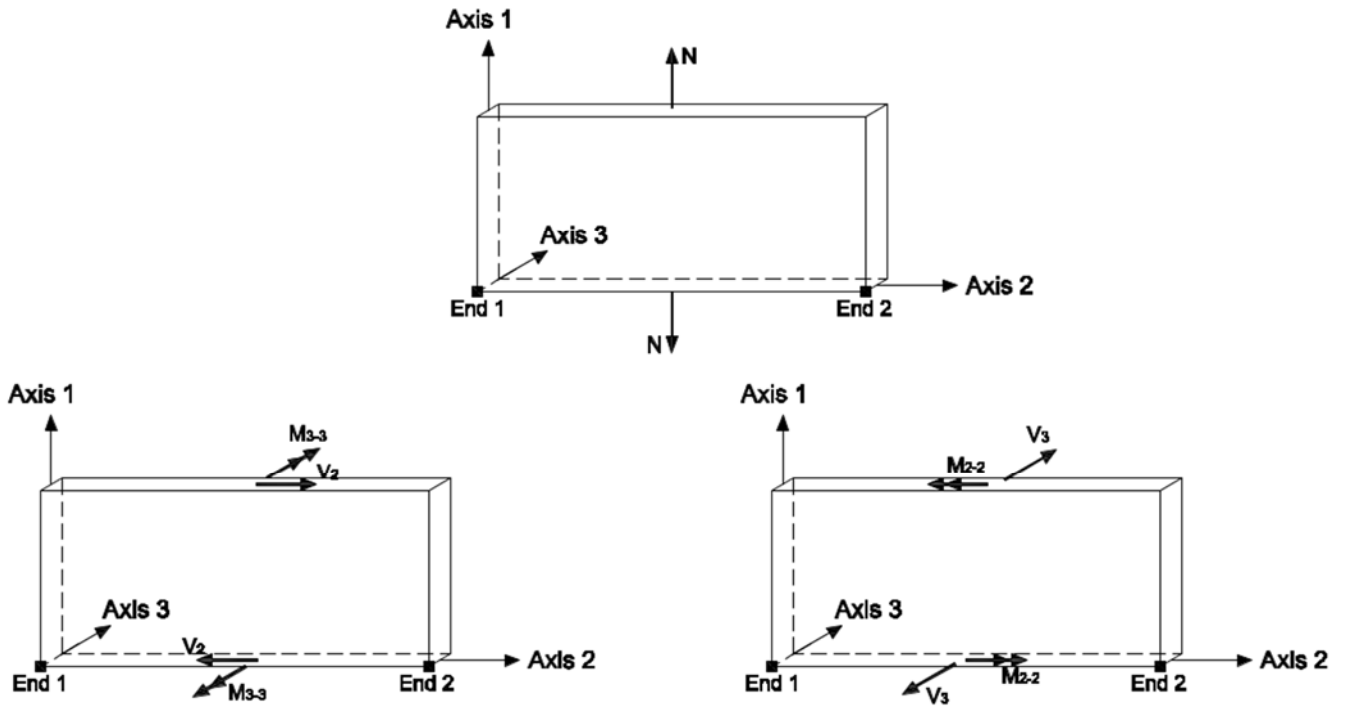


Figure: Convenio de signos para muros

Acciones y cargas de diseño

Peso propio de los materiales estructurales

Los pesos de los materiales estructurales se muestran en la tabla siguiente en kN/m³.

Descripción	Peso específico γ [kN/m ³]
GL 24h - EN 14080	5
C 24	5
C 24 XLAM	5

Acción de viento

La acción de viento es evaluada según la normativa europea vigente EN 1-1-4. La acción del viento está representada por un conjunto simplificado de fuerzas cuyos efectos son equivalentes a los efectos extremos del viento turbulento.

Datos de proyecto

Categoría del terreno: Terreno categoría II

Velocidad de viento básica: 29 m/s

Velocidad media

La velocidad de viento media $v_m(z)$ a una altura z por encima del terreno depende de la aspereza del terreno, de la orografía y de la velocidad básica del viento de acuerdo con la siguiente expresión:

$$v_m(z) = c_r(z) \cdot c_o(z) \cdot v_b$$

dónde:

$c_r(z)$ es el factor de aspereza que depende de la categoría del terreno y de la altura z sobre el terreno del punto relevante;

$c_o(z)$ es el factor de orografía tomado como valor 1;

v_b es la velocidad básica de viento.

Según la sección 4.3.2 de la norma EN 1991-1-4, el factor de rugosidad se puede tomar como:

$$c_r(z) = k_r \cdot \ln\left(\frac{z}{z_0}\right) \quad \text{para } z_{min} \leq z \leq z_{max}$$

$$c_r(z) = c_r(z_{min}) \quad \text{para } z \leq z_{min}$$

dónde:

z_0 y z_{min} se definen según la categoría del terreno:

Categoría del terreno	z_0	z_{min}
-----------------------	-------	-----------

0	Zonas marítimas costeras abiertas al mar	0,003	1
I	Lagos o areas totalmente planas sin obstáculos ni vegetación	0,01	1
II	Terreno rural llano sin obstáculos ni arbolado de importancia (árboles o edificios) separados al menos por una distancia equivalente de 20 veces la altura del obstáculo	0,05	2
III	Zona rural accidentada o llana con algunos obstáculos aislados, como árboles o construcciones pequeñas con una separación máxima de 20 veces la altura del obstáculo (pueblos, terreno suburbano, bosque maduro)	0,3	5
IV	Zonas dónde al menos el 15% de la superficie está cubierta por edificios y su altura excede de los 15 m	1,0	10

k_r es el factor de terreno según:

$$k_r = 0,19 \cdot \left(\frac{z_0}{z_{0,II}} \right)^{0,07}$$

con $z_{0,II} = 0,05 \text{ m}$.

Viento turbulento

La intensidad de la turbulencia $I_v(z)$ a una altura z se define como la desviación estándar de la turbulencia dividida por la velocidad media del viento y se puede determinar como:

$$I_v(z) = \frac{\sigma_v}{v_m(z)} = \frac{1}{c_o(z) \cdot \ln\left(\frac{z}{z_0}\right)} \quad \text{para } z_{min} \leq z \leq z_{max}$$

$$I_v(z) = I_v(z_{min}) \quad \text{para } z \leq z_{min}$$

Presión de velocidad pico

La presión inducida por la velocidad pico $q_p(z)$ a la altura z se puede determinar como:

$$q_p(z) = [1 + 7 \cdot I_v(z)] \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_m^2(z) = c_e(z) \cdot q_b$$

dónde:

$I_v(z)$ es la intensidad de la turbulencia;

ρ es la densidad del aire considerada como $1,25 \text{ kg/m}^3$;

$v_m(z)$ es la velocidad media del viento;

$c_e(z)$ es el factor de exposición definido como $c_e(z) = \frac{q_p(z)}{q_b}$;

q_b es la velocidad básica del viento definida como $q_b = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_b^2$.

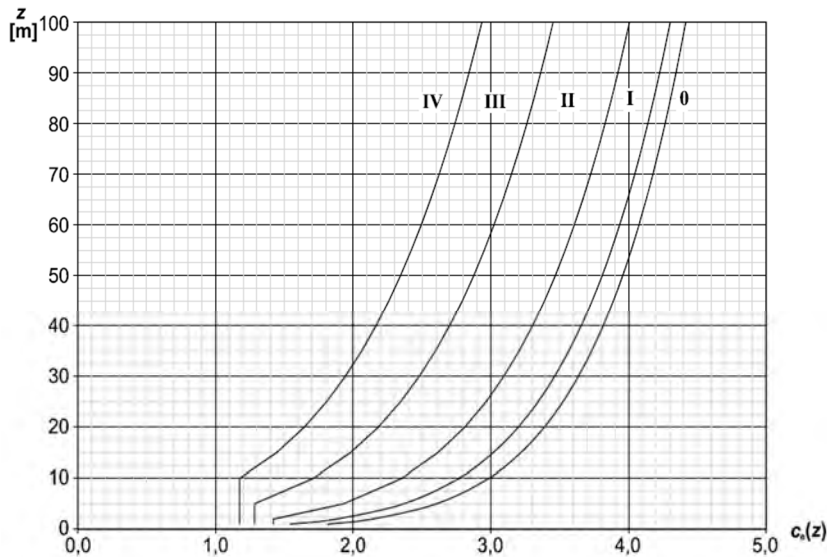


Figure 4.2 — Illustrations of the exposure factor $c_e(z)$ for $c_0=1,0$, $k_T=1,0$

La presión inducida por la velocidad básica del viento es por lo tanto:

$$q_b = 525,63 \text{ N/m}^2$$

Presión del viento en las superficies

La presión del viento que actúa sobre las superficies externas se puede determinar de acuerdo con:

$$w_e(z_e) = q_p(z_e) \cdot c_{pe}$$

La presión del viento que actúa sobre las superficies internas se puede determinar de acuerdo con:

$$w_i(z_i) = q_p(z_i) \cdot c_{pi}$$

dónde:

c_{pe} es el coeficiente de presión para la presión externa que se puede calcular de acuerdo con la sección 7.2 de la norma EN 1991-1-4 o de acuerdo con los datos respaldados por otra documentación adecuada o por ensayos experimentales en un túnel de viento;

c_{pi} es el coeficiente de presión para la presión interna

Las alturas de referencia z_e a considerar en el cálculo de la presión máxima del viento de referencia se definen de la siguiente manera:

- Superficies de muros de barlovento: la altura de referencia cambia a lo largo de la altura de la estructura de acuerdo con el punto 7.2.2 de la norma EN 1991-1-4;
- Superficies de paredes de sotavento: la altura de referencia es igual a la altura máxima del edificio;
- Presiones internas: la altura de referencia es igual a la altura máxima del edificio.

Solicitaciones por viento

Las solicitaciones del viento para toda la estructura o un componente estructural se pueden determinar calculando las fuerzas a partir de las presiones superficiales de acuerdo con las siguientes ecuaciones.

Fuerzas externas:

$$F_{w,e} = c_s \cdot c_d \cdot \sum_{surfaces} w_e(z_e) \cdot A_{ref}$$

Fuerzas internas:

$$F_{w,i} = \sum_{surfaces} w_i(z_i) \cdot A_{ref}$$

dónde:

c_s es el factor de tamaño que tiene en cuenta el efecto sobre las acciones del viento por la ocurrencia no simultánea de presiones máximas de viento en las superficies. Se considera un valor igual a 1;

c_d es el factor dinámico que tiene en cuenta el efecto de las vibraciones de la estructura debido a la turbulencia. Se toma un valor igual a 1.

Cargas actuantes en los forjados

La tabla siguiente muestra los valores característicos de las cargas actuantes sobre los forjados.

Nombre de la carga: Load ID

Posición: Posición del forjado: interno o externo

Ambiente: Categoría de la carga

α : Ángulo de inclinación del techo

$g_{1,k}$: Acción permanente: peso propio

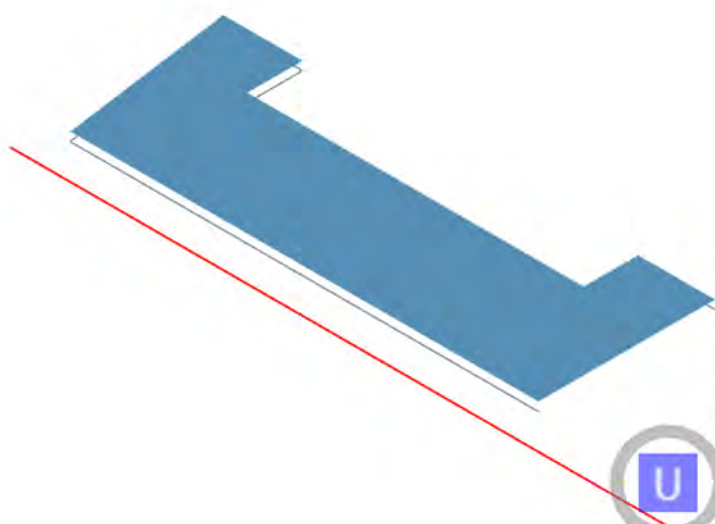
$g_{2,k}$: Acción permanente


q_{k} : Acciones variables

$q_{snow,k}$: Acciones variables: Carga de nieve

$q_{wind,k}$: Acciones variables: Carga de viento

Nombre del forjado	Posición	α [°]	Nombre de la carga	Ambiente	$g_{1,k}$ [kN/m ²]	$g_{2,k}$ [kN/m ²]	q_{k} [kN/m ²]	$q_{snow,k}$ [kN/m ²]	$q_{wind,k}$ negativa [kN/m ²]	$q_{wind,k}$ positiva [kN/m ²]
Suelo 1	Cubierta	26	Carga de forjado: cubierta	Sobrecarga de uso categoría H	0,16	1	0,5	0	-1,05	0,38
Suelo 7	Cubierta	26	Carga de forjado: cubierta	Sobrecarga de uso categoría H	0,16	1	0,5	0	-1,05	0,38
Suelo 8	Cubierta	26	Carga de forjado: cubierta	Sobrecarga de uso categoría H	0,16	1	0,5	0	-1,05	0,38
Suelo 11	Cubierta	26	Carga de forjado: cubierta	Sobrecarga de uso categoría H	0,16	1	0,5	0	-1,05	0,38
Suelo 12	Cubierta	26	Carga de forjado: cubierta	Sobrecarga de uso categoría H	0,16	1	0,5	0	-1,05	0,38
Suelo 16	Cubierta	26	Carga de forjado: cubierta	Sobrecarga de uso categoría H	0,16	1	0,5	0	-1,05	0,38
Suelo 17	Cubierta	26	Carga de forjado: cubierta	Sobrecarga de uso categoría H	0,16	1	0,5	0	-1,05	0,38
Suelo 22	Cubierta	26	Carga de forjado: cubierta	Sobrecarga de uso categoría H	0,16	1	0,5	0	-1,09	0,39
Suelo 23	Cubierta	26	Carga de forjado: cubierta	Sobrecarga de uso categoría H	0,16	1	0,5	0	-1,05	0,38



Leyenda	
	Carga de forjado: cubierta

Cargas lineales

La siguiente tabla muestra los valores característicos de las cargas lineales que actúan sobre las vigas y los forjados.

Nombre de la carga: Load ID

Posicion: Posición del element: interno o externo

Ambiente: Categoría de la carga

$G_{1,k}$: Acción permanente: peso propio

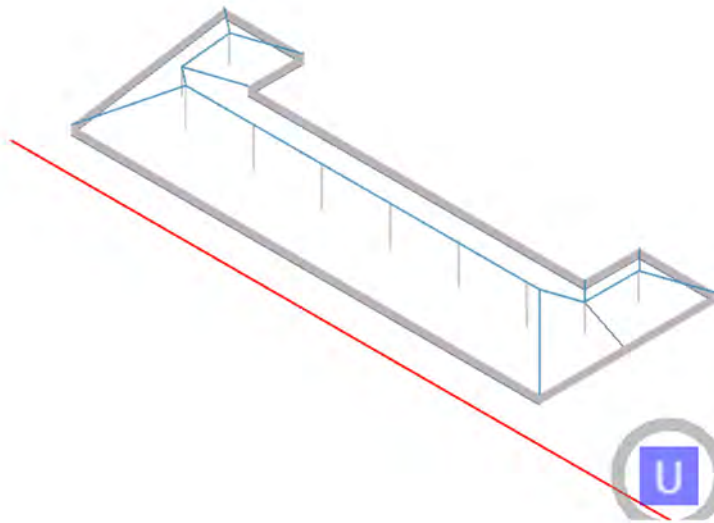
$G_{2,k}$: Acción permanente


Q_{k} : Acciones variables

$Q_{,snow,k}$: Acciones variables: nieve

$Q_{,wind,k}$: Acciones variables: viento

Nombre element	Posición	Nombre carga	Ambiente	$G_{1,k}$ [kN/m]	$G_{2,k}$ [kN/m]	Q_{k} [kN/m]	$Q_{,snow,k}$ [kN/m]	$Q_{,wind,k}$ negativa [kN/m]	$Q_{,wind,k}$ positiva [kN/m]
Viga 5	Acción interna	Carga lineal por defecto	-	0,28	0	-	0	0	0
Viga 7	Acción interna	Carga lineal por defecto	-	0,28	0	-	0	0	0
Viga 8	Acción interna	Carga lineal por defecto	-	0,28	0	-	0	0	0
Viga 9	Acción interna	Carga lineal por defecto	-	0,28	0	-	0	0	0
Viga 10	Acción interna	Carga lineal por defecto	-	0,28	0	-	0	0	0
Viga 11	Acción interna	Carga lineal por defecto	-	0,28	0	-	0	0	0
Viga 12	Acción interna	Carga lineal por defecto	-	0,28	0	-	0	0	0
Viga 14	Acción interna	Carga lineal por defecto	-	0,28	0	-	0	0	0
Viga 15	Acción interna	Carga lineal por defecto	-	0,28	0	-	0	0	0
Viga 16	Acción interna	Carga lineal por defecto	-	0,28	0	-	0	0	0
Viga 17	Acción interna	Carga lineal por defecto	-	0,28	0	-	0	0	0
Viga 25	Acción interna	Carga lineal por defecto	-	0,28	0	-	0	0	0
Viga 29	Acción interna	Carga lineal por defecto	-	0,28	0	-	0	0	0
Viga 31	Acción interna	Carga lineal por defecto	-	0,28	0	-	0	0	0
Viga 32	Acción interna	Carga lineal por defecto	-	0,28	0	-	0	0	0
Viga 33	Acción interna	Carga lineal por defecto	-	0,28	0	-	0	0	0
Viga 34	Acción interna	Carga lineal por defecto	-	0,28	0	-	0	0	0



Leyenda	
	Carga lineal por defecto

Acciones sísmicas

Las acciones sísmicas son evaluadas de acuerdo al Eurocódigo 8 y el Anejo Nacional. El movimiento sísmico en un punto dado en la superficie está representado por un espectro elástico de respuesta de aceleración del terreno.

El espectro de respuesta es calculado usando la aceleración de diseño del terreno a_g en forjado tipo A: la aceleración es igual a a_{gR} , El valor máximo de referencia de la aceleración del terreno en forjado tipo A, multiplicado por el factor de importancia γ_I .

La respuesta del espectro para el requerimiento del estado límite de daño se obtiene multiplicando la reducción de la aceleración de diseño del forjado a_g por el factor de reducción ν .

Los parámetros que definen la aceleración de diseño del forjado a_g en forjado tipo A y los valores de aceleración para los ELU y ELD (daño) son mostrados a continuación:

El factor de reducción del rango del límite de limitación de daños: 0,5

Factor de importancia: 1

Estados limites	a_g [g]
ULS – Ultimate Limit State	0
ELD – Estado Límite de Daño	0

El valor de los periodos T_B , T_C , T_D y el factor de forjado S definen la forma del espectro de respuesta elástico dependiente del tipo de forjado y del tipo de espectro. A continuación se indican los parámetros utilizados:

Tipo de espectro: Tipo 1

Tipo de forjado: A

Factor de forjado S: 1

T_B límite inferior del periodo de la parte de aceleración espectral constante: 0,15 s

T_C límite superior del periodo de la parte de aceleración espectral constante: 0,4 s

T_D Valor que define el comienzo del rango de respuesta de desplazamiento constante del espectro: 2 s

Espectros de respuesta elástica del terreno

Para las componentes horizontales de la acción sísmica, la respuesta del espectro elástico $S_e(T)$ es definido por las siguientes expresiones:

$$0 \leq T \leq T_B \quad S_e(T) = a_g \times S \times \left[1 + \frac{T}{T_B} \times (\eta \times 2,5 - 1) \right]$$

$$T_B \leq T \leq T_C \quad S_e(T) = a_g \times S \times \eta \times 2,5$$

$$T_C \leq T \leq T_D \quad S_e(T) = a_g \times S \times \eta \times 2,5 \left[\frac{T_C}{T} \right]$$

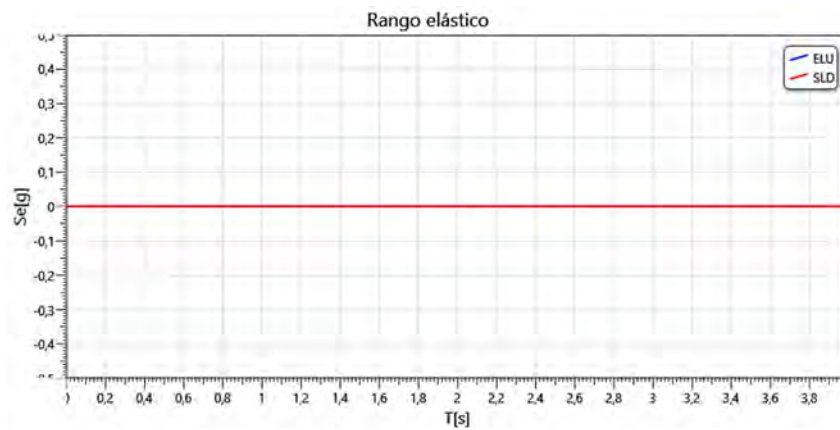
$$T \leq T_D \quad S_e(T) = a_g \times S \times \eta \times 2,5 \left[\frac{T_C T_D}{T^2} \right]$$

La respuesta del espectro horizontal elástico se indica a continuación; son calculados usando los valores siguientes de η y ξ

$$\eta \quad 1$$

$$\xi \quad 5\%$$

η es el factor de corrección de amortiguación con un valor referencia de $\eta = 1$ para el 5% de amortiguación viscosa.



Rango de diseño para el análisis elástico (SIN COLAPSO)

Para evitar el análisis estructural inelástico explícito en el diseño, se tiene en cuenta la capacidad de la estructura para disipar la energía, principalmente a través del comportamiento dúctil de sus elementos y/u otros mecanismos, realizando un análisis elástico basado en un espectro de respuesta reducido con respecto al elástico, denominado “espectro de diseño”. Esta reducción se logra introduciendo el factor de comportamiento q . El espectro de diseño se define mediante las siguientes expresiones:

$$0 \leq T \leq T_B \quad S_d(T) = a_g \times S \times \left[\frac{2}{3} + \frac{T}{T_B} \times \left(\frac{2,5}{q} - \frac{2}{3} \right) \right]$$

$$T_B \leq T \leq T_C \quad S_d(T) = a_g \times S \times \frac{2,5}{q}$$

$$T_C \leq T \leq T_D \quad S_d(T) = \begin{cases} a_g \times S \times \frac{2,5}{q} \times \left[\frac{T_C}{T} \right] \\ \geq \beta \times a_g \end{cases}$$

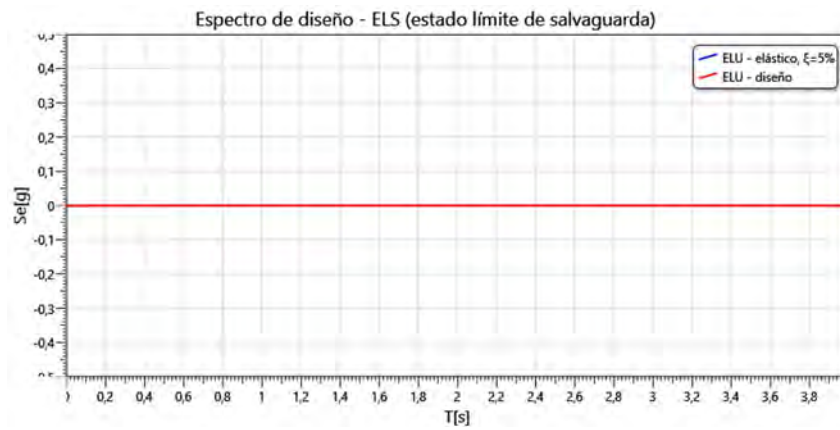
$$T \leq T_D \quad S_d(T) = \begin{cases} a_g \times S \times \frac{2,5}{q} \times \left[\frac{T_C T_D}{T^2} \right] \\ \geq \beta \times a_g \end{cases}$$

donde:

β es el factor de límite inferior para el espectro de diseño horizontal igual a 0,2;

q es el factor de comportamiento: 1,5.

Los espectros de respuesta elástica horizontal y el espectro de diseño horizontal (Estados Limite Últimos) se muestran a continuación:



Secciones de los elementos estructurales

Forjados con viguetas de madera

Características geométricas de los elementos

- h_b : Altura de sección transversal
 b_b : Anchura de sección transversal
 i_b : Espaciado de viguetas

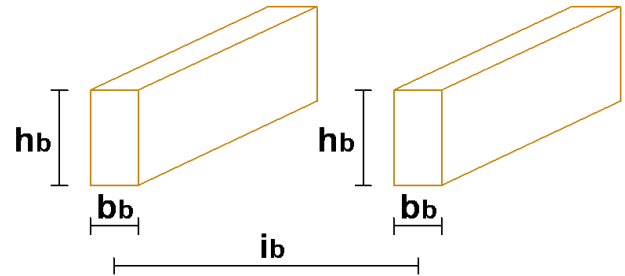
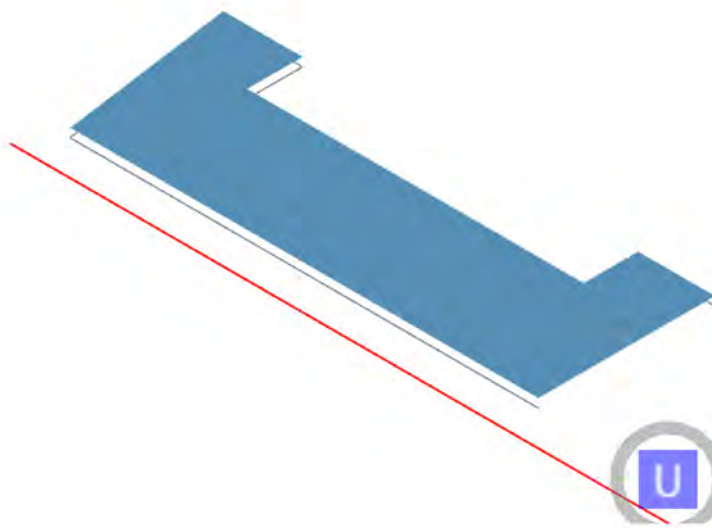


Figura: características geométricas del forjado

La siguiente tabla muestra los detalles del forjado con viguetas

Nombre de sección	Material	Altura sección transversal h_b [mm]	Anchura de sección transversal b_b [mm]	Espaciado de viguetas i_b [mm]
cubierta 12 x 16	C 24	160	120	600

Definición de forjados



Leyenda	
	cubierta 12 x 16

Sección de los elementos lineales

Secciones rectangulares

La siguiente tabla muestra los detalles relacionados con cada elemento lineal y su sección rectangular estructural.

Nombre	Material	Anchura b [mm]	Altura h [mm]	b ₁ [mm]	h ₁ [mm]	b ₂ [mm]	h ₂ [mm]	Área A [mm ²]	J _{y-y} [mm ⁴]	J _{z-z} [mm ⁴]
Sección 200x200 C24	C 24	200	200	-	-	-	-	40000	1,33E8	1,33E8
Sección 200x280 GL24	GL 24h - EN 14080	200	280	-	-	-	-	56000	3,66E8	1,87E8

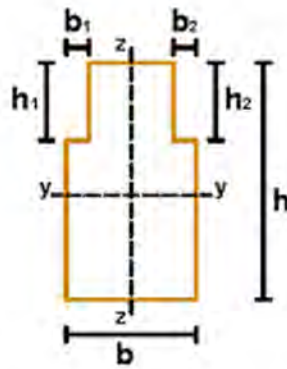
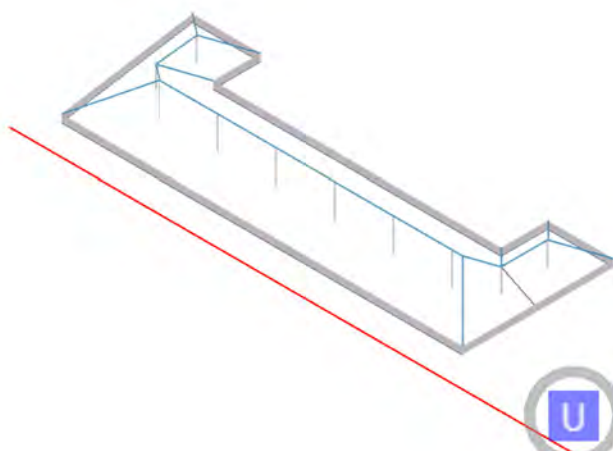


Imagen: Geometría de cada elemento de sección rectangular en madera

Definición de vigas



Leyenda	
	Sección 200x280 GL24

Combinación de acciones

Para cada caso de carga crítica, los valores de diseño de los efectos de las acciones se determinarán combinando los valores de las acciones que se consideraran simultáneas.

$$\sum_{j \geq 1} \gamma_{G,j} G_{k,j} + \gamma_{Q,1} Q_{k,1} + \sum_{i \geq 2} \gamma_{Q,i} \psi_{0,i} Q_{k,i} =$$

$$= \gamma_{G1} \cdot G_1 + \gamma_{G2} \cdot G_2 + \gamma_Q \cdot Q_{k1} + \gamma_{Q2} \cdot \psi_{02} \cdot Q_{k2} + \gamma_{Q3} \cdot \psi_{03} \cdot Q_{k3} + \dots$$

Combinaciones de acciones para situaciones de diseño sísmicas:

$$\sum_{j \geq 1} G_{k,j} + A_{Ed} + \sum_{i \geq 1} \psi_{2,i} Q_{k,i} =$$

$$= G_1 + G_2 + A_{Ed} + \psi_{21} \cdot Q_{k1} + \psi_{22} \cdot Q_{k2} + \dots$$

Siendo:

G₁ acción permanente: peso propio

G₂ otras acciones permanentes

Q₁ valor característico de la acción variable principal

Q_{ki} valor característico de la enésima acción variable secundaria

γ_{G1} factor parcial para la acción del peso propio

γ_{G2} factor parcial para la acción de otras acciones permanentes

Cuando las acciones permanentes, así como una parte de ellas, están completamente definidas en el proceso de diseño, es posible adoptar el mismo factor parcial empleado para las acciones debidas al peso-propio.

A continuación, los valores de las combinaciones de los coeficientes usados.

Nombre de la acción	Descripción	Duración	ψ ₀	ψ ₁	ψ ₂
Q cat A	Categoría A: domésticas, zonas residenciales	Medio-tiempo	0,7	0,5	0,3
Q cat B	Categoría B: Zonas de oficinas	Medio-tiempo	0,7	0,5	0,3
Q cat C	Categoría C: zonas de congregación	Medio-tiempo	0,7	0,7	0,6
Q cat D	Categoría D: zonas comerciales	Medio-tiempo	0,7	0,7	0,6
Q cat E	Categoría E: zonas de almacenamiento	Largo-tiempo	1	0,9	0,8
Q cat F	Categoría F: zonas de tráfico vehículo ≤ 30 kN	Largo-tiempo	0,7	0,7	0,6
Q cat G	Categoría G: zonas de tráfico vehículo ≤ 160 kN	Largo-tiempo	0,7	0,5	0,3
Q cat H	Categoría H: Cubiertas	Medio-tiempo	0	0	0
Q cat I-A	Categoría I-A: cubiertas transitables categoría A	Medio-tiempo	0,7	0,5	0,3
Q cat I-B	Categoría I-B: cubiertas transitables categoría B	Medio-tiempo	0,7	0,5	0,3
Q cat I-C	Categoría I-C: cubiertas transitables categoría C	Medio-tiempo	0,7	0,7	0,6

Q cat I-D	Categoría I-D: cubiertas transitables categoría D	Medio-tiempo	0,7	0,7	0,6
Q cat I-E	Categoría I-E: cubiertas transitables categoría E	Largo-tiempo	1	0,9	0,8
Viento normal	Acción de viento	Instantáneo	0,6	0,2	0
Nieve	Carga de nieve (altitud <= 1000 msn)	Corto-tiempo	0,5	0,2	0
Nieve	Carga de nieve (altitud > 1000 msn)	Medio-tiempo	0,7	0,5	0,2

Combinación de acciones utilizadas

Combinaciones de cargas verticales ELU

La siguiente tabla muestra las combinaciones de cargas ELU relevantes para las verificaciones en condiciones de carga vertical. Los valores de los coeficientes listados corresponden al producto del factor de seguridad parcial γ_j y de los factores de combinación ψ_{0j} .

La acción del viento es representada como una carga uniforme ortogonal a cada pared externa.

Nombre	Duración	G1	G2	Q cat H	Nieve	Viento normal	Viento X	Viento Y	Dinámico SLV X	Dinámico SLV Y	Dinámico SLD X	Dinámico SLD Y
ELU 1	Permanente	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ELU 2	Medio-tiempo	1	1	1,5	0	0	0	0	0	0	0	0
ELU 3	Corto-tiempo	1	1	1,5	0,75	0	0	0	0	0	0	0
ELU 4	Instantáneo	1	1	1,5	0	0,9	0	0	0	0	0	0
ELU 5	Instantáneo	1	1	1,5	0,75	0,9	0	0	0	0	0	0
ELU 6	Corto-tiempo	1	1	0	1,5	0	0	0	0	0	0	0
ELU 7	Instantáneo	1	1	0	1,5	0,9	0	0	0	0	0	0
ELU 8	Instantáneo	1	1	0	0	1,5	0	0	0	0	0	0
ELU 9	Instantáneo	1	1	0	0,75	1,5	0	0	0	0	0	0
ELU 10	Permanente	1	1,35	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ELU 11	Medio-tiempo	1	1,35	1,5	0	0	0	0	0	0	0	0
ELU 12	Corto-tiempo	1	1,35	1,5	0,75	0	0	0	0	0	0	0
ELU 13	Instantáneo	1	1,35	1,5	0	0,9	0	0	0	0	0	0
ELU 14	Instantáneo	1	1,35	1,5	0,75	0,9	0	0	0	0	0	0
ELU 15	Corto-tiempo	1	1,35	0	1,5	0	0	0	0	0	0	0
ELU 16	Instantáneo	1	1,35	0	1,5	0,9	0	0	0	0	0	0
ELU 17	Instantáneo	1	1,35	0	0	1,5	0	0	0	0	0	0
ELU 18	Instantáneo	1	1,35	0	0,75	1,5	0	0	0	0	0	0
ELU 19	Permanente	1,35	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ELU 20	Medio-tiempo	1,35	1	1,5	0	0	0	0	0	0	0	0
ELU 21	Corto-tiempo	1,35	1	1,5	0,75	0	0	0	0	0	0	0
ELU 22	Instantáneo	1,35	1	1,5	0	0,9	0	0	0	0	0	0
ELU 23	Instantáneo	1,35	1	1,5	0,75	0,9	0	0	0	0	0	0
ELU 24	Corto-tiempo	1,35	1	0	1,5	0	0	0	0	0	0	0
ELU 25	Instantáneo	1,35	1	0	1,5	0,9	0	0	0	0	0	0
ELU 26	Instantáneo	1,35	1	0	0	1,5	0	0	0	0	0	0
ELU 27	Instantáneo	1,35	1	0	0,75	1,5	0	0	0	0	0	0
ELU 28	Permanente	1,35	1,35	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ELU 29	Medio-tiempo	1,35	1,35	1,5	0	0	0	0	0	0	0	0
ELU 30	Corto-tiempo	1,35	1,35	1,5	0,75	0	0	0	0	0	0	0
ELU 31	Instantáneo	1,35	1,35	1,5	0	0,9	0	0	0	0	0	0
ELU 32	Instantáneo	1,35	1,35	1,5	0,75	0,9	0	0	0	0	0	0
ELU 33	Corto-tiempo	1,35	1,35	0	1,5	0	0	0	0	0	0	0
ELU 34	Instantáneo	1,35	1,35	0	1,5	0,9	0	0	0	0	0	0
ELU 35	Instantáneo	1,35	1,35	0	0	1,5	0	0	0	0	0	0
ELU 36	Instantáneo	1,35	1,35	0	0,75	1,5	0	0	0	0	0	0

Combinaciones de cargas horizontales ELU

La siguiente tabla muestra las combinaciones de cargas ELU relevantes para las verificaciones en condiciones de carga horizontal. Los valores de los coeficientes listados corresponden al producto del factor de seguridad parcial γ_j y de los factores de combinación ψ_{0j} .

La acción del viento se esquematiza con una carga uniforme ortogonal a cada pared externa y actúa por separado en las direcciones x, -x, y, -y.

Nombre	Duración	G1	G2	Q cat H	Nieve	Viento normal	Viento X	Viento Y	Dinámico SLV X	Dinámico SLV Y	Dinámico SLD X	Dinámico SLD Y
ELU Horizontal 1	Instantáneo	1	1	0	0	0	1,5	0	0	0	0	0
ELU Horizontal 2	Instantáneo	1	1	0	0	0	0	1,5	0	0	0	0
ELU Horizontal 3	Instantáneo	1	1	0	0	0	-1,5	0	0	0	0	0
ELU Horizontal 4	Instantáneo	1	1	0	0	0	0	-1,5	0	0	0	0
ELU Horizontal 5	Instantáneo	1,35	1,35	0	0,75	0	1,5	0	0	0	0	0
ELU Horizontal 6	Instantáneo	1,35	1,35	0	0,75	0	0	1,5	0	0	0	0
ELU Horizontal 7	Instantáneo	1,35	1,35	0	0,75	0	-1,5	0	0	0	0	0
ELU Horizontal 8	Instantáneo	1,35	1,35	0	0,75	0	0	-1,5	0	0	0	0

Combinación de acciones para ELS

Nombre	Duración	G1	G2	Q cat H	Nieve	Viento normal	Viento X	Viento Y	Dinámico SLV X	Dinámico SLV Y	Dinámico SLD X	Dinámico SLD Y
ELS característico 1	Permanente	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ELS característico 2	Medio-tiempo	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
ELS característico 3	Corto-tiempo	1	1	1	0,5	0	0	0	0	0	0	0
ELS característico 4	Instantáneo	1	1	1	0	0,6	0	0	0	0	0	0
ELS característico 5	Instantáneo	1	1	1	0,5	0,6	0	0	0	0	0	0
ELS característico 6	Corto-tiempo	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0
ELS característico 7	Instantáneo	1	1	0	1	0,6	0	0	0	0	0	0
ELS característico 8	Instantáneo	1	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0
ELS característico 9	Instantáneo	1	1	0	0,5	1	0	0	0	0	0	0

Combinaciones de cargas sísmicas

Los efectos de acción debidos a la combinación de los componentes horizontales de la acción sísmica se calculan utilizando las combinaciones siguientes:

$$E_{Edx} + 0,3 \cdot E_{Edy}$$

$$0,3 \cdot E_{Edx} + E_{Edy}$$

Combinaciones de acciones para el Estado Límite de Daño (SLD)

Nombre	Duración	G1	G2	Q cat H	Nieve	Viento normal	Viento X	Viento Y	Dinámico SLV X	Dinámico SLV Y	Dinámico SLD X	Dinámico SLD Y
Dinámico SLD 1 ex+ ey+	Instantáneo	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0,3
Dinámico SLD 1 ex+ ey-	Instantáneo	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0,3
Dinámico SLD 1 ex- ey+	Instantáneo	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0,3
Dinámico SLD 1 ex- ey-	Instantáneo	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0,3
Dinámico SLD 2 ex+ ey+	Instantáneo	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1	-0,3
Dinámico SLD 2 ex+ ey-	Instantáneo	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1	-0,3
Dinámico SLD 2 ex- ey+	Instantáneo	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1	-0,3
Dinámico SLD 2 ex- ey-	Instantáneo	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1	-0,3
Dinámico SLD 3 ex+ ey+	Instantáneo	1	1	0	0	0	0	0	0	0	-1	0,3
Dinámico SLD 3 ex+ ey-	Instantáneo	1	1	0	0	0	0	0	0	0	-1	0,3
Dinámico SLD 3 ex- ey+	Instantáneo	1	1	0	0	0	0	0	0	0	-1	0,3
Dinámico SLD 3 ex- ey-	Instantáneo	1	1	0	0	0	0	0	0	0	-1	0,3
Dinámico SLD 4 ex+ ey+	Instantáneo	1	1	0	0	0	0	0	0	0	-1	-0,3
Dinámico SLD 4 ex+ ey-	Instantáneo	1	1	0	0	0	0	0	0	0	-1	-0,3
Dinámico SLD 4 ex- ey+	Instantáneo	1	1	0	0	0	0	0	0	0	-1	-0,3
Dinámico SLD 4 ex- ey-	Instantáneo	1	1	0	0	0	0	0	0	0	-1	-0,3
Dinámico SLD 5 ex+ ey+	Instantáneo	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0,3	1
Dinámico SLD 5 ex+ ey-	Instantáneo	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0,3	1
Dinámico SLD 5 ex- ey+	Instantáneo	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0,3	1
Dinámico SLD 5 ex- ey-	Instantáneo	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0,3	1
Dinámico SLD 6 ex+ ey+	Instantáneo	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0,3	-1
Dinámico SLD 6 ex+ ey-	Instantáneo	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0,3	-1
Dinámico SLD 6 ex- ey+	Instantáneo	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0,3	-1
Dinámico SLD 6 ex- ey-	Instantáneo	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0,3	-1
Dinámico SLD 7 ex+	Instantáneo	1	1	0	0	0	0	0	0	0	-0,3	1

ey+	Instantáneo	1	1	0	0	0	0	0	0	0	-0,3	1
Dinámico SLD 7 ex+ ey-	Instantáneo	1	1	0	0	0	0	0	0	0	-0,3	1
Dinámico SLD 7 ex- ey+	Instantáneo	1	1	0	0	0	0	0	0	0	-0,3	1
Dinámico SLD 7 ex- ey-	Instantáneo	1	1	0	0	0	0	0	0	0	-0,3	1
Dinámico SLD 8 ex+ ey+	Instantáneo	1	1	0	0	0	0	0	0	0	-0,3	-1
Dinámico SLD 8 ex+ ey-	Instantáneo	1	1	0	0	0	0	0	0	0	-0,3	-1
Dinámico SLD 8 ex- ey+	Instantáneo	1	1	0	0	0	0	0	0	0	-0,3	-1
Dinámico SLD 8 ex- ey-	Instantáneo	1	1	0	0	0	0	0	0	0	-0,3	-1

Combinaciones de acciones para el Estado Límite de Salvaguarda de Vida (SLV)

Nombre	Duración	G1	G2	Q cat H	Nieve	Viento normal	Viento X	Viento Y	Dinámico SLV X	Dinámico SLV Y	Dinámico SLD X	Dinámico SLD Y
Dinámico SLV 1 ex+ ey+	Instantáneo	1	1	0	0	0	0	0	1	0,3	0	0
Dinámico SLV 1 ex+ ey-	Instantáneo	1	1	0	0	0	0	0	1	0,3	0	0
Dinámico SLV 1 ex- ey+	Instantáneo	1	1	0	0	0	0	0	1	0,3	0	0
Dinámico SLV 1 ex- ey-	Instantáneo	1	1	0	0	0	0	0	1	0,3	0	0
Dinámico SLV 2 ex+ ey+	Instantáneo	1	1	0	0	0	0	0	1	-0,3	0	0
Dinámico SLV 2 ex+ ey-	Instantáneo	1	1	0	0	0	0	0	1	-0,3	0	0
Dinámico SLV 2 ex- ey+	Instantáneo	1	1	0	0	0	0	0	1	-0,3	0	0
Dinámico SLV 2 ex- ey-	Instantáneo	1	1	0	0	0	0	0	1	-0,3	0	0
Dinámico SLV 3 ex+ ey+	Instantáneo	1	1	0	0	0	0	0	-1	0,3	0	0
Dinámico SLV 3 ex+ ey-	Instantáneo	1	1	0	0	0	0	0	-1	0,3	0	0
Dinámico SLV 3 ex- ey+	Instantáneo	1	1	0	0	0	0	0	-1	0,3	0	0
Dinámico SLV 3 ex- ey-	Instantáneo	1	1	0	0	0	0	0	-1	0,3	0	0
Dinámico SLV 4 ex+ ey+	Instantáneo	1	1	0	0	0	0	0	-1	-0,3	0	0
Dinámico SLV 4 ex+ ey-	Instantáneo	1	1	0	0	0	0	0	-1	-0,3	0	0
Dinámico SLV 4 ex- ey+	Instantáneo	1	1	0	0	0	0	0	-1	-0,3	0	0
Dinámico SLV 4 ex- ey-	Instantáneo	1	1	0	0	0	0	0	-1	-0,3	0	0
Dinámico SLV 5 ex+ ey+	Instantáneo	1	1	0	0	0	0	0	0,3	1	0	0
Dinámico SLV 5 ex+ ey-	Instantáneo	1	1	0	0	0	0	0	0,3	1	0	0
Dinámico SLV 5 ex- ey+	Instantáneo	1	1	0	0	0	0	0	0,3	1	0	0
Dinámico SLV 5 ex- ey-	Instantáneo	1	1	0	0	0	0	0	0,3	1	0	0
Dinámico SLV 6 ex+ ey+	Instantáneo	1	1	0	0	0	0	0	0,3	-1	0	0
Dinámico SLV 6 ex+ ey-	Instantáneo	1	1	0	0	0	0	0	0,3	-1	0	0

Dinámico SLV 6 ex-ey+	Instantáneo	1	1	0	0	0	0	0	0,3	-1	0	0
Dinámico SLV 6 ex-ey-	Instantáneo	1	1	0	0	0	0	0	0,3	-1	0	0
Dinámico SLV 7 ex+ey+	Instantáneo	1	1	0	0	0	0	0	-0,3	1	0	0
Dinámico SLV 7 ex+ey-	Instantáneo	1	1	0	0	0	0	0	-0,3	1	0	0
Dinámico SLV 7 ex-ey+	Instantáneo	1	1	0	0	0	0	0	-0,3	1	0	0
Dinámico SLV 7 ex-ey-	Instantáneo	1	1	0	0	0	0	0	-0,3	1	0	0
Dinámico SLV 8 ex+ey+	Instantáneo	1	1	0	0	0	0	0	-0,3	-1	0	0
Dinámico SLV 8 ex+ey-	Instantáneo	1	1	0	0	0	0	0	-0,3	-1	0	0
Dinámico SLV 8 ex-ey+	Instantáneo	1	1	0	0	0	0	0	-0,3	-1	0	0
Dinámico SLV 8 ex-ey-	Instantáneo	1	1	0	0	0	0	0	-0,3	-1	0	0

Acciones horizontales

Análisis Modal

El análisis modal se utiliza para determinar los modos de vibración de la estructura, útil para comprender el comportamiento sísmico del edificio y proceder con el análisis dinámico lineal.

El análisis modal implica la solución del problema del valor generalizado de Eigen:

$$[K - \Omega^2 M] \Phi = 0$$

donde K es la matriz de rigidez, M la matriz de masas, Ω^2 es la matriz diagonal de los valores Eigen y Φ es la matriz correspondiente de vectores propios o formas modales (Normalizada con respecto a la matriz de masas); Las masas sísmicas de los diafragmas se calculan con la siguiente combinación de cargas verticales:

$$\sum G_{k,j} + \sum \psi_{Ei} \cdot Q_{ki} = G_1 + G_2 + \sum \psi_{Ei} \cdot Q_{ki}$$

dónde ψ_{Ei} es el coeficiente de combinación para la acción variable i . Los coeficientes de combinación se calcularán a partir de la siguiente expresión:

$$\psi_{Ei} = \varphi \cdot \psi_{2i}$$

Tipo de variable de la acción	Piso	φ
Categorías A-C (según EN 1991-1-1)	Cubierta	1
	Pisos con ocupaciones correlacionadas	0,8
	Pisos ocupados independientemente	0,5
Categorías D-F (según EN 1991-1-1)		1

Las fuerzas de cortante en la base para ELD y ELU y los valores de aceleración respectivos se dan a continuación.

El valor propio, obtenido por la solución del problema del valor generalizado de Eigen, es el cuadrado de la frecuencia polar ω correspondiente al período, T , y a la frecuencia, f , por las siguientes ecuaciones:

$$T = \frac{1}{f} \text{ and } f = \frac{\omega}{2\pi}$$

La relación de masa contribuyente para el modo i -énimo, correspondiente a una aceleración en el eje global X e Y y a una aceleración de rotación alrededor del eje vertical Z, viene dada por:

$$M_x^i = \frac{m_x^i}{\sum m_{x,j}} [\%]$$

$$M_y^i = \frac{m_y^i}{\sum m_{y,j}} [\%]$$

$$M_z^i = \frac{m_z^i}{\sum I_{z,j}} [\%]$$

donde:

$$m_x^i = \frac{([\Phi^i]^T M R_x)^2}{[\Phi^i]^T M \Phi^i}$$

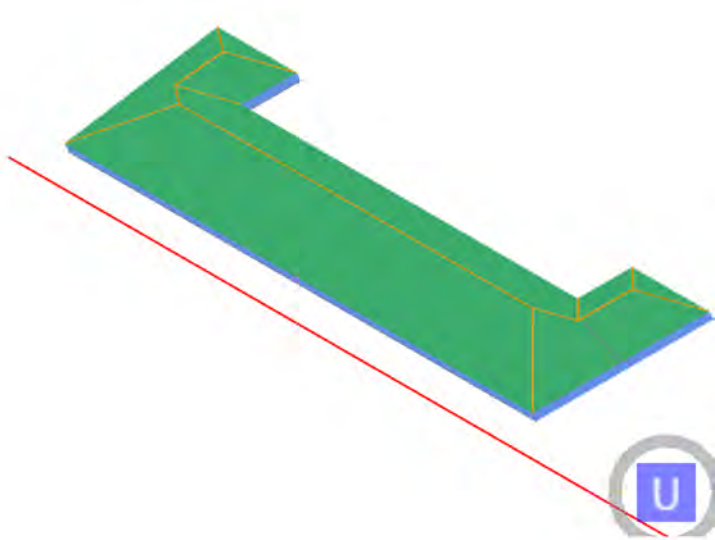
$$m_y^i = \frac{([\Phi^i]^T M R_y)^2}{[\Phi^i]^T M \Phi^i}$$

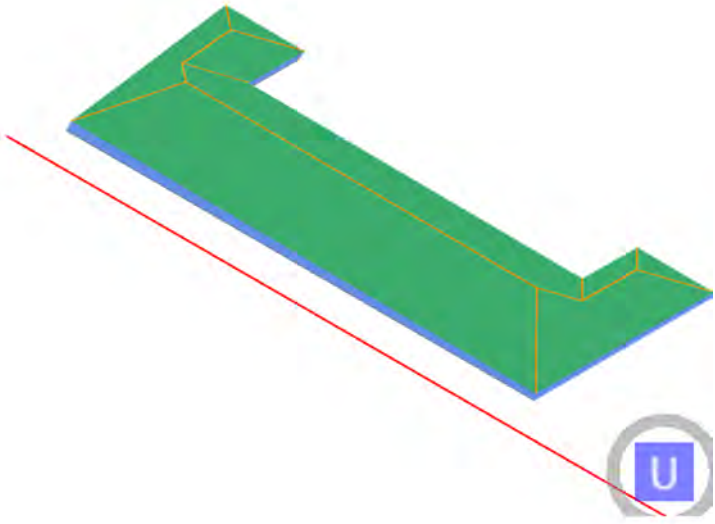
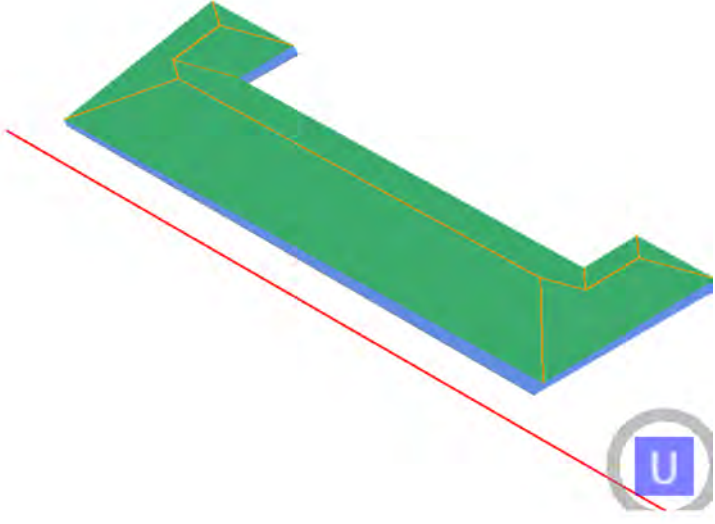
$$m_z^i = \frac{([\Phi^i]^T M R_z)^2}{[\Phi^i]^T M \Phi^i}$$

y donde $\sum m_{x,j}$, $\sum m_{y,j}$ and $\sum I_{z,j}$ son las masas totales actuando en los ejes X, Y la inercia total de rotación del eje Z de los j-ésimo grados de libertad.

Modo	Periodo [s]	Frecuencia [Hz]	M _x [%]	Sum M _x [%]	M _y [%]	Sum M _y [%]	M _z [%]	Sum M _z [%]
Modo 1	0,03	31,15	0,21	0,21	99,79	99,79	0,00	0,00
Modo 2	0,02	45,76	89,73	89,93	0,19	99,99	10,08	10,08
Modo 3	0,02	50,79	10,07	100,00	0,01	100,00	89,92	100,00

La tabla muestra, limitada a los primeros seis modos de vibración, el período correspondiente y la forma modal deformada.

Modo	Periodo [s]	Forma modal deformada
Modo 1	0,03	

Modo 2	0,02	
Modo 3	0,02	

Análisis dinámico lineal

El análisis dinámico lineal consiste en:

- El cálculo de los efectos sísmicos (la acción de sismo es representada por el diseño del espectro de respuesta resultante), de cada uno de los modos de vibración calculados en el análisis modal;
- Combinación de esos efectos.

Los efectos sísmicos del modelo estructural son obtenidos por la aplicación de las siguientes cargas externas:

$$F_x^i = \Gamma_x^i S_d(T_i) M \Phi^i$$

y

$$F_y^i = \Gamma_y^i S_d(T_i) M \Phi^i$$

donde:

F_x^i y F_y^i son las cargas externas del modo de vibración i-énésimo debido a la acción del sismo a lo largo de eje X e Y.

$S_d(T_i)$ es el valor del espectro correspondiente al periodo i-énésimo.

Φ^i es la i-énésima forma modal

Γ_x^i y Γ_y^i son el factor modal resultante del i-énésimo modo dado por:

$$\Gamma_x^i = \frac{[\Phi^i]^T M R_x}{[\Phi^i]^T M \Phi^i} \text{ e } \Gamma_y^i = \frac{[\Phi^i]^T M R_y}{[\Phi^i]^T M \Phi^i}$$

Los efectos para una determinada dirección de aceleración (a lo largo del eje X e Y) y para cada uno de los modos de vibración se combinan con la técnica de Combinación Cuadrática Completa definida por:

$$E = \sqrt{\sum_j \sum_i \rho_{ij} \cdot E_i \cdot E_j}$$

donde:

E_j es el efecto del i-énésimo modo de vibración;

ρ_{ij} es el coeficiente del i-énésimo modo y del j-énésimo modo, dado por:

$$\rho_{ij} = \frac{8 \cdot \xi^2 \cdot \beta_{ij}^{3/2}}{(1 + \beta_{ij}) \cdot [(1 - \beta_{ij})^2 + 4 \cdot \xi^2 \cdot \beta_{ij}]}$$

ξ es la relación de amortiguamiento en los modos i-énésimo y j-énésimo;

$\beta_{ij} = T_j/T_i$.

La siguiente tabla muestra las propiedades del diafragma.

Diafragma	Altura sobre la base de la estructura de madera [m]	xG [m]	yG [m]	Excentricidad accidental ex [m]	Excentricidad accidental ey [m]	Masa i [kg]
1	1,27	14,74	6,33	1,43	0,52	33197

La tabla siguiente proporciona, para cada uno de los modos de vibración, el periodo y el valor correspondientes del espectro de respuesta, tanto el valor SLV como el valor SLD.

Modo	Periodo [s]	SLV valor del espectro [g]	SLD valor del espectro [g]
Modo 1	0,03	0,00	0,00
Modo 2	0,02	0,00	0,00
Modo 3	0,02	0,00	0,00

Viento

La tabla siguiente muestra las fuerzas horizontales actuantes en las plantas debidas a la acción del viento y las coordenadas de sus respectivos puntos de aplicación.

Diafragma	Altura sobre el plano de referencia [m]	xG,viento [m]	yG,viento [m]	Fx [kN]	Fy [kN]
1	1,27	14,33	7,18	2,01	5,58

Efectos de las acciones

En este capítulo se describen los esfuerzos internos presentes en los elementos estructurales y en sus conexiones causados por las distintas cargas.

Forjados

Nombre del forjado: Forjado ID

V2: Máxima fuerza de corte a lo largo del eje local 2 para el elemento con mayor tensión cortante del forjado

M3-3: Máximo momento flector sobre el eje local 3 para el elemento más cargado del forjado

W_{ist}: Máxima deformación para el elemento más estresado del forjado

Carga	Nombre del forjado	V2 [kN]	M3-3 [kNm]	W _{ist} [mm]
G1	Suelo 1	0,17	0,17	0,61
G1	Suelo 7	0,16	0,15	0,47
G1	Suelo 8	0,17	0,17	0,60
G1	Suelo 11	0,10	0,06	0,08
G1	Suelo 12	0,10	0,06	0,07
G1	Suelo 16	0,10	0,06	0,07
G1	Suelo 17	0,11	0,07	0,09
G1	Suelo 22	0,16	0,15	0,46
G1	Suelo 23	0,11	0,07	0,10
G2	Suelo 1	1,06	1,06	3,83
G2	Suelo 7	0,99	0,92	2,93
G2	Suelo 8	1,05	1,04	3,75
G2	Suelo 11	0,63	0,38	0,49
G2	Suelo 12	0,63	0,37	0,47
G2	Suelo 16	0,62	0,37	0,46
G2	Suelo 17	0,66	0,42	0,59
G2	Suelo 22	0,99	0,91	2,86
G2	Suelo 23	0,67	0,42	0,60
Q cat H	Suelo 1	0,53	0,53	1,91
Q cat H	Suelo 7	0,50	0,46	1,46
Q cat H	Suelo 8	0,53	0,52	1,87
Q cat H	Suelo 11	0,32	0,19	0,25
Q cat H	Suelo 12	0,31	0,18	0,23
Q cat H	Suelo 16	0,31	0,18	0,23
Q cat H	Suelo 17	0,33	0,21	0,30
Q cat H	Suelo 22	0,49	0,46	1,43
Q cat H	Suelo 23	0,33	0,21	0,30
Nieve	Suelo 1	0,00	0,00	0,00
Nieve	Suelo 7	0,00	0,00	0,00
Nieve	Suelo 8	0,00	0,00	0,00
Nieve	Suelo 11	0,00	0,00	0,00
Nieve	Suelo 12	0,00	0,00	0,00
Nieve	Suelo 16	0,00	0,00	0,00
Nieve	Suelo 17	0,00	0,00	0,00
Nieve	Suelo 22	0,00	0,00	0,00
Nieve	Suelo 23	0,00	0,00	0,00
Viento normal	Suelo 1	1,25	1,24	0,00
Viento normal	Suelo 7	1,16	1,08	0,00
Viento normal	Suelo 8	1,24	1,23	0,04
Viento normal	Suelo 11	0,75	0,45	0,00
Viento normal	Suelo 12	0,74	0,43	0,00
Viento normal	Suelo 16	0,73	0,43	0,00
Viento normal	Suelo 17	0,78	0,49	0,00
Viento normal	Suelo 22	1,20	1,11	0,00
Viento normal	Suelo 23	0,78	0,49	0,00
Viento X	Suelo 1	0,00	0,00	0,00
Viento X	Suelo 7	0,00	0,00	0,00
Viento X	Suelo 8	0,00	0,00	0,00
Viento X	Suelo 11	0,00	0,00	0,00
Viento X	Suelo 12	0,00	0,00	0,00
Viento X	Suelo 16	0,00	0,00	0,00
Viento X	Suelo 17	0,00	0,00	0,00
Viento X	Suelo 22	0,00	0,00	0,00

Viento X	Suelo 23	0,00	0,00	0,00
Viento Y	Suelo 1	0,00	0,00	0,00
Viento Y	Suelo 7	0,00	0,00	0,00
Viento Y	Suelo 8	0,00	0,00	0,00
Viento Y	Suelo 11	0,00	0,00	0,00
Viento Y	Suelo 12	0,00	0,00	0,00
Viento Y	Suelo 16	0,00	0,00	0,00
Viento Y	Suelo 17	0,00	0,00	0,00
Viento Y	Suelo 22	0,00	0,00	0,00
Viento Y	Suelo 23	0,00	0,00	0,00
Dinámico SLV X	Suelo 1	0,00	0,00	0,00
Dinámico SLV X	Suelo 7	0,00	0,00	0,00
Dinámico SLV X	Suelo 8	0,00	0,00	0,00
Dinámico SLV X	Suelo 11	0,00	0,00	0,00
Dinámico SLV X	Suelo 12	0,00	0,00	0,00
Dinámico SLV X	Suelo 16	0,00	0,00	0,00
Dinámico SLV X	Suelo 17	0,00	0,00	0,00
Dinámico SLV X	Suelo 22	0,00	0,00	0,00
Dinámico SLV X	Suelo 23	0,00	0,00	0,00
Dinámico SLV Y	Suelo 1	0,00	0,00	0,00
Dinámico SLV Y	Suelo 7	0,00	0,00	0,00
Dinámico SLV Y	Suelo 8	0,00	0,00	0,00
Dinámico SLV Y	Suelo 11	0,00	0,00	0,00
Dinámico SLV Y	Suelo 12	0,00	0,00	0,00
Dinámico SLV Y	Suelo 16	0,00	0,00	0,00
Dinámico SLV Y	Suelo 17	0,00	0,00	0,00
Dinámico SLV Y	Suelo 22	0,00	0,00	0,00
Dinámico SLV Y	Suelo 23	0,00	0,00	0,00
Dinámico SLD X	Suelo 1	0,00	0,00	0,00
Dinámico SLD X	Suelo 7	0,00	0,00	0,00
Dinámico SLD X	Suelo 8	0,00	0,00	0,00
Dinámico SLD X	Suelo 11	0,00	0,00	0,00
Dinámico SLD X	Suelo 12	0,00	0,00	0,00
Dinámico SLD X	Suelo 16	0,00	0,00	0,00
Dinámico SLD X	Suelo 17	0,00	0,00	0,00
Dinámico SLD X	Suelo 22	0,00	0,00	0,00
Dinámico SLD X	Suelo 23	0,00	0,00	0,00
Dinámico SLD Y	Suelo 1	0,00	0,00	0,00
Dinámico SLD Y	Suelo 7	0,00	0,00	0,00
Dinámico SLD Y	Suelo 8	0,00	0,00	0,00
Dinámico SLD Y	Suelo 11	0,00	0,00	0,00
Dinámico SLD Y	Suelo 12	0,00	0,00	0,00
Dinámico SLD Y	Suelo 16	0,00	0,00	0,00
Dinámico SLD Y	Suelo 17	0,00	0,00	0,00
Dinámico SLD Y	Suelo 22	0,00	0,00	0,00
Dinámico SLD Y	Suelo 23	0,00	0,00	0,00

Vigas

Nombre de viga: Viga ID

V2: Máximo esfuerzo a cortante a lo largo del eje local 2

M3-3: Máximo momento flector alrededor de eje local 3

W_{ist}: Máxima deformación para la viga más cargada

Carga	Nombre de viga	V2 [kN]	M3-3 [kNm]	W _{ist} [mm]
G1	Viga 5	0,48	0,24	0,02
G1	Viga 7	2,67	1,67	0,32
G1	Viga 8	1,82	1,80	0,69
G1	Viga 9	1,79	1,80	0,70
G1	Viga 10	1,85	1,80	0,70
G1	Viga 11	1,76	1,79	0,69
G1	Viga 12	0,77	0,45	0,07
G1	Viga 14	0,65	0,57	0,16
G1	Viga 15	0,72	0,51	0,13
G1	Viga 16	0,70	0,45	0,09
G1	Viga 17	1,34	1,47	0,91
G1	Viga 25	1,42	1,66	1,15
G1	Viga 29	0,89	0,64	0,18
G1	Viga 31	0,97	0,67	0,15
G1	Viga 32	0,71	0,55	0,15
G1	Viga 33	0,96	0,77	0,19
G1	Viga 34	0,77	0,56	0,15
G2	Viga 5	1,40	0,71	0,07
G2	Viga 7	9,18	5,45	1,80
G2	Viga 8	7,93	7,79	3,01
G2	Viga 9	7,76	7,80	3,03

G2	Viga 10	8,09	7,84	3,05
G2	Viga 11	7,56	7,75	3,01
G2	Viga 12	2,71	1,42	0,23
G2	Viga 14	1,24	1,11	0,32
G2	Viga 15	1,85	1,05	0,26
G2	Viga 16	1,98	1,12	0,23
G2	Viga 17	4,27	4,07	2,48
G2	Viga 25	4,54	4,58	3,12
G2	Viga 29	2,85	1,71	0,46
G2	Viga 31	3,45	2,26	0,50
G2	Viga 32	1,72	1,15	0,31
G2	Viga 33	3,22	2,62	0,64
G2	Viga 34	2,07	1,21	0,33
Q cat H	Viga 5	0,70	0,35	0,03
Q cat H	Viga 7	4,59	2,72	0,90
Q cat H	Viga 8	3,96	3,90	1,51
Q cat H	Viga 9	3,88	3,90	1,51
Q cat H	Viga 10	4,04	3,92	1,52
Q cat H	Viga 11	3,78	3,87	1,50
Q cat H	Viga 12	1,35	0,71	0,12
Q cat H	Viga 14	0,62	0,56	0,16
Q cat H	Viga 15	0,93	0,53	0,13
Q cat H	Viga 16	0,99	0,56	0,11
Q cat H	Viga 17	2,14	2,03	1,24
Q cat H	Viga 25	2,27	2,29	1,56
Q cat H	Viga 29	1,42	0,86	0,23
Q cat H	Viga 31	1,72	1,13	0,25
Q cat H	Viga 32	0,86	0,58	0,16
Q cat H	Viga 33	1,61	1,31	0,32
Q cat H	Viga 34	1,03	0,61	0,16
Nieve	Viga 5	0,00	0,00	0,00
Nieve	Viga 7	0,00	0,00	0,00
Nieve	Viga 8	0,00	0,00	0,00
Nieve	Viga 9	0,00	0,00	0,00
Nieve	Viga 10	0,00	0,00	0,00
Nieve	Viga 11	0,00	0,00	0,00
Nieve	Viga 12	0,00	0,00	0,00
Nieve	Viga 14	0,00	0,00	0,00
Nieve	Viga 15	0,00	0,00	0,00
Nieve	Viga 16	0,00	0,00	0,00
Nieve	Viga 17	0,00	0,00	0,00
Nieve	Viga 25	0,00	0,00	0,00
Nieve	Viga 29	0,00	0,00	0,00
Nieve	Viga 31	0,00	0,00	0,00
Nieve	Viga 32	0,00	0,00	0,00
Nieve	Viga 33	0,00	0,00	0,00
Nieve	Viga 34	0,00	0,00	0,00
Viento normal	Viga 5	1,69	0,85	-0,08
Viento normal	Viga 7	10,82	6,51	-2,10
Viento normal	Viga 8	9,32	9,17	-3,55
Viento normal	Viga 9	9,12	9,17	-3,56
Viento normal	Viga 10	9,51	9,22	-3,58
Viento normal	Viga 11	8,89	9,11	-3,53
Viento normal	Viga 12	3,18	1,66	-0,27
Viento normal	Viga 14	1,46	1,31	-0,37
Viento normal	Viga 15	2,17	1,24	-0,31
Viento normal	Viga 16	2,33	1,32	-0,27
Viento normal	Viga 17	5,02	4,77	-2,91
Viento normal	Viga 25	5,43	5,48	-3,74
Viento normal	Viga 29	3,35	2,01	-0,54
Viento normal	Viga 31	4,05	2,65	-0,58
Viento normal	Viga 32	2,02	1,36	-0,37
Viento normal	Viga 33	3,78	3,07	-0,75
Viento normal	Viga 34	2,43	1,42	-0,39
Viento X	Viga 5	0,00	0,00	0,00
Viento X	Viga 7	0,00	0,00	0,00
Viento X	Viga 8	0,00	0,00	0,00
Viento X	Viga 9	0,00	0,00	0,00
Viento X	Viga 10	0,00	0,00	0,00
Viento X	Viga 11	0,00	0,00	0,00
Viento X	Viga 12	0,00	0,00	0,00
Viento X	Viga 14	0,00	0,00	0,00
Viento X	Viga 15	0,00	0,00	0,00
Viento X	Viga 16	0,00	0,00	0,00
Viento X	Viga 17	0,00	0,00	0,00
Viento X	Viga 25	0,00	0,00	0,00
Viento X	Viga 29	0,00	0,00	0,00
Viento X	Viga 31	0,00	0,00	0,00
Viento X	Viga 32	0,00	0,00	0,00
Viento X	Viga 33	0,00	0,00	0,00
Viento X	Viga 34	0,00	0,00	0,00
Viento Y	Viga 5	0,00	0,00	0,00
Viento Y	Viga 7	0,00	0,00	0,00
Viento Y	Viga 8	0,00	0,00	0,00
Viento Y	Viga 9	0,00	0,00	0,00
Viento Y	Viga 10	0,00	0,00	0,00
Viento Y	Viga 11	0,00	0,00	0,00
Viento Y	Viga 12	0,00	0,00	0,00
Viento Y	Viga 14	0,00	0,00	0,00
Viento Y	Viga 15	0,00	0,00	0,00
Viento Y	Viga 16	0,00	0,00	0,00

Viento Y	Viga 17	0,00	0,00	0,00
Viento Y	Viga 25	0,00	0,00	0,00
Viento Y	Viga 29	0,00	0,00	0,00
Viento Y	Viga 31	0,00	0,00	0,00
Viento Y	Viga 32	0,00	0,00	0,00
Viento Y	Viga 33	0,00	0,00	0,00
Viento Y	Viga 34	0,00	0,00	0,00
Dinámico SLV X	Viga 5	0,00	0,00	0,00
Dinámico SLV X	Viga 7	0,00	0,00	0,00
Dinámico SLV X	Viga 8	0,00	0,00	0,00
Dinámico SLV X	Viga 9	0,00	0,00	0,00
Dinámico SLV X	Viga 10	0,00	0,00	0,00
Dinámico SLV X	Viga 11	0,00	0,00	0,00
Dinámico SLV X	Viga 12	0,00	0,00	0,00
Dinámico SLV X	Viga 14	0,00	0,00	0,00
Dinámico SLV X	Viga 15	0,00	0,00	0,00
Dinámico SLV X	Viga 16	0,00	0,00	0,00
Dinámico SLV X	Viga 17	0,00	0,00	0,00
Dinámico SLV X	Viga 25	0,00	0,00	0,00
Dinámico SLV X	Viga 29	0,00	0,00	0,00
Dinámico SLV X	Viga 31	0,00	0,00	0,00
Dinámico SLV X	Viga 32	0,00	0,00	0,00
Dinámico SLV X	Viga 33	0,00	0,00	0,00
Dinámico SLV X	Viga 34	0,00	0,00	0,00
Dinámico SLV Y	Viga 5	0,00	0,00	0,00
Dinámico SLV Y	Viga 7	0,00	0,00	0,00
Dinámico SLV Y	Viga 8	0,00	0,00	0,00
Dinámico SLV Y	Viga 9	0,00	0,00	0,00
Dinámico SLV Y	Viga 10	0,00	0,00	0,00
Dinámico SLV Y	Viga 11	0,00	0,00	0,00
Dinámico SLV Y	Viga 12	0,00	0,00	0,00
Dinámico SLV Y	Viga 14	0,00	0,00	0,00
Dinámico SLV Y	Viga 15	0,00	0,00	0,00
Dinámico SLV Y	Viga 16	0,00	0,00	0,00
Dinámico SLV Y	Viga 17	0,00	0,00	0,00
Dinámico SLV Y	Viga 25	0,00	0,00	0,00
Dinámico SLV Y	Viga 29	0,00	0,00	0,00
Dinámico SLV Y	Viga 31	0,00	0,00	0,00
Dinámico SLV Y	Viga 32	0,00	0,00	0,00
Dinámico SLV Y	Viga 33	0,00	0,00	0,00
Dinámico SLV Y	Viga 34	0,00	0,00	0,00
Dinámico SLD X	Viga 5	0,00	0,00	0,00
Dinámico SLD X	Viga 7	0,00	0,00	0,00
Dinámico SLD X	Viga 8	0,00	0,00	0,00
Dinámico SLD X	Viga 9	0,00	0,00	0,00
Dinámico SLD X	Viga 10	0,00	0,00	0,00
Dinámico SLD X	Viga 11	0,00	0,00	0,00
Dinámico SLD X	Viga 12	0,00	0,00	0,00
Dinámico SLD X	Viga 14	0,00	0,00	0,00
Dinámico SLD X	Viga 15	0,00	0,00	0,00
Dinámico SLD X	Viga 16	0,00	0,00	0,00
Dinámico SLD X	Viga 17	0,00	0,00	0,00
Dinámico SLD X	Viga 25	0,00	0,00	0,00
Dinámico SLD X	Viga 29	0,00	0,00	0,00
Dinámico SLD X	Viga 31	0,00	0,00	0,00
Dinámico SLD X	Viga 32	0,00	0,00	0,00
Dinámico SLD X	Viga 33	0,00	0,00	0,00
Dinámico SLD X	Viga 34	0,00	0,00	0,00
Dinámico SLD Y	Viga 5	0,00	0,00	0,00
Dinámico SLD Y	Viga 7	0,00	0,00	0,00
Dinámico SLD Y	Viga 8	0,00	0,00	0,00
Dinámico SLD Y	Viga 9	0,00	0,00	0,00
Dinámico SLD Y	Viga 10	0,00	0,00	0,00
Dinámico SLD Y	Viga 11	0,00	0,00	0,00
Dinámico SLD Y	Viga 12	0,00	0,00	0,00
Dinámico SLD Y	Viga 14	0,00	0,00	0,00
Dinámico SLD Y	Viga 15	0,00	0,00	0,00
Dinámico SLD Y	Viga 16	0,00	0,00	0,00
Dinámico SLD Y	Viga 17	0,00	0,00	0,00
Dinámico SLD Y	Viga 25	0,00	0,00	0,00
Dinámico SLD Y	Viga 29	0,00	0,00	0,00
Dinámico SLD Y	Viga 31	0,00	0,00	0,00
Dinámico SLD Y	Viga 32	0,00	0,00	0,00
Dinámico SLD Y	Viga 33	0,00	0,00	0,00
Dinámico SLD Y	Viga 34	0,00	0,00	0,00

Fuerzas y momentos resultantes en la base de la estructura

En este capítulo se describen los valores de las acciones actuantes en la base de los muros y los pilares de la planta baja. Con respecto a los muros, la primera fila de la tabla muestra los valores de las acciones relacionadas con la combinación ELU que maximiza la fuerza axial, la segunda fila muestra los valores de las acciones relacionadas con la combinación ELU sísmica u horizontal que maximiza el momento actuando en el plano del muro M3-3 y la fuerza cortante V2 (actuando también en el plano del muro) y que, al mismo tiempo, minimiza la fuerza axial N. A continuación, se informa de las acciones en la base de los muros asociadas con las diferentes cargas consideradas individualmente.

Muros

- Nombre del muro: Muro ID
- N: Fuerza axial total
- V2: Fuerza cortante (en plano)
- V3: Fuerza cortante (fuera de plano)
- M2-2: Momento flector (fuera de plano)
- M3-3: Momento flector (en plano)

Nombre de muro	Longitud [m]	Carga/ Comb.	N [kN]	V2 [kN]	V3 [kN]	M2-2 [kNm]	M3-3 [kNm]		
Muro 2	27,15	ELU 29	135,80	0,00	0,00	0,00	0,00		
		ELU Horizontal 3	73,09	1,41	0,00	0,00	0,71		
		G1	15,43	0,00	0,00	0,00	0,00		
		G2	57,65	0,00	0,00	0,00	0,00		
		Q cat H	24,75	0,00	0,00	0,00	0,00		
		Nieve	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		
		Viento normal	-58,20	0,00	7,42	0,00	0,00		
		Viento X	0,00	0,94	0,00	0,00	0,47		
		Viento Y	0,00	0,10	0,00	0,00	0,05		
		Dinámico SLV X	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		
		Dinámico SLV Y	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		
		Dinámico SLD X	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		
		Dinámico SLD Y	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		
		Muro 6	19,50	ELU 29	109,05	0,00	0,00	0,00	0,00
				ELU Horizontal 3	58,23	1,13	0,00	0,00	0,56
G1	11,81			0,00	0,00	0,00	0,00		
G2	46,43			0,00	0,00	0,00	0,00		
Q cat H	20,29			0,00	0,00	0,00	0,00		
Nieve	0,00			0,00	0,00	0,00	0,00		
Viento normal	-47,76			0,00	5,33	0,00	0,00		
Viento X	0,00			0,75	0,00	0,00	0,38		
Viento Y	0,00			0,14	0,00	0,00	0,07		
Dinámico SLV X	0,00			0,00	0,00	0,00	0,00		
Dinámico SLV Y	0,00			0,00	0,00	0,00	0,00		
Dinámico SLD X	0,00			0,00	0,00	0,00	0,00		
Dinámico SLD Y	0,00			0,00	0,00	0,00	0,00		
Muro 7	3,21			ELU 29	12,65	0,00	0,00	0,00	0,00
				ELU Horizontal 4	7,05	0,92	0,00	0,00	0,46
		G1	1,90	0,00	0,00	0,00	0,00		
		G2	5,14	0,00	0,00	0,00	0,00		
		Q cat H	2,09	0,00	0,00	0,00	0,00		
		Nieve	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		
		Viento normal	-4,91	0,00	0,88	0,00	0,00		
		Viento X	0,00	0,02	0,00	0,00	0,01		
		Viento Y	0,00	0,62	0,00	0,00	0,31		
		Dinámico SLV X	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		
		Dinámico SLV Y	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		
		Dinámico SLD X	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		
		Dinámico SLD Y	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		

Muro 8	4,61	ELU 29	12,56	0,00	0,00	0,00	0,00
		ELU Horizontal 3	7,26	0,25	0,00	0,00	0,13
		G1	2,21	0,00	0,00	0,00	0,00
		G2	5,05	0,00	0,00	0,00	0,00
		Q cat H	1,84	0,00	0,00	0,00	0,00
		Nieve	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
		Viento normal	-4,31	0,00	1,26	0,00	0,00
		Viento X	0,00	0,17	0,00	0,00	0,08
		Viento Y	0,00	0,04	0,00	0,00	0,02
		Dinámico SLV X	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
		Dinámico SLV Y	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
		Dinámico SLD X	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
		Dinámico SLD Y	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
		Muro 9	10,40	ELU 29	37,08	0,00	0,00
ELU Horizontal 4	20,62			3,38	0,00	0,00	1,69
G1	5,17			0,00	0,00	0,00	0,00
G2	15,45			0,00	0,00	0,00	0,00
Q cat H	6,16			0,00	0,00	0,00	0,00
Nieve	0,00			0,00	0,00	0,00	0,00
Viento normal	-14,46			0,00	2,84	0,00	0,00
Viento X	0,00			0,05	0,00	0,00	0,02
Viento Y	0,00			2,25	0,00	0,00	1,13
Dinámico SLV X	0,00			0,00	0,00	0,00	0,00
Dinámico SLV Y	0,00			0,00	0,00	0,00	0,00
Dinámico SLD X	0,00			0,00	0,00	0,00	0,00
Dinámico SLD Y	0,00			0,00	0,00	0,00	0,00
Muro 13	3,16			ELU 29	13,00	0,00	0,00
		ELU Horizontal 4	7,23	0,88	0,00	0,00	0,44
		G1	1,95	0,00	0,00	0,00	0,00
		G2	5,28	0,00	0,00	0,00	0,00
		Q cat H	2,16	0,00	0,00	0,00	0,00
		Nieve	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
		Viento normal	-5,09	0,00	0,86	0,00	0,00
		Viento X	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00
		Viento Y	0,00	0,59	0,00	0,00	0,29
		Dinámico SLV X	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
		Dinámico SLV Y	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
		Dinámico SLD X	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
		Dinámico SLD Y	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
		Muro 14	4,47	ELU 29	12,64	0,00	0,00
ELU Horizontal 3	7,28			0,23	0,00	0,00	0,12
G1	2,19			0,00	0,00	0,00	0,00
G2	5,09			0,00	0,00	0,00	0,00
Q cat H	1,88			0,00	0,00	0,00	0,00
Nieve	0,00			0,00	0,00	0,00	0,00
Viento normal	-4,41			0,00	1,22	0,00	0,00
Viento X	0,00			0,16	0,00	0,00	0,08
Viento Y	0,00			0,03	0,00	0,00	0,02
Dinámico SLV X	0,00			0,00	0,00	0,00	0,00
Dinámico SLV Y	0,00			0,00	0,00	0,00	0,00
Dinámico SLD X	0,00			0,00	0,00	0,00	0,00
Dinámico SLD Y	0,00			0,00	0,00	0,00	0,00
Muro 15	10,25			ELU 29	37,81	0,00	0,00
		ELU Horizontal 4	20,96	3,21	0,00	0,00	1,61
		G1	5,20	0,00	0,00	0,00	0,00
		G2	15,76	0,00	0,00	0,00	0,00
		Q cat H	6,34	0,00	0,00	0,00	0,00
		Nieve	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
		Viento normal	-15,17	0,00	2,80	0,00	0,00
		Viento X	0,00	0,06	0,00	0,00	0,03
		Viento Y	0,00	2,14	0,00	0,00	1,07
		Dinámico SLV X	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
		Dinámico SLV Y	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
		Dinámico SLD X	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
		Dinámico SLD Y	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Pilares- sobre cerchas

Nombre del pilar: Pilar ID

N: Fuerza axial total

Nombre del pilar	Carga / Comb.	N [kN]
Pilar 7	ELU 29	38,52
	G1	4,07
	G2	15,72
	Q cat H	7,86
	Nieve	0,00

	Viento normal	-18,49
	Viento X	0,00
	Viento Y	0,00
	Dinámico SLV X	0,00
	Dinámico SLV Y	0,00
	Dinámico SLD X	0,00
	Dinámico SLD Y	0,00
Pilar 9	ELU 29	36,97
	G1	4,43
	G2	14,76
	Q cat H	7,38
	Nieve	0,00
	Viento normal	-17,34
	Viento X	0,00
	Viento Y	0,00
	Dinámico SLV X	0,00
	Dinámico SLV Y	0,00
	Dinámico SLD X	0,00
	Dinámico SLD Y	0,00
Pilar 12	ELU 29	38,51
	G1	4,08
	G2	15,72
	Q cat H	7,86
	Nieve	0,00
	Viento normal	-18,49
	Viento X	0,00
	Viento Y	0,00
	Dinámico SLV X	0,00
	Dinámico SLV Y	0,00
	Dinámico SLD X	0,00
	Dinámico SLD Y	0,00
Pilar 15	ELU 29	38,47
	G1	4,07
	G2	15,70
	Q cat H	7,85
	Nieve	0,00
	Viento normal	-18,47
	Viento X	0,00
	Viento Y	0,00
	Dinámico SLV X	0,00
	Dinámico SLV Y	0,00
	Dinámico SLD X	0,00
	Dinámico SLD Y	0,00
Pilar 17	ELU 29	35,10
	G1	3,66
	G2	14,36
	Q cat H	7,18
	Nieve	0,00
	Viento normal	-16,87
	Viento X	0,00
	Viento Y	0,00
	Dinámico SLV X	0,00
	Dinámico SLV Y	0,00
	Dinámico SLD X	0,00
	Dinámico SLD Y	0,00
Pilar 19	ELU 29	14,48
	G1	2,34
	G2	5,39
	Q cat H	2,69
	Nieve	0,00
	Viento normal	-6,33
	Viento X	0,00
	Viento Y	0,00
	Dinámico SLV X	0,00
	Dinámico SLV Y	0,00
	Dinámico SLD X	0,00
	Dinámico SLD Y	0,00
Pilar 21	ELU 29	18,03
	G1	2,76
	G2	6,81
	Q cat H	3,41
	Nieve	0,00
	Viento normal	-8,00
	Viento X	0,00
	Viento Y	0,00
	Dinámico SLV X	0,00
	Dinámico SLV Y	0,00
	Dinámico SLD X	0,00
	Dinámico SLD Y	0,00
Pilar 23	ELU 29	45,60
	G1	5,36
	G2	18,27
	Q cat H	9,14
	Nieve	0,00
	Viento normal	-21,66
	Viento X	0,00
	Viento Y	0,00
	Dinámico SLV X	0,00
	Dinámico SLV Y	0,00

	Dinámico SLD X	0,00
	Dinámico SLD Y	0,00
Pilar 27	ELU 29	15,14
	G1	2,41
	G2	5,66
	Q cat H	2,83
	Nieve	0,00
	Viento normal	-6,70
	Viento X	0,00
	Viento Y	0,00
	Dinámico SLV X	0,00
	Dinámico SLV Y	0,00
	Dinámico SLD X	0,00
	Dinámico SLD Y	0,00
Pilar 32	ELU 29	19,12
	G1	2,86
	G2	7,26
	Q cat H	3,63
	Nieve	0,00
	Viento normal	-8,53
	Viento X	0,00
	Viento Y	0,00
	Dinámico SLV X	0,00
	Dinámico SLV Y	0,00
	Dinámico SLD X	0,00
	Dinámico SLD Y	0,00

Diseño de elementos estructurales

Forjados de Viguetas / Forjados laminados sólidos

Resistencia a flexión

Los controles se realizan de acuerdo con el § 6.3.2 de la EN 1995-1-1. Se deberá cumplir la siguiente expresión:

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

donde:

$\sigma_{m,d}$ es el esfuerzo a flexión de diseño;

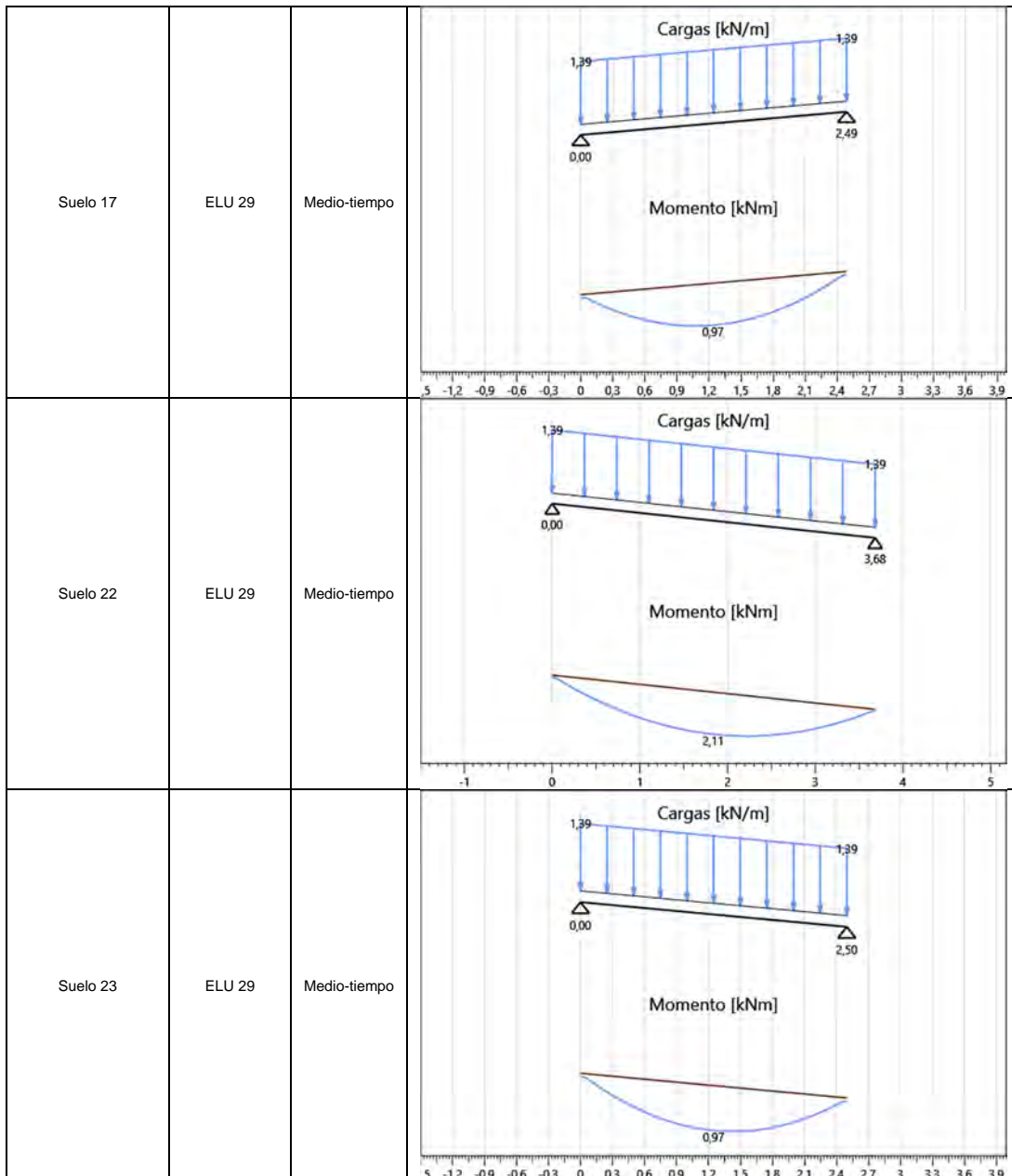
$f_{m,d}$ es la Resistencia de diseño a flexión;

k_{crit} es el factor que tiene en cuenta la reducción del momento flector debido al pandeo lateral;

k_{crit} se supone igual a 1,0 para vigas en las que se evita el desplazamiento lateral del borde comprimido en toda la longitud y se evita la rotación de torsión en los soportes.

Nombre del forjado	Combinación	Duración	Diagrama M ₃₋₃
Suelo 1	ELU 29	Medio-tiempo	
Suelo 7	ELU 29	Medio-tiempo	

Suelo 8	ELU 29	Medio-tiempo	<p>Cargas [kN/m]</p> <p>Momento [kNm]</p>
Suelo 11	ELU 29	Medio-tiempo	<p>Cargas [kN/m]</p> <p>Momento [kNm]</p>
Suelo 12	ELU 29	Medio-tiempo	<p>Cargas [kN/m]</p> <p>Momento [kNm]</p>
Suelo 16	ELU 29	Medio-tiempo	<p>Cargas [kN/m]</p> <p>Momento [kNm]</p>



A continuación se resumen las comprobaciones. Los valores resultantes de los cálculos, relativos a cada verificación, se presentan en forma de porcentaje.

Nombre del forjado	Sección	M ₃₋₃ max [kNm]	W [mm ³]	k _{crit}	Comb.	Clase de servicio	k _h	k _{mod}	γ _M	f _{m,d} [MPa]	σ _{m,d} [MPa]	Check
Suelo 1	cubierta 12 x 16	2,44	512000	1,00	ELU 29	1	1,00	0,8	1,3	14,77	4,77	32%
Suelo 7	cubierta 12 x 16	2,14	512000	1,00	ELU 29	1	1,00	0,8	1,3	14,77	4,18	28%
Suelo 8	cubierta 12 x 16	2,42	512000	1,00	ELU 29	1	1,00	0,8	1,3	14,77	4,72	32%
Suelo 11	cubierta 12 x 16	0,88	512000	1,00	ELU 29	1	1,00	0,8	1,3	14,77	1,72	12%
Suelo 12	cubierta 12 x 16	0,86	512000	1,00	ELU 29	1	1,00	0,8	1,3	14,77	1,67	11%
Suelo 16	cubierta 12 x 16	0,85	512000	1,00	ELU 29	1	1,00	0,8	1,3	14,77	1,66	11%
Suelo 17	cubierta 12 x 16	0,97	512000	1,00	ELU 29	1	1,00	0,8	1,3	14,77	1,89	13%
Suelo 22	cubierta 12 x 16	2,11	512000	1,00	ELU 29	1	1,00	0,8	1,3	14,77	4,13	28%
Suelo 23	cubierta 12 x 16	0,97	512000	1,00	ELU 29	1	1,00	0,8	1,3	14,77	1,90	13%

Resistencia a cortante

Las comprobaciones se realizan conforme al 6.1.7 of EN 1995-1-1. Se deberá satisfacer la siguiente expresión:

$$\frac{\tau_d}{f_{v,d}} \leq 1$$

donde:

τ_d es el esfuerzo cortante de diseño;

$f_{v,d}$ es la fuerza cortante de diseño para la condición real.

Para la verificación de la resistencia a corte de los elementos en flexión, las influencias de las fisuras deben ser tenidas en cuenta usando una anchura efectiva del elemento dada como:

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

Donde b es la anchura de la sección relevante del elemento.

El siguiente valor de k_{cr} es usado

$k_{cr} = 0,67 (\leq 1)$ para madera sólida

$k_{cr} = 0,67 (\leq 1)$ para madera laminada encolada

El esfuerzo cortante de diseño máximo en una sección transversal rectangular se puede calcular usando la siguiente expresión:

$$\tau_d = \frac{3}{2} \cdot \frac{V_d}{k_{cr} \cdot A}$$

donde A es el área de una sección transversal de la vigueta.

La siguiente tabla muestra los esquemas estructurales y la envolvente de los diagramas de esfuerzos cortantes para las viguetas de cada forjado con los controles más estrictos.

Nombre del forjado	Combinación	Duración	Diagrama V_2
Suelo 1	ELU 29	Medio-tiempo	

Suelo 7	ELU 29	Medio-tiempo	<p>The diagrams for Suelo 7 show a uniformly distributed load of 1.39 kN/m over a 4m span. The load diagram is labeled 'Cargas [kN/m]' and the shear force diagram is labeled 'Cortante [kN]'. The shear force starts at 2.30 kN at the left support and decreases to -2.30 kN at the right support. The right support is at an elevation of 3.70.</p>
Suelo 8	ELU 29	Medio-tiempo	<p>The diagrams for Suelo 8 show a uniformly distributed load of 1.39 kN/m over a 4m span. The load diagram is labeled 'Cargas [kN/m]' and the shear force diagram is labeled 'Cortante [kN]'. The shear force starts at 2.44 kN at the left support and decreases to -2.44 kN at the right support. The right support is at an elevation of 3.95.</p>
Suelo 11	ELU 29	Medio-tiempo	<p>The diagrams for Suelo 11 show a uniformly distributed load of 1.39 kN/m over a 2.4m span. The load diagram is labeled 'Cargas [kN/m]' and the shear force diagram is labeled 'Cortante [kN]'. The shear force starts at 1.47 kN at the left support and decreases to -1.46 kN at the right support. The right support is at an elevation of 2.38.</p>
Suelo 12	ELU 29	Medio-tiempo	<p>The diagrams for Suelo 12 show a uniformly distributed load of 1.39 kN/m over a 2.4m span. The load diagram is labeled 'Cargas [kN/m]' and the shear force diagram is labeled 'Cortante [kN]'. The shear force starts at 1.45 kN at the left support and decreases to -1.44 kN at the right support. The right support is at an elevation of 2.34.</p>

Suelo 16	ELU 29	Medio-tiempo	
Suelo 17	ELU 29	Medio-tiempo	
Suelo 22	ELU 29	Medio-tiempo	
Suelo 23	ELU 29	Medio-tiempo	

Las comprobaciones se resumen a continuación. Los valores resultantes de los cálculos, relativos a cada comprobación, son mostrados en forma de porcentaje.

Nombre del forjado	Sección	$V_{2, \max}$ [kN]	Area [mm ²]	k_{cr}	Comb.	Clase de servicio	k_{mod}	γ_M	$f_{v,d}$ [MPa]	$\tau_{2,d}$ [MPa]	Check
--------------------	---------	--------------------	-------------------------	----------	-------	-------------------	-----------	------------	-----------------	--------------------	-------

Suelo 1	cubierta 12 x 16	2,46	19200	0,67	ELU 29	1	0,8	1,3	2,46	0,29	12%
Suelo 7	cubierta 12 x 16	2,30	19200	0,67	ELU 29	1	0,8	1,3	2,46	0,27	11%
Suelo 8	cubierta 12 x 16	2,44	19200	0,67	ELU 29	1	0,8	1,3	2,46	0,28	12%
Suelo 11	cubierta 12 x 16	1,47	19200	0,67	ELU 29	1	0,8	1,3	2,46	0,17	7%
Suelo 12	cubierta 12 x 16	1,45	19200	0,67	ELU 29	1	0,8	1,3	2,46	0,17	7%
Suelo 16	cubierta 12 x 16	1,44	19200	0,67	ELU 29	1	0,8	1,3	2,46	0,17	7%
Suelo 17	cubierta 12 x 16	1,54	19200	0,67	ELU 29	1	0,8	1,3	2,46	0,18	7%
Suelo 22	cubierta 12 x 16	2,28	19200	0,67	ELU 29	1	0,8	1,3	2,46	0,27	11%
Suelo 23	cubierta 12 x 16	1,55	19200	0,67	ELU 29	1	0,8	1,3	2,46	0,18	7%

Deformaciones de forjados (ELS)

Las comprobaciones de deformación son analizadas de acuerdo con § 2.2.3 of EN 1995-1-1.

La deflexión neta bajo una línea recta entre dos soportes, $w_{net,fin}$, se toma como:

$$w_{net,fin} = w_{inst} + w_{creep} - w_c = w_{fin} - w_c$$

donde:

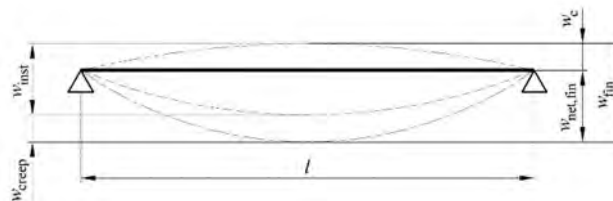
$w_{net,fin}$ es la deformación neta final;

w_{inst} es la deformación instantánea;

w_{creep} es la deformación diferida;

w_c es la contraflecha (si se aplica);

w_{fin} es la deformación final.



Los valores límite para las deformaciones de los forjados son supuestos tal y como se muestran en la siguiente tabla.

Deformación límite	$w_{inst, span}$	$w_{net, fin, span}$	$w_{inst, overhang}$	$w_{net, fin, overhang}$	Ignorar deformación negativa para voladizos
Forjado	$l/300$	$l/250$	$l/150$	$l/125$	Si

Deformación instantánea

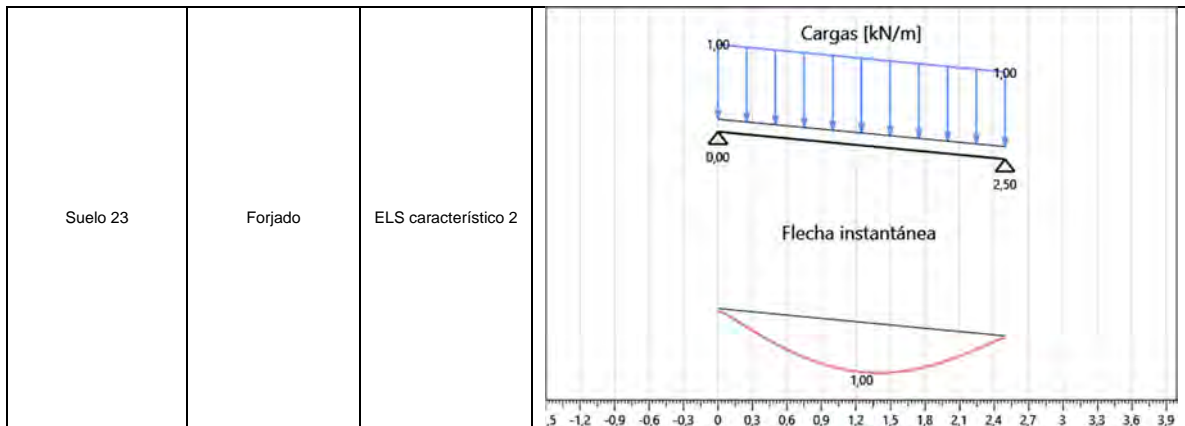
La deformación instantánea w_{inst} se calcula para la combinación característica de acciones (excepcional).

La siguiente tabla muestra la deformación de cada forjado (relativa a la comprobación del elemento con la deformación más desfavorable).

Nombre del Forjado	Deformación límite	Combinación	Deformación instantánea
--------------------	--------------------	-------------	-------------------------

Suelo 1	Forjado	ELS característico 2	
Suelo 7	Forjado	ELS característico 2	
Suelo 8	Forjado	ELS característico 2	
Suelo 11	Forjado	ELS característico 2	

Suelo 12	Forjado	ELS característico 2	<p>Cargas [kN/m]</p> <p>Flecha instantánea</p>
Suelo 16	Forjado	ELS característico 2	<p>Cargas [kN/m]</p> <p>Flecha instantánea</p>
Suelo 17	Forjado	ELS característico 2	<p>Cargas [kN/m]</p> <p>Flecha instantánea</p>
Suelo 22	Forjado	ELS característico 2	<p>Cargas [kN/m]</p> <p>Flecha instantánea</p>



La tabla siguiente muestra las validaciones de deformación instantánea para los elementos forjado.

Nombre del forjado	Sección	Combinación	Validación más restrictiva	w_{inst} [mm]	w_{inst} limit [mm]	Límite de deformación	Check
Suelo 1	cubierta 12 x 16	ELS característico 2	Vano interno	6,35	13,20	l/300	48%
Suelo 7	cubierta 12 x 16	ELS característico 2	Vano interno	4,86	12,34	l/300	39%
Suelo 8	cubierta 12 x 16	ELS característico 2	Vano interno	6,22	13,14	l/300	47%
Suelo 11	cubierta 12 x 16	ELS característico 2	Vano interno	0,82	7,92	l/300	10%
Suelo 12	cubierta 12 x 16	ELS característico 2	Vano interno	0,78	7,82	l/300	10%
Suelo 16	cubierta 12 x 16	ELS característico 2	Vano interno	0,76	7,78	l/300	10%
Suelo 17	cubierta 12 x 16	ELS característico 2	Vano interno	0,99	8,30	l/300	12%
Suelo 22	cubierta 12 x 16	ELS característico 2	Vano interno	4,74	12,28	l/300	39%
Suelo 23	cubierta 12 x 16	ELS característico 2	Vano interno	1,00	8,33	l/300	12%

Deformación final

Para estructuras que consisten en miembros, componentes y conexiones con el mismo comportamiento de fluencia y bajo el supuesto de una relación lineal entre las acciones y las correspondientes deformaciones de la deformación final, w_{fin} , puede ser tomada como:

$$w_{fin} = w_{fin,G} + w_{fin,Q1} + \sum w_{fin,Qi}$$

donde:

$$w_{fin,G} = w_{inst,G} \cdot (1 + k_{def}) \quad \text{para acción permanente, G}$$

$$w_{fin,Q,1} = w_{inst,Q,1} \cdot (1 + \Psi_{2,1} \cdot k_{def}) \quad \text{para la acción variable principal, Q}_1$$

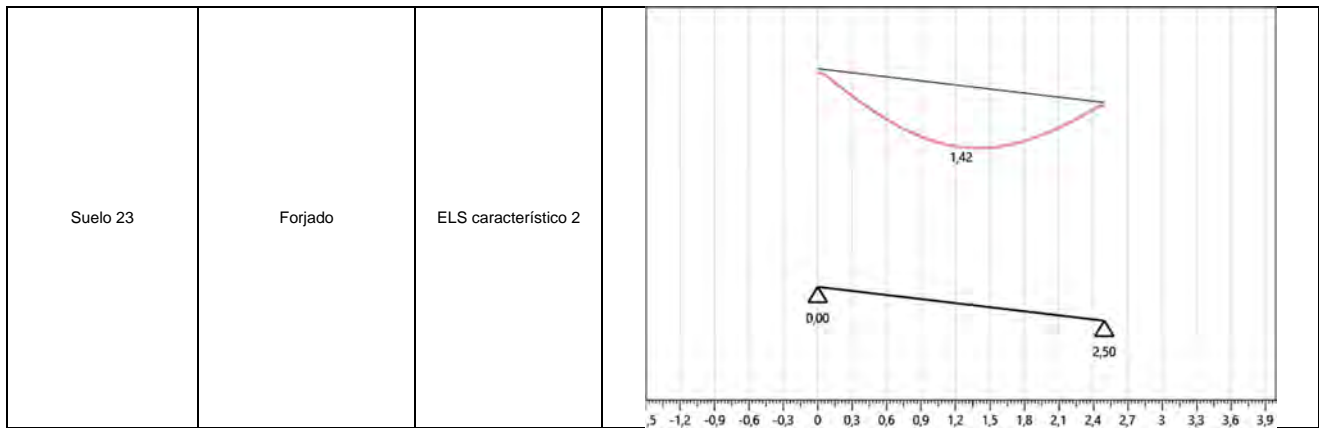
$$w_{fin,Q,i} = w_{inst,Q,i} \cdot (\Psi_{0,i} + \Psi_{2,1} \cdot k_{def}) \quad \text{para el resto de acciones variables, Q}_i (i>1)$$

La siguiente tabla muestra la deformación de cada forjado (relativa al elemento, en el cual, la comprobación de deformación es más desfavorable).

Nombre del forjado	Límite de deformación	Combinación	Deformación final
--------------------	-----------------------	-------------	-------------------

Suelo 1	Forjado	ELS característico 2	
Suelo 7	Forjado	ELS característico 2	
Suelo 8	Forjado	ELS característico 2	
Suelo 11	Forjado	ELS característico 2	

Suelo 12	Forjado	ELS característico 2	
Suelo 16	Forjado	ELS característico 2	
Suelo 17	Forjado	ELS característico 2	
Suelo 22	Forjado	ELS característico 2	



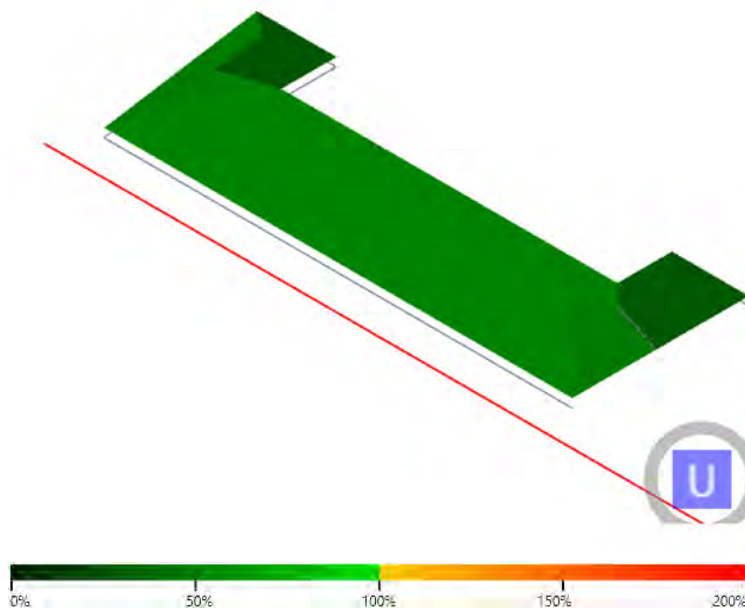
La tabla siguiente muestra la deformación final validada en los elementos forjado.

Nombre del forjado	Sección	Combinación	Clase de uso	k_{def}	Validación más restrictiva	w_{fin} [mm]	w_{fin} limit [mm]	Límite de deformación	Check
Suelo 1	cubierta 12 x 16	ELS característico 2	1	0,6	Vano interno	9,01	15,84	l/250	57%
Suelo 7	cubierta 12 x 16	ELS característico 2	1	0,6	Vano interno	6,89	14,81	l/250	47%
Suelo 8	cubierta 12 x 16	ELS característico 2	1	0,6	Vano interno	8,82	15,77	l/250	56%
Suelo 11	cubierta 12 x 16	ELS característico 2	1	0,6	Vano interno	1,16	9,51	l/250	12%
Suelo 12	cubierta 12 x 16	ELS característico 2	1	0,6	Vano interno	1,10	9,38	l/250	12%
Suelo 16	cubierta 12 x 16	ELS característico 2	1	0,6	Vano interno	1,08	9,34	l/250	12%
Suelo 17	cubierta 12 x 16	ELS característico 2	1	0,6	Vano interno	1,40	9,96	l/250	14%
Suelo 22	cubierta 12 x 16	ELS característico 2	1	0,6	Vano interno	6,73	14,73	l/250	46%
Suelo 23	cubierta 12 x 16	ELS característico 2	1	0,6	Vano interno	1,42	9,99	l/250	14%

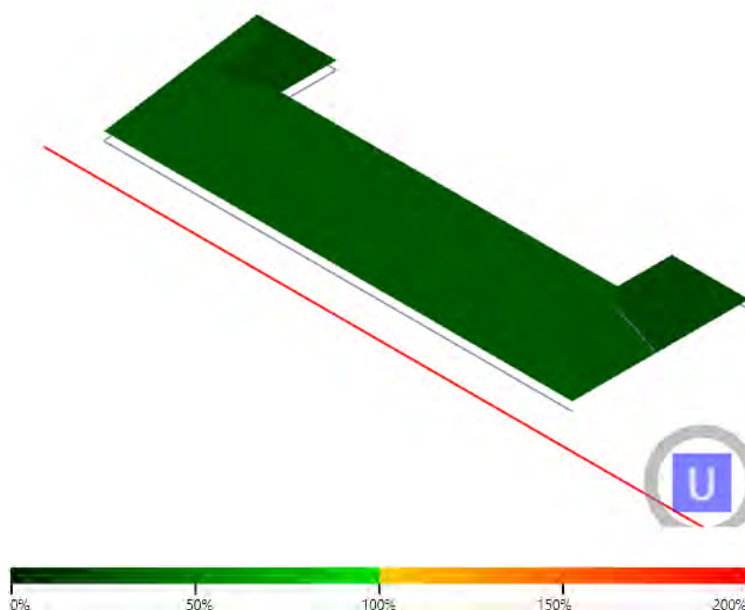
Porcentaje de verificación de forjados

Estado Límite Último (ULS)

Comprobación a flexión

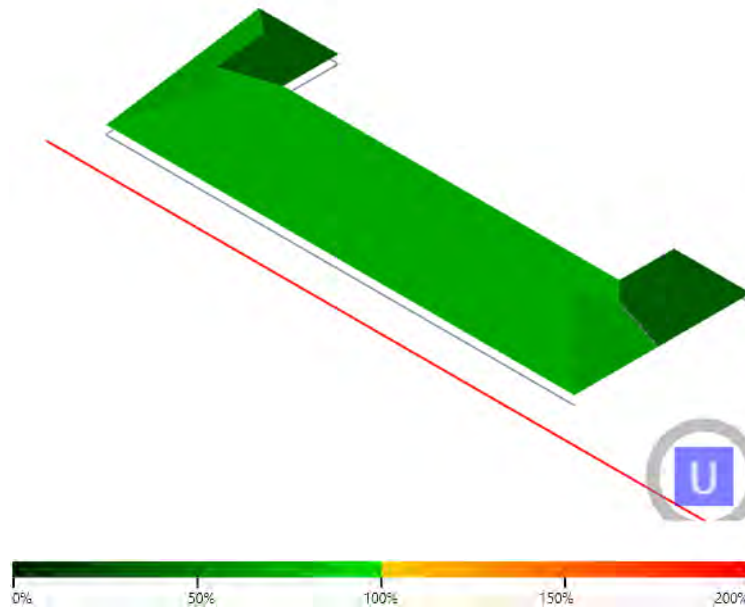


Comprobación a cortante



Estado Límite de Servicio (SLS)

Comprobación a deformación



Vigas de madera

Resistencia a flexión

Los controles se realizan de acuerdo con el § 6.3.2 de la EN 1995-1-1. Se deberá cumplir la siguiente expresión:

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

donde:

$\sigma_{m,d}$ esfuerzo de flexión de diseño;

$f_{m,d}$ es la resistencia a la flexión de diseño;

k_{crit} es un factor que tiene en cuenta la resistencia a la flexión reducida debida al pandeo lateral.

El factor k_{crit} es asumido igual a 1.0 para vigas en las cuales el desplazamiento lateral del borde comprimido sobre toda la longitud y se impide la rotación de torsión en los soportes. De lo contrario, el factor se determina a partir de la siguiente expresión:

$$k_{crit} = \begin{cases} 1,00 & \text{for } \lambda_{rel,m} \leq 0,75 \\ 1,56 - 0,75 \cdot \lambda_{rel,m} & \text{for } 0,75 \leq \lambda_{rel,m} \leq 1,40 \\ 1/\lambda_{rel,m}^2 & \text{for } \lambda_{rel,m} > 1,40 \end{cases}$$

En la que la esbeltez relativa para la flexión se toma como:

$$\lambda_{rel,m} = \sqrt{\frac{f_{m,k}}{\sigma_{m,crit}}}$$

y $\sigma_{m,crit}$, la tensión crítica calculada de acuerdo con la teoría clásica de la estabilidad se toma como:

$$\sigma_{m,crit} = \frac{M_{y,crit}}{W_y} = \frac{\pi \sqrt{E_{0,05} I_z G_{0,05} I_{tor}}}{l_{ef} W_y}$$

donde:

$E_{0,05}$ es el valor de percentil quinto del módulo de elasticidad paralelo a la fibra;

$G_{0,05}$ es el valor del percentil quinto del módulo cortante paralelo a la fibra;

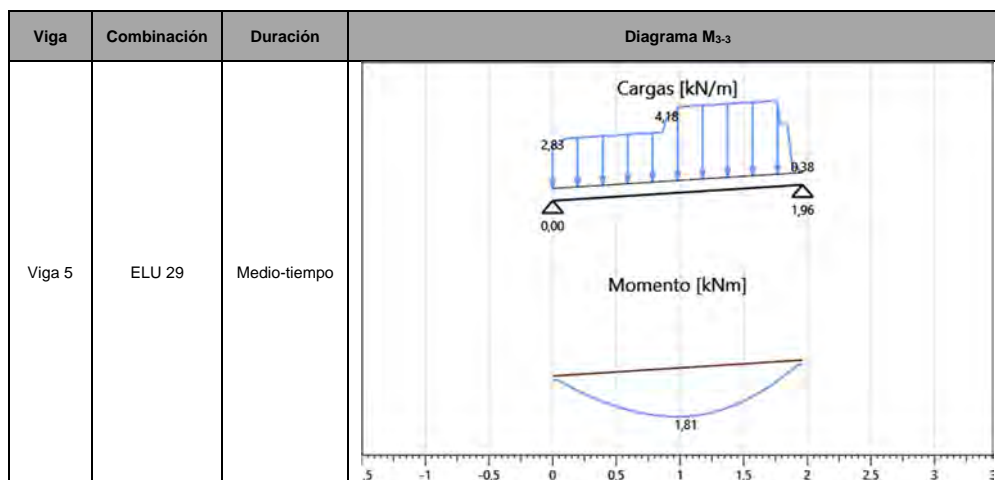
I_z es el segundo momento del área alrededor del eje débil z;

I_{tor} es el momento de inercia de torsión;

l_{ef} es la longitud efectiva de la viga, dependiendo de las condiciones de soporte y de la configuración de la carga;

W_y es el módulo de sección sobre el eje fuerte y.

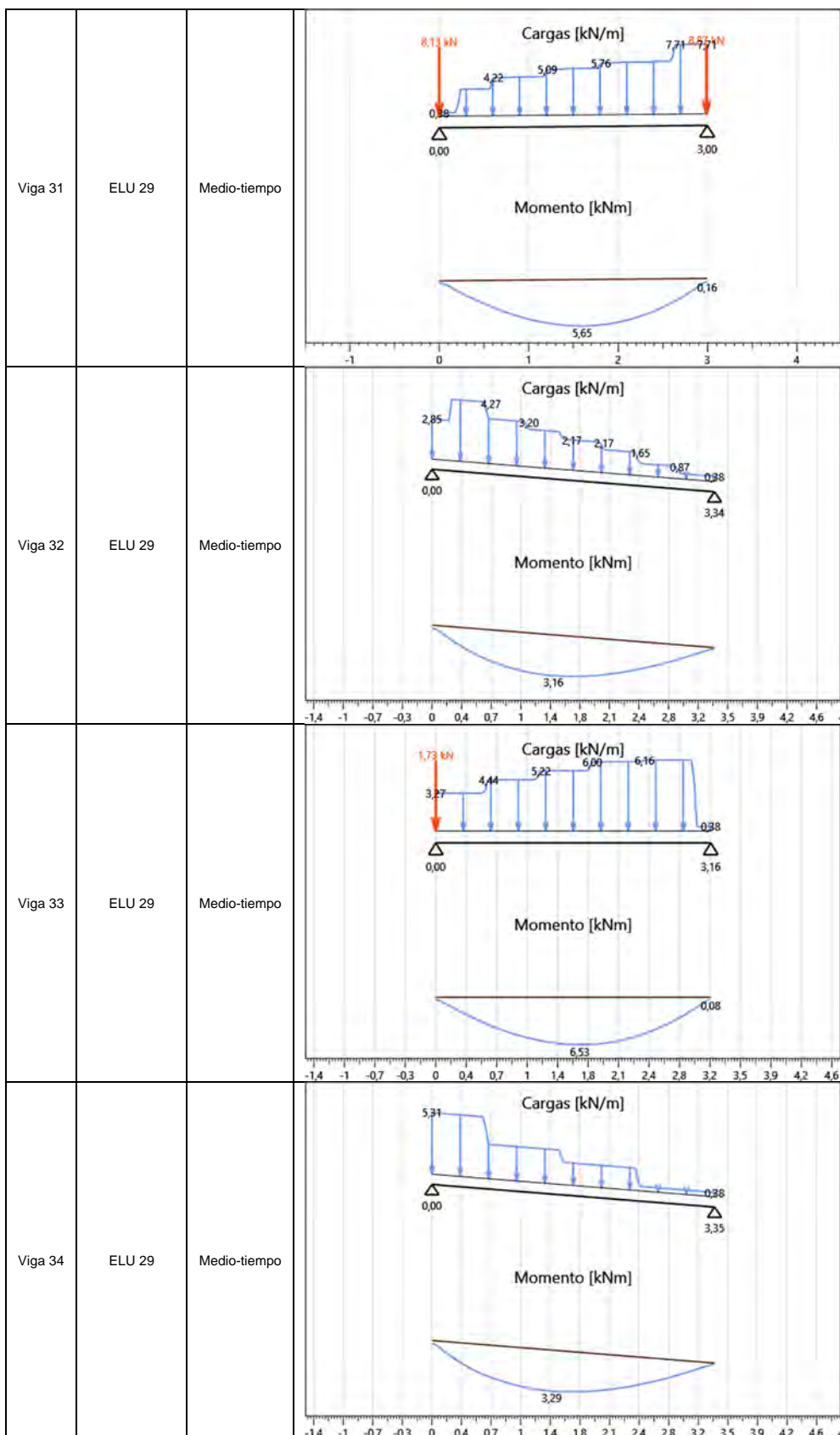
La siguiente tabla muestra, para cada viga, el momento flector relativo a la peor combinación de los Estados Límite Últimos.



Viga 7	ELU 29	Medio-tiempo	
Viga 8	ELU 29	Medio-tiempo	
Viga 9	ELU 29	Medio-tiempo	
Viga 10	ELU 29	Medio-tiempo	

Viga 11	ELU 29	Medio-tiempo	<p>The diagram for Viga 11 shows a beam of length 3.96 m. The load distribution (Cargas [kN/m]) is a uniform load of 4.99 kN/m with a point load of 18.65 kN at the right end. The moment distribution (Momento [kNm]) shows a maximum moment of 18.68 kNm at the center of the beam and a value of 0.18 kNm at the right end.</p>
Viga 12	ELU 29	Medio-tiempo	<p>The diagram for Viga 12 shows a beam of length 2.58 m. The load distribution (Cargas [kN/m]) starts at 5.22 kN/m and decreases to 3.06 kN/m. The moment distribution (Momento [kNm]) shows a maximum moment of 3.58 kNm at the center and a value of 0.08 kNm at the right end.</p>
Viga 14	ELU 29	Medio-tiempo	<p>The diagram for Viga 14 shows a beam of length 3.43 m. The load distribution (Cargas [kN/m]) starts at 3.25 kN/m and decreases to 0.98 kN/m. The moment distribution (Momento [kNm]) shows a maximum moment of 3.10 kNm at the center and a value of 0.98 kNm at the right end.</p>
Viga 15	ELU 29	Medio-tiempo	<p>The diagram for Viga 15 shows a beam of length 3.22 m. The load distribution (Cargas [kN/m]) starts at 5.08 kN/m and decreases to 0.98 kN/m. The moment distribution (Momento [kNm]) shows a maximum moment of 2.89 kNm at the center and a value of 0.98 kNm at the right end.</p>

Viga 16	ELU 29	Medio-tiempo	<p>Cargas [kN/m]</p> <p>Momento [kNm]</p> <p>Diagram showing load distribution (Cargas) and moment distribution (Momento) for Viga 16. The load diagram shows a trapezoidal load with values: 0,88, 1,20, 2,15, 3,67, 5,43, 4,03. The moment diagram shows a parabolic curve with a maximum value of 2,97 and a value of 0,05 at the right end. The x-axis ranges from -1 to 4.</p>
Viga 17	ELU 29	Medio-tiempo	<p>Cargas [kN/m]</p> <p>Momento [kNm]</p> <p>Diagram showing load distribution (Cargas) and moment distribution (Momento) for Viga 17. The load diagram shows a trapezoidal load with values: 6,57, 5,57, 4,94, 3,83, 2,73, 1,65, 0,88. The moment diagram shows a parabolic curve with a maximum value of 10,51 and a value of 0,07 at the right end. The x-axis ranges from -1,4 to 6,3.</p>
Viga 25	ELU 29	Medio-tiempo	<p>Cargas [kN/m]</p> <p>Momento [kNm]</p> <p>Diagram showing load distribution (Cargas) and moment distribution (Momento) for Viga 25. The load diagram shows a trapezoidal load with values: 0,88, 1,94, 2,98, 4,01, 5,05, 6,60, 6,60. The moment diagram shows a parabolic curve with a maximum value of 11,84 and a value of 0,19 at the right end. The x-axis ranges from -1 to 6.</p>
Viga 29	ELU 29	Medio-tiempo	<p>Cargas [kN/m]</p> <p>Momento [kNm]</p> <p>Diagram showing load distribution (Cargas) and moment distribution (Momento) for Viga 29. The load diagram shows a trapezoidal load with values: 1,73, 0,01, 2,72, 4,09, 7,01, 7,01. The moment diagram shows a parabolic curve with a maximum value of 4,45 and a value of 0,07 at the right end. The x-axis ranges from -1,4 to 4,6.</p>



Las validaciones son descritas a continuación. Los valores resultantes de los cálculos, relativos a cada comprobación, son mostrados en forma de porcentaje.

Nombre de la viga	Sección	M _{3-3 max} [kNm]	W [mm ³]	Restricciones laterales	σ _{m,crit} [MPa]	k _{crit}	Comb.	k _h	k _{mod}	γ _M	f _{m,d} [MPa]	σ _{m,d} [MPa]	Check
-------------------	---------	----------------------------	----------------------	-------------------------	---------------------------	-------------------	-------	----------------	------------------	----------------	------------------------	------------------------	-------

Viga 5	Sección 200x280 GL24	1,81	2613333	No pandeo a torsión	-	1,00	ELU 29	1,00	0,8	1,25	15,36	0,69	5%
Viga 7	Sección 200x280 GL24	15,50	2613333	No pandeo a torsión	-	1,00	ELU 29	1,00	0,8	1,25	15,36	5,93	39%
Viga 8	Sección 200x280 GL24	18,79	2613333	No pandeo a torsión	-	1,00	ELU 29	1,00	0,8	1,25	15,36	7,19	47%
Viga 9	Sección 200x280 GL24	18,80	2613333	No pandeo a torsión	-	1,00	ELU 29	1,00	0,8	1,25	15,36	7,19	47%
Viga 10	Sección 200x280 GL24	18,89	2613333	No pandeo a torsión	-	1,00	ELU 29	1,00	0,8	1,25	15,36	7,23	47%
Viga 11	Sección 200x280 GL24	18,68	2613333	No pandeo a torsión	-	1,00	ELU 29	1,00	0,8	1,25	15,36	7,15	47%
Viga 12	Sección 200x280 GL24	3,58	2613333	No pandeo a torsión	-	1,00	ELU 29	1,00	0,8	1,25	15,36	1,37	9%
Viga 14	Sección 200x280 GL24	3,10	2613333	No pandeo a torsión	-	1,00	ELU 29	1,00	0,8	1,25	15,36	1,19	8%
Viga 15	Sección 200x280 GL24	2,89	2613333	No pandeo a torsión	-	1,00	ELU 29	1,00	0,8	1,25	15,36	1,11	7%
Viga 16	Sección 200x280 GL24	2,97	2613333	No pandeo a torsión	-	1,00	ELU 29	1,00	0,8	1,25	15,36	1,13	7%
Viga 17	Sección 200x280 GL24	10,51	2613333	No pandeo a torsión	-	1,00	ELU 29	1,00	0,8	1,25	15,36	4,02	26%
Viga 25	Sección 200x280 GL24	11,84	2613333	No pandeo a torsión	-	1,00	ELU 29	1,00	0,8	1,25	15,36	4,53	30%
Viga 29	Sección 200x280 GL24	4,45	2613333	No pandeo a torsión	-	1,00	ELU 29	1,00	0,8	1,25	15,36	1,70	11%
Viga 31	Sección 200x280 GL24	5,65	2613333	No pandeo a torsión	-	1,00	ELU 29	1,00	0,8	1,25	15,36	2,16	14%
Viga 32	Sección 200x280 GL24	3,16	2613333	No pandeo a torsión	-	1,00	ELU 29	1,00	0,8	1,25	15,36	1,21	8%
Viga 33	Sección 200x280 GL24	6,53	2613333	No pandeo a torsión	-	1,00	ELU 29	1,00	0,8	1,25	15,36	2,50	16%
Viga 34	Sección 200x280 GL24	3,29	2613333	No pandeo a torsión	-	1,00	ELU 29	1,00	0,8	1,25	15,36	1,26	8%

Fuerza cortante

Los controles se realizan de acuerdo con el § 6.1.7 de la EN 1995-1-1. Se deberá cumplir la siguiente expresión:

$$\frac{\tau_d}{f_{v,d}} \leq 1$$

donde:

τ_d es el esfuerzo cortante de diseño;

$f_{v,d}$ es la fuerza cortante de diseño para la condición real.

Para la verificación de resistencia a cortante de los elementos en flexión, las influencias de las grietas deben ser tenidas en cuenta usando una anchura efectiva de los miembros, dada como:

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

donde b es el ancho de la sección relevante donde el esfuerzo cortante es máximo.

El siguiente valor de k_{cr} es el usado

$k_{cr} = 0,67 (\leq 1)$ para madera maciza

$k_{cr} = 0,67 (\leq 1)$ para madera laminada encolada

El esfuerzo cortante máximo de cálculo en una sección transversal genérica se puede evaluar mediante la siguiente expresión:

$$\tau_d = \frac{V_d \cdot S}{k_{cr} \cdot b \cdot J_{y-y}}$$

S es el momento estático de la sección transversal cortada por el cordón considerado b ;

k_{cr} es el coeficiente que tiene en cuenta la influencia de las fisuras;

b es el lugar donde se evalúa el esfuerzo cortante;

J_{y-y} es el momento de inercia con respecto al eje y .

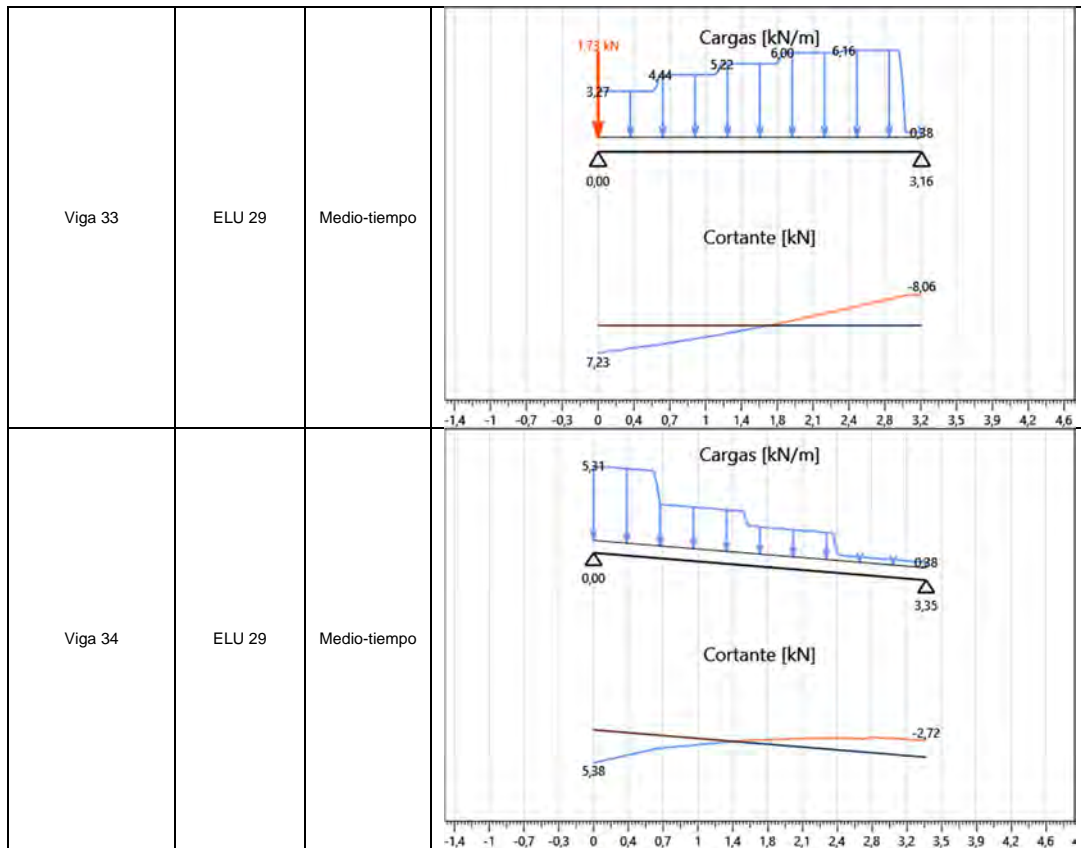
La siguiente tabla muestra el esquema estructural y las envolventes de los diagramas de cortante para cada viga.

Nombre de la viga	Combinación	Duración	Diagrama V_2
Viga 5	ELU 29	Medio-tiempo	
Viga 7	ELU 29	Medio-tiempo	
Viga 8	ELU 29	Medio-tiempo	

Viga 9	ELU 29	Medio-tiempo	<p>The diagram for Viga 9 shows a beam of length 3.96 m. The load distribution (Cargas [kN/m]) starts at 6.96 kN/m at the left support, remains constant until approximately 0.5 m, then increases to 10.08 kN/m for the remainder of the span. The shear force (Cortante [kN]) starts at 18.53 kN at the left support and decreases linearly to -18.71 kN at the right support.</p>
Viga 10	ELU 29	Medio-tiempo	<p>The diagram for Viga 10 shows a beam of length 3.96 m. The load distribution (Cargas [kN/m]) starts at 10.49 kN/m at the left support, decreases to 9.57 kN/m, remains constant until approximately 3.5 m, then increases to 10.97 kN/m and ends at 10.96 kN/m at the right support. The shear force (Cortante [kN]) starts at 19.09 kN at the left support and decreases linearly to -19.48 kN at the right support.</p>
Viga 11	ELU 29	Medio-tiempo	<p>The diagram for Viga 11 shows a beam of length 3.96 m. The load distribution (Cargas [kN/m]) is constant at 4.99 kN/m throughout the span. At the right support, there is a point load of 18.65 kN. The shear force (Cortante [kN]) starts at 18.25 kN at the left support and decreases linearly to -17.69 kN at the right support.</p>
Viga 12	ELU 29	Medio-tiempo	<p>The diagram for Viga 12 shows a beam of length 2.58 m. The load distribution (Cargas [kN/m]) starts at 5.22 kN/m, remains constant until approximately 0.5 m, then decreases to 5.03 kN/m, remains constant until approximately 1.5 m, then decreases to 4.01 kN/m, remains constant until approximately 2.0 m, then decreases to 4.05 kN/m, and finally ends at 3.06 kN/m at the right support. The shear force (Cortante [kN]) starts at 6.73 kN at the left support and decreases linearly to -4.81 kN at the right support.</p>

Viga 14	ELU 29	Medio-tiempo	<p>Cargas [kN/m]</p> <p>Cortante [kN]</p>
Viga 15	ELU 29	Medio-tiempo	<p>Cargas [kN/m]</p> <p>Cortante [kN]</p>
Viga 16	ELU 29	Medio-tiempo	<p>Cargas [kN/m]</p> <p>Cortante [kN]</p>
Viga 17	ELU 29	Medio-tiempo	<p>Cargas [kN/m]</p> <p>Cortante [kN]</p>

Viga 25	ELU 29	Medio-tiempo	<p>Cargas [kN/m]</p> <p>Cortante [kN]</p>
Viga 29	ELU 29	Medio-tiempo	<p>Cargas [kN/m]</p> <p>Cortante [kN]</p>
Viga 31	ELU 29	Medio-tiempo	<p>Cargas [kN/m]</p> <p>Cortante [kN]</p>
Viga 32	ELU 29	Medio-tiempo	<p>Cargas [kN/m]</p> <p>Cortante [kN]</p>



Las comprobaciones se resumen a continuación. Los valores resultantes de los cálculos, relativos a cada comprobación, son mostrados en forma de porcentaje.

Nombre de la viga	Sección	V ₂ max [kN]	b [mm]	S [mm ³]	k _{cr}	Comb.	Clase de uso	k _{mod}	γ _M	f _{v,d} [MPa]	T _{2,d} [MPa]	Check
Viga 5	Sección 200x280 GL24	3,59	200,00	1960000,00	0,67	ELU 29	1	0,8	1,25	2,24	0,14	6%
Viga 7	Sección 200x280 GL24	22,54	200,00	1960000,00	0,67	ELU 29	1	0,8	1,25	2,24	0,90	40%
Viga 8	Sección 200x280 GL24	19,10	200,00	1960000,00	0,67	ELU 29	1	0,8	1,25	2,24	0,76	34%
Viga 9	Sección 200x280 GL24	18,71	200,00	1960000,00	0,67	ELU 29	1	0,8	1,25	2,24	0,75	33%
Viga 10	Sección 200x280 GL24	19,48	200,00	1960000,00	0,67	ELU 29	1	0,8	1,25	2,24	0,78	35%
Viga 11	Sección 200x280 GL24	18,25	200,00	1960000,00	0,67	ELU 29	1	0,8	1,25	2,24	0,73	33%
Viga 12	Sección 200x280 GL24	6,73	200,00	1960000,00	0,67	ELU 29	1	0,8	1,25	2,24	0,27	12%
Viga 14	Sección 200x280 GL24	3,49	200,00	1960000,00	0,67	ELU 29	1	0,8	1,25	2,24	0,14	6%
Viga 15	Sección 200x280 GL24	4,86	200,00	1960000,00	0,67	ELU 29	1	0,8	1,25	2,24	0,19	9%
Viga 16	Sección 200x280 GL24	5,10	200,00	1960000,00	0,67	ELU 29	1	0,8	1,25	2,24	0,20	9%
Viga 17	Sección 200x280 GL24	10,79	200,00	1960000,00	0,67	ELU 29	1	0,8	1,25	2,24	0,43	19%
Viga 25	Sección 200x280 GL24	11,45	200,00	1960000,00	0,67	ELU 29	1	0,8	1,25	2,24	0,46	20%
Viga 29	Sección 200x280 GL24	7,18	200,00	1960000,00	0,67	ELU 29	1	0,8	1,25	2,24	0,29	13%
Viga 31	Sección 200x280 GL24	8,55	200,00	1960000,00	0,67	ELU 29	1	0,8	1,25	2,24	0,34	15%
Viga 32	Sección 200x280 GL24	4,58	200,00	1960000,00	0,67	ELU 29	1	0,8	1,25	2,24	0,18	8%
Viga 33	Sección 200x280 GL24	8,06	200,00	1960000,00	0,67	ELU 29	1	0,8	1,25	2,24	0,32	14%
Viga 34	Sección 200x280 GL24	5,38	200,00	1960000,00	0,67	ELU 29	1	0,8	1,25	2,24	0,21	10%

Deformación de vigas (ELS)

Las comprobaciones de flexión se realizan de acuerdo con § 2.2.3 of EN 1995-1-1.

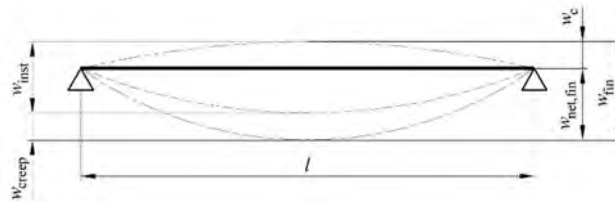
La deformación neta bajo una línea recta entre soportes, w_{net,fin}, se toma como:

$$w_{net,fin} = w_{inst} + w_{creep} - w_c = w_{fin} - w_c$$

donde:

w_{net,fin} es la deformación neta final;

- w_{inst} es la deformación instantánea;
- w_{creep} es la deformación de fluencia;
- w_c es la contraflecha inicial (si es aplicada);
- w_{fin} es la deformación final.



Los valores limitantes de las vigas son asumidos tal y como se muestran en la tabla siguiente

Límite de deformación	$w_{inst, span}$	$w_{net, fin, span}$	$w_{inst, overhang}$	$w_{net, fin, overhang}$	Ignorar deformación negativa en voladizos
Viga de madera	$l/300$	$l/250$	$l/150$	$l/125$	Si

Deformación instantánea

La deformación instantánea w_{inst} se calcula para la combinación de acciones característica (excepto la excepcional).

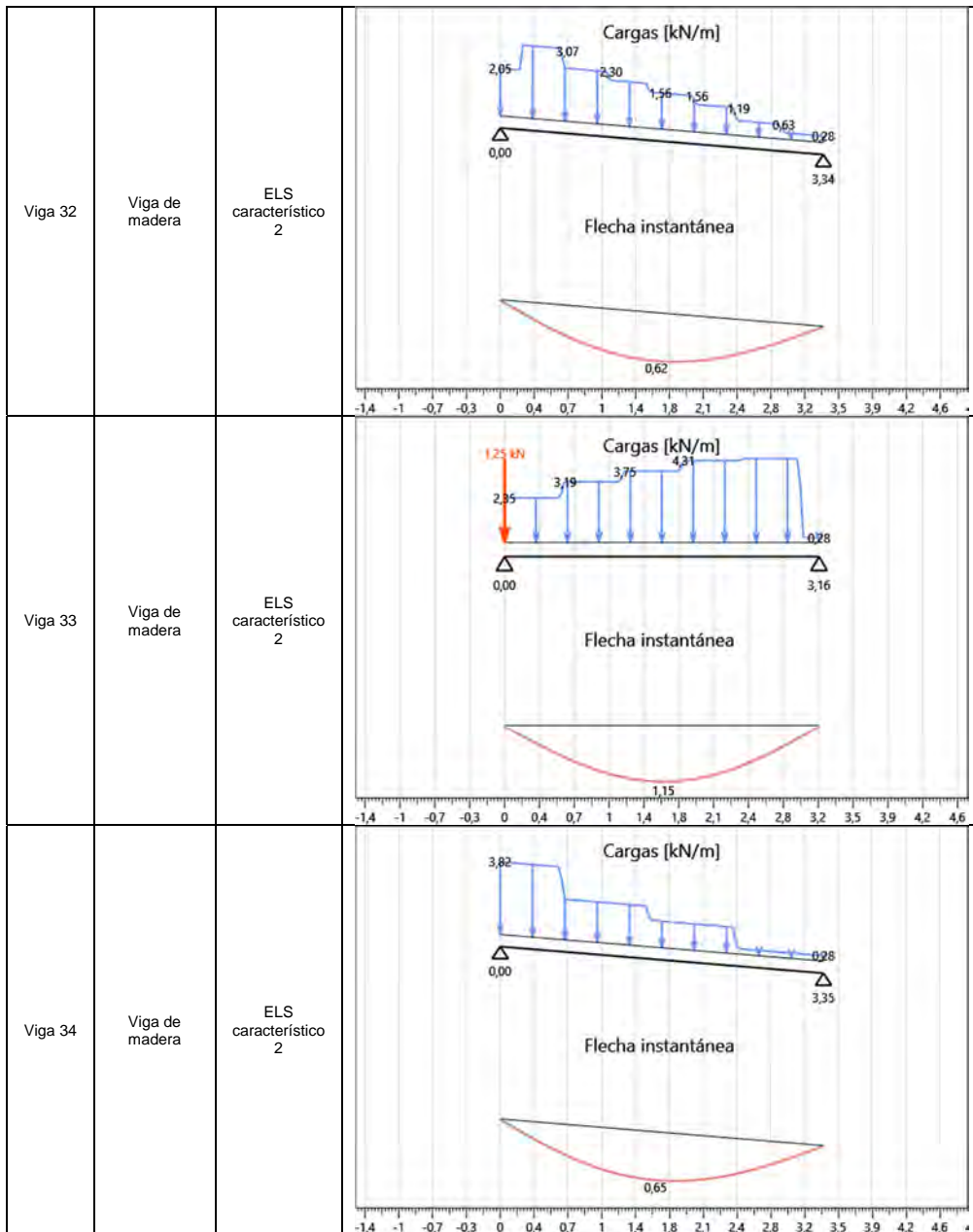
La tabla siguiente muestra la deformación de cada viga.

Nombre de la viga	Límite de deformación	Combinación	Deformación instantánea
Viga 5	Viga de madera	ELS característico 2	
Viga 7	Viga de madera	ELS característico 9	

Viga 8	Viga de madera	ELS característico 2	<p>Cargas [kN/m]</p> <p>Flecha instantánea</p>
Viga 9	Viga de madera	ELS característico 2	<p>Cargas [kN/m]</p> <p>Flecha instantánea</p>
Viga 10	Viga de madera	ELS característico 2	<p>Cargas [kN/m]</p> <p>Flecha instantánea</p>
Viga 11	Viga de madera	ELS característico 2	<p>Cargas [kN/m]</p> <p>Flecha instantánea</p>

Viga 12	Viga de madera	ELS característico 2	
Viga 14	Viga de madera	ELS característico 2	
Viga 15	Viga de madera	ELS característico 2	
Viga 16	Viga de madera	ELS característico 2	

Viga 17	Viga de madera	ELS característico 2	<p>Cargas [kN/m]</p> <p>Flecha instantánea</p>
Viga 25	Viga de madera	ELS característico 2	<p>Cargas [kN/m]</p> <p>Flecha instantánea</p>
Viga 29	Viga de madera	ELS característico 2	<p>Cargas [kN/m]</p> <p>Flecha instantánea</p>
Viga 31	Viga de madera	ELS característico 2	<p>Cargas [kN/m]</p> <p>Flecha instantánea</p>



La siguiente tabla muestra las comprobaciones de deformación instantánea de las vigas.

Nombre de la viga	Sección	Combinación	Validación más restrictiva	Winst [mm]	Winst limit [mm]	Límite de deformación	Check
Viga 5	Sección 200x280 GL24	ELS característico 2	Vano interno	0,12	6,54	l/300	2%
Viga 7	Sección 200x280 GL24	ELS característico 9	Vigas Canteliever	1,74	4,73	l/150	37%
Viga 8	Sección 200x280 GL24	ELS característico 2	Vano interno	5,22	13,20	l/300	40%
Viga 9	Sección 200x280 GL24	ELS característico 2	Vano interno	5,24	13,20	l/300	40%
Viga 10	Sección 200x280 GL24	ELS característico 2	Vano interno	5,27	13,20	l/300	40%
Viga 11	Sección 200x280 GL24	ELS característico 2	Vano interno	5,20	13,20	l/300	39%
Viga 12	Sección 200x280 GL24	ELS característico 2	Vano interno	0,42	8,59	l/300	5%
Viga 14	Sección 200x280 GL24	ELS característico 2	Vano interno	0,64	11,45	l/300	6%
Viga 15	Sección 200x280 GL24	ELS característico 2	Vano interno	0,53	10,73	l/300	5%
Viga 16	Sección 200x280 GL24	ELS característico 2	Vano interno	0,44	9,67	l/300	5%
Viga 17	Sección 200x280 GL24	ELS característico 2	Vano interno	4,64	16,74	l/300	28%
Viga 25	Sección 200x280 GL24	ELS característico 2	Vano interno	5,83	17,72	l/300	33%
Viga 29	Sección 200x280 GL24	ELS característico 2	Vano interno	0,87	11,13	l/300	8%
Viga 31	Sección 200x280 GL24	ELS característico 2	Vano interno	0,89	10,00	l/300	9%
Viga 32	Sección 200x280 GL24	ELS característico 2	Vano interno	0,62	11,13	l/300	6%
Viga 33	Sección 200x280 GL24	ELS característico 2	Vano interno	1,15	10,53	l/300	11%
Viga 34	Sección 200x280 GL24	ELS característico 2	Vano interno	0,65	11,16	l/300	6%

Deformación final

Para estructuras consistentes con apoyos, componentes y conexiones con el mismo comportamiento de fluencia y asumiendo una relación lineal entre las acciones y las deformaciones correspondientes en la deflexión final, w_{fin} , puede ser tomada como:

$$w_{fin} = w_{fin,G} + w_{fin,Q1} + \sum w_{fin,Qi}$$

donde:

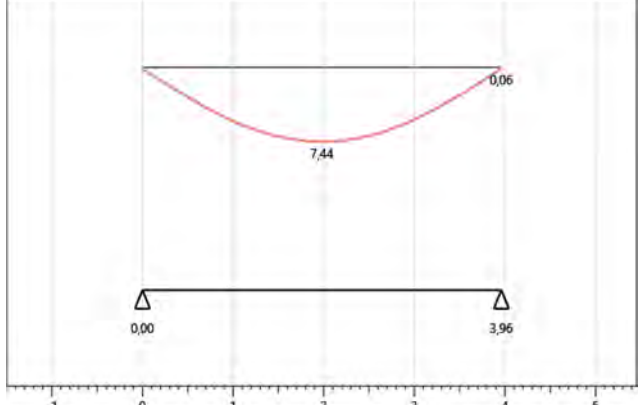
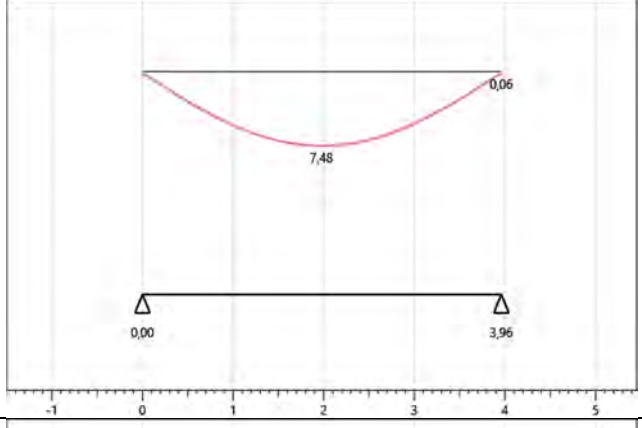
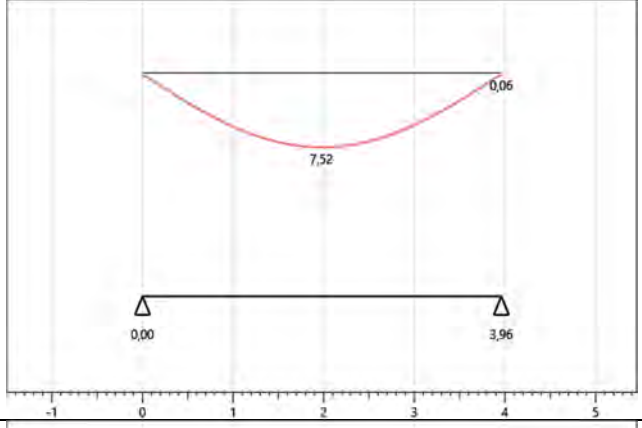
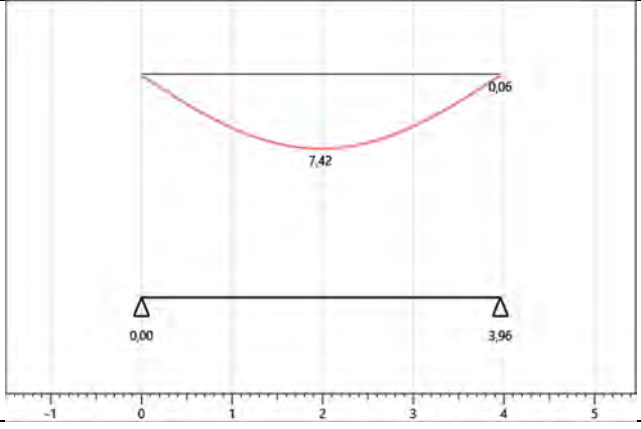
$w_{fin,G} = w_{inst,G} \cdot (1 + k_{def})$ para una acción permanente, G

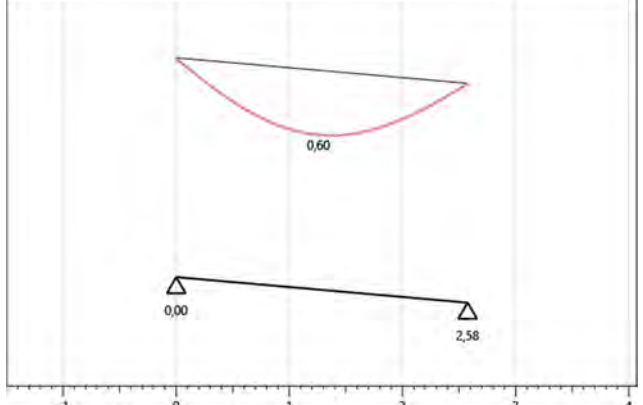
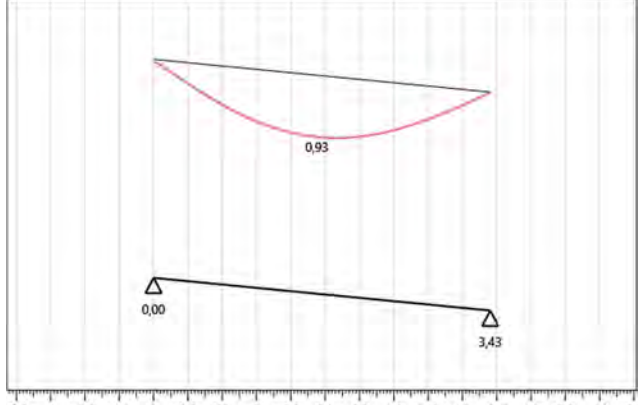
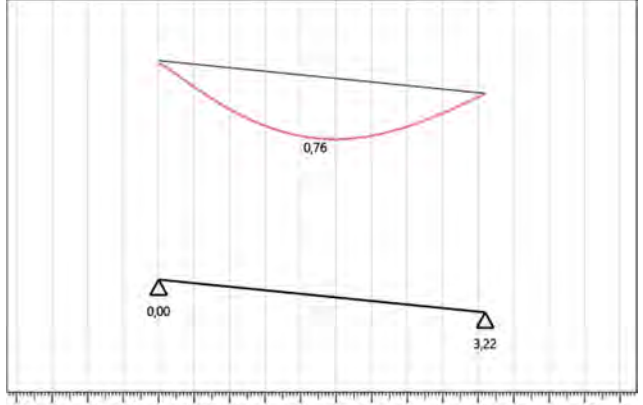
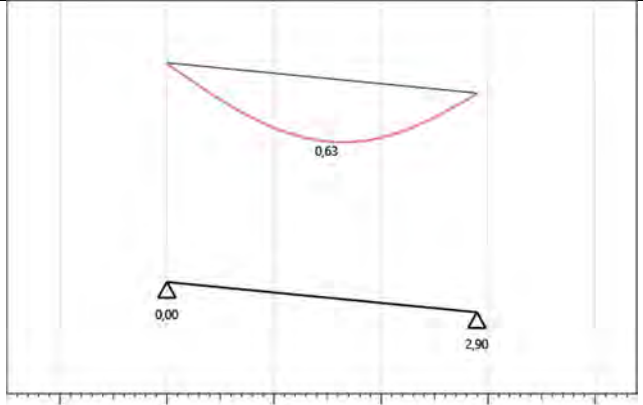
$w_{fin,Q,1} = w_{inst,Q,1} \cdot (1 + \Psi_{2,1} \cdot k_{def})$ para la acción variable principal, Q_1

$w_{fin,Q,i} = w_{inst,Q,i} \cdot (\Psi_{0,i} + \Psi_{2,1} \cdot k_{def})$ para las acciones variables acompañantes, Q_i ($i > 1$)

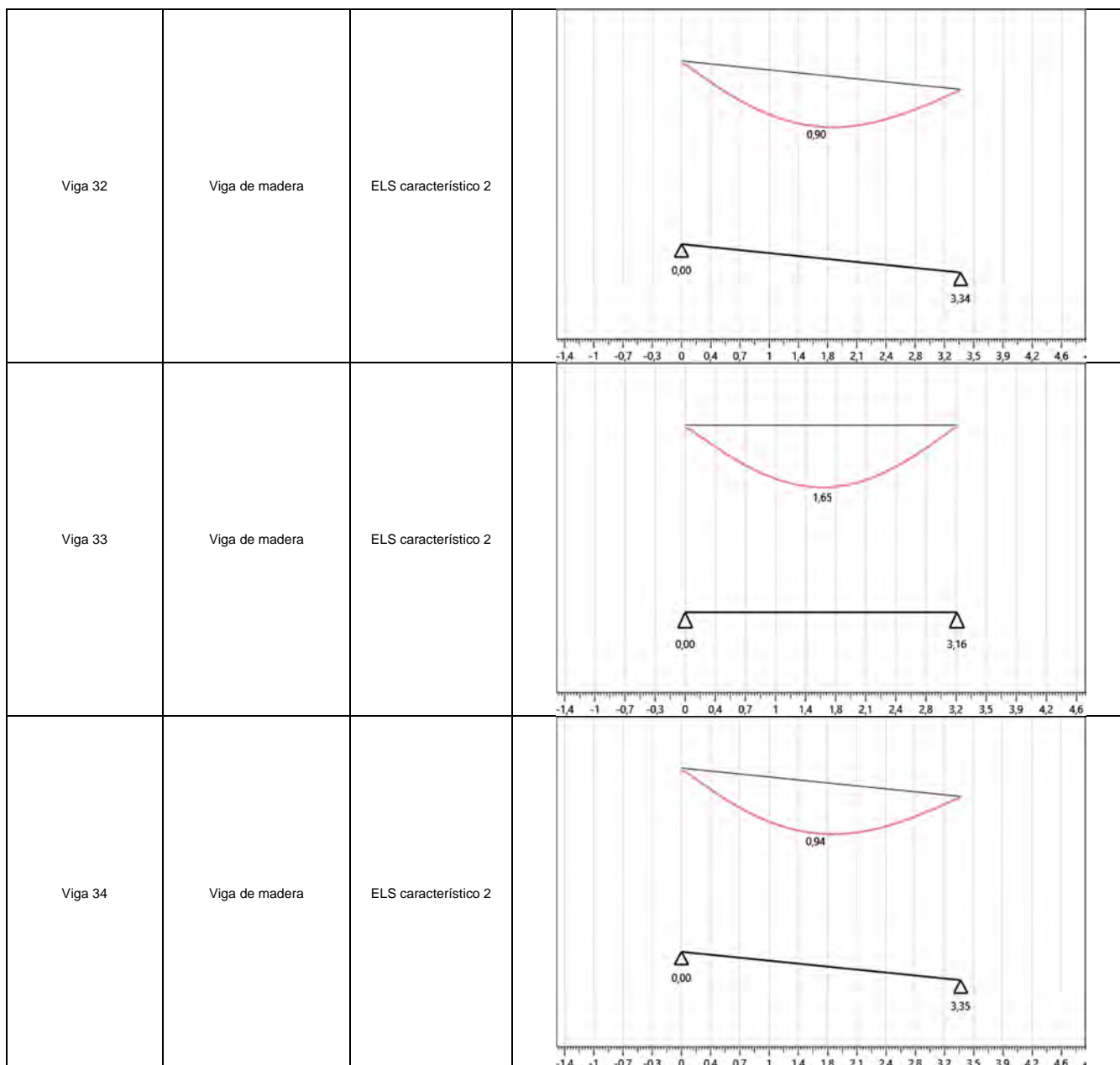
La tabla siguiente muestra la deformación para cada viga (relativa al elemento en el cuál la comprobación de deformación es más desfavorable).

Nombre de la viga	Límite de deformación	Combinación	Deformación final
Viga 5	Viga de madera	ELS característico 2	
Viga 7	Viga de madera	ELS característico 2	

Viga 8	Viga de madera	ELS característico 2	
Viga 9	Viga de madera	ELS característico 2	
Viga 10	Viga de madera	ELS característico 2	
Viga 11	Viga de madera	ELS característico 2	

Viga 12	Viga de madera	ELS característico 2	
Viga 14	Viga de madera	ELS característico 2	
Viga 15	Viga de madera	ELS característico 2	
Viga 16	Viga de madera	ELS característico 2	

Viga 17	Viga de madera	ELS característico 2	
Viga 25	Viga de madera	ELS característico 2	
Viga 29	Viga de madera	ELS característico 2	
Viga 31	Viga de madera	ELS característico 2	



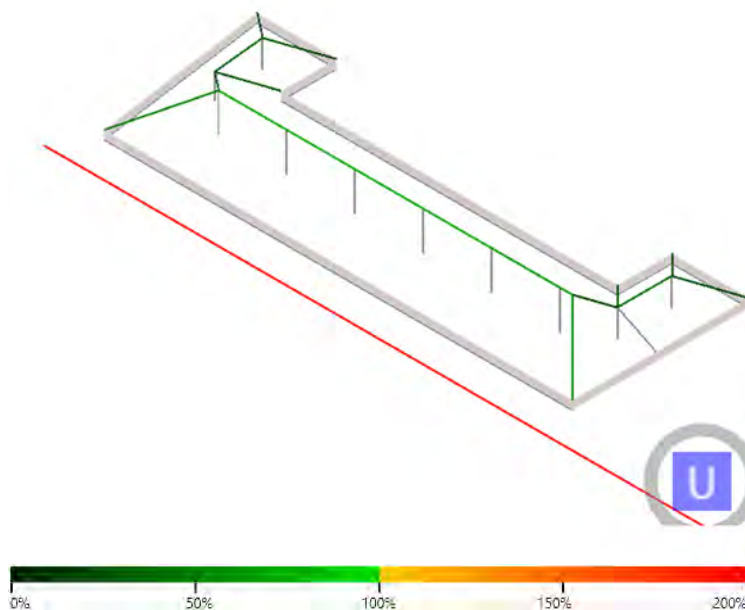
La tabla muestra la deformación final para cada viga.

Nombre de la viga	Sección	Combinación	Clase de uso	k_{def}	Comprobación más restrictiva	W_{fin} [mm]	W_{fin} limit [mm]	Límite de deformación	Check
Viga 5	Sección 200x280 GL24	ELS característico 2	1	0,6	Vano interno	0,18	7,85	l/250	2%
Viga 7	Sección 200x280 GL24	ELS característico 2	1	0,6	Vano interno	4,91	15,84	l/250	31%
Viga 8	Sección 200x280 GL24	ELS característico 2	1	0,6	Vano interno	7,44	15,84	l/250	47%
Viga 9	Sección 200x280 GL24	ELS característico 2	1	0,6	Vano interno	7,48	15,84	l/250	47%
Viga 10	Sección 200x280 GL24	ELS característico 2	1	0,6	Vano interno	7,52	15,84	l/250	47%
Viga 11	Sección 200x280 GL24	ELS característico 2	1	0,6	Vano interno	7,42	15,84	l/250	47%
Viga 12	Sección 200x280 GL24	ELS característico 2	1	0,6	Vano interno	0,60	10,31	l/250	6%
Viga 14	Sección 200x280 GL24	ELS característico 2	1	0,6	Vano interno	0,93	13,74	l/250	7%
Viga 15	Sección 200x280 GL24	ELS característico 2	1	0,6	Vano interno	0,76	12,88	l/250	6%
Viga 16	Sección 200x280 GL24	ELS característico 2	1	0,6	Vano interno	0,63	11,60	l/250	5%
Viga 17	Sección 200x280 GL24	ELS característico 2	1	0,6	Vano interno	6,67	20,09	l/250	33%
Viga 25	Sección 200x280 GL24	ELS característico 2	1	0,6	Vano interno	8,40	21,27	l/250	39%
Viga 29	Sección 200x280 GL24	ELS característico 2	1	0,6	Vano interno	1,25	13,36	l/250	9%
Viga 31	Sección 200x280 GL24	ELS característico 2	1	0,6	Vano interno	1,28	12,00	l/250	11%
Viga 32	Sección 200x280 GL24	ELS característico 2	1	0,6	Vano interno	0,90	13,36	l/250	7%
Viga 33	Sección 200x280 GL24	ELS característico 2	1	0,6	Vano interno	1,65	12,64	l/250	13%
Viga 34	Sección 200x280 GL24	ELS característico 2	1	0,6	Vano interno	0,94	13,39	l/250	7%

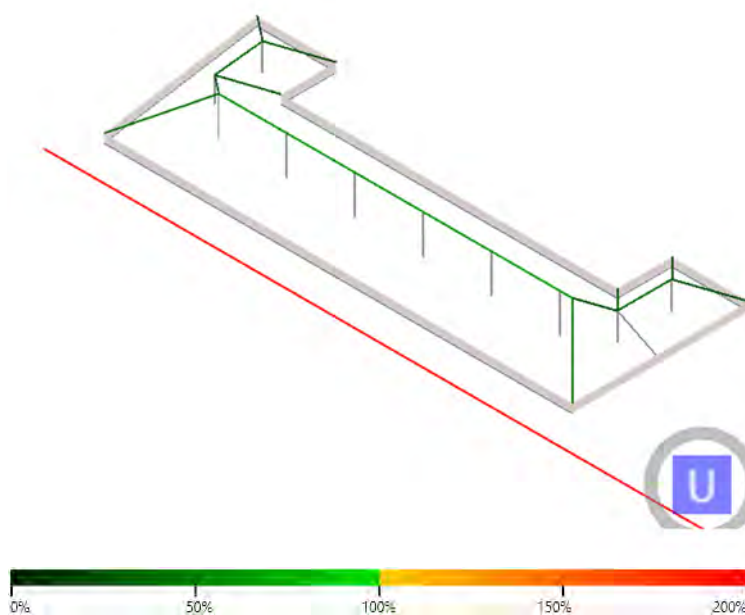
Porcentaje de verificación de vigas

Estado Límite Último (ULS)

Comprobación a flexión

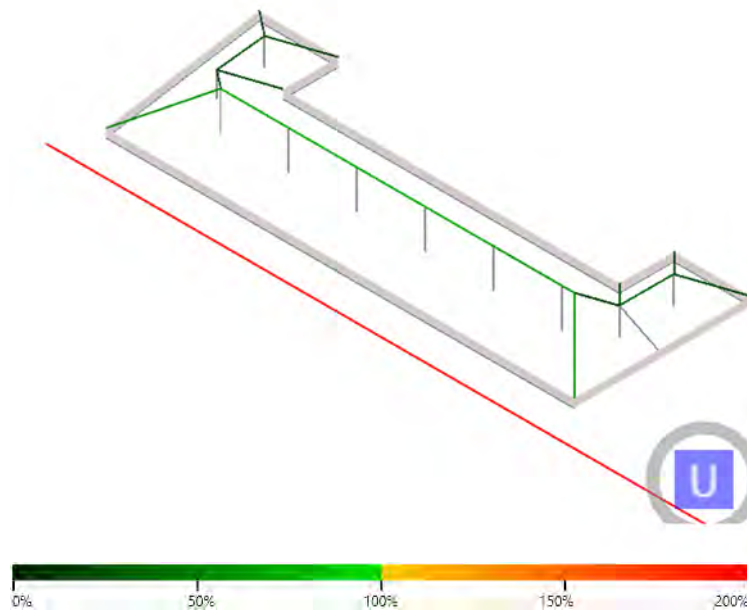


Comprobación a cortante



Estado Límite de Servicio (SLS)

Comprobación a deformación



Sección de los elementos en situación de fuego

Según la cláusula 4.2.2 del EN 1995-1-2 y en compatibilidad con el documento CTE DB SI Anejo E, resistencia al fuego de las estructuras de madera, la sección efectiva se debería de calcular reduciendo la sección inicial por la profundidad eficaz de carbonización, d_{ef}

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

siendo:

d_{char} profundidad carbonizada de cálculo, dependiendo del caso, puede ser la convencional nominal ($d_{char,n}$) o la determinada en una dirección ($d_{char,0}$);

$k_0 \cdot d_0$ es el grosor de la sección residual, cercana a la línea de carbonización, dónde la cual se asume que el material no tiene resistencia mecánica ni rigidez, y a partir de la cual sus propiedades mecánicas y de rigidez de la sección restante permanecen inalteradas.

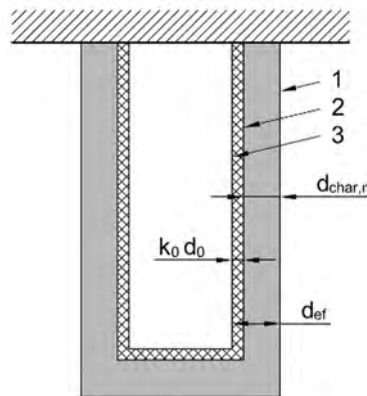


Figura: Definición de la sección residual y eficaz. 1 – Superficie inicial del elemento; 2 – Límite de sección residual; 3 – Límite de la sección eficaz

Profundidad de carbonización

Superficies no protegidas – elementos estructurales lineales

La profundidad carbonizada nominal de cálculo es entendida como la distancia entre la superficie exterior de la sección inicial y la línea que define el frente de carbonización para un tiempo de exposición al fuego determinado, que incluye el efecto del redondeo de las aristas y que se determina según la expresión siguiente:

$$d_{char,n} = \beta_n \cdot t$$

dónde:

β_n es la velocidad de carbonización nominal;

t es el tiempo de exposición al fuego.

Valores de k_0 y d_0

El valor de la profundidad de la capa con resistencia y rigidez cero es de 7 mm.

Para superficies sin protección, k_0 se debería tomar de esta tabla

Tiempo	k_0
$t < 20$ minutos	$t/20$
$t \geq 20$ minutos	1,0

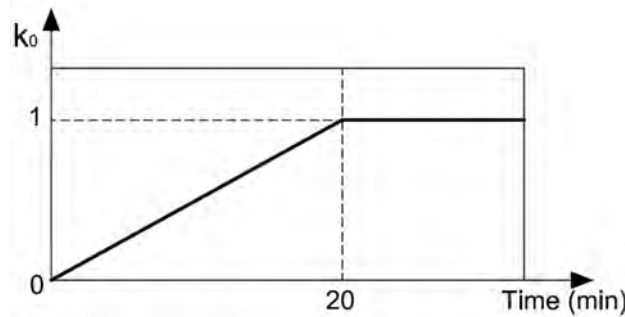


Figure: Variación de k_0 para elementos sin protección.

Cálculo de la sección efectiva

Vigas de madera

Las siguientes tablas muestran el cálculo de la sección transversal efectiva de las vigas en situación de incendio.

Nombre del elemento	Situación de fuego	Clase de resistencia R [min]	β_n	Protección al fuego	k_2	t_{ch} [min]	t_f [min]	t_a [min]	$d_{char,n}$ [mm]
Viga 7	Elementos lineales a fuego	30	0,7	-	-	-	-	-	21
Viga 8	Elementos lineales a fuego	30	0,7	-	-	-	-	-	21
Viga 9	Elementos lineales a fuego	30	0,7	-	-	-	-	-	21

Nombre del elemento	Sección	$d_{char,n}$ [mm]	d_{eff} [mm]	b_{eff} [mm]	h_{eff} [mm]
Viga 7	Sección 200x280 GL24	21	28	144	252
Viga 8	Sección 200x280 GL24	21	28	144	252
Viga 9	Sección 200x280 GL24	21	28	144	252

Forjado de viguetas

Las siguientes tablas muestran el cálculo de la sección transversal efectiva de los elementos de los forjados de viguetas en situación de incendio.

Nombre del forjado	Situación de fuego	Clase de resistencia R [min]	β_n	Protección al fuego	k_2	t_{ch} cuatro lados [min]	t_f cuatro lados [min]	t_a cuatro lados [min]	$d_{char,n}$ cuatro lados [mm]	t_{ch} lado vertical [min]	t_f lado vertical [min]	t_a lado vertical [min]	$d_{char,n}$ lado vertical [mm]
Suelo 1	Definición del fuego 1	30	0,8	-	-	-	-	-	24	-	-	-	24
Suelo 7	Definición del fuego 1	30	0,8	-	-	-	-	-	24	-	-	-	24
Suelo 8	Definición del fuego 1	30	0,8	-	-	-	-	-	24	-	-	-	24
Suelo 11	Definición del fuego 1	30	0,8	-	-	-	-	-	24	-	-	-	24
Suelo 12	Definición del fuego 1	30	0,8	-	-	-	-	-	24	-	-	-	24
Suelo 16	Definición del fuego 1	30	0,8	-	-	-	-	-	24	-	-	-	24
Suelo 17	Definición del fuego 1	30	0,8	-	-	-	-	-	24	-	-	-	24
Suelo 22	Definición del fuego 1	30	0,8	-	-	-	-	-	24	-	-	-	24
Suelo 23	Definición del fuego 1	30	0,8	-	-	-	-	-	24	-	-	-	24

Nombre forjado	Sección	$d_{char,n}$ cuatro lados [mm]	$d_{char,n}$ lado vertical [mm]	d_{eff} cuatro lados [mm]	d_{eff} lado vertical [mm]	Cavidades rellenas de aislamiento no combustible	b_{eff} [mm]	h_{eff} [mm]
Suelo 1	cubierta 12 x 16	24	24	31	31	No	58	129
Suelo 7	cubierta 12 x 16	24	24	31	31	No	58	129
Suelo 8	cubierta 12 x 16	24	24	31	31	No	58	129
Suelo 11	cubierta 12 x 16	24	24	31	31	No	58	129
Suelo 12	cubierta 12 x 16	24	24	31	31	No	58	129
Suelo 16	cubierta 12 x 16	24	24	31	31	No	58	129
Suelo 17	cubierta 12 x 16	24	24	31	31	No	58	129
Suelo 22	cubierta 12 x 16	24	24	31	31	No	58	129
Suelo 23	cubierta 12 x 16	24	24	31	31	No	58	129

Comprobaciones de la resistencia a fuego

Diseño de propiedades y resistencias de los materiales

De acuerdo con la cláusula 2.3 de EN 1995-1-2, para la verificación de la resistencia mecánica, los valores de diseño de las propiedades de resistencia del material se determinarán a partir de:

$$f_{d,fi} = k_{mod,fi} \cdot \frac{f_{20}}{\gamma_{M,fi}}$$

dónde:

$f_{d,fi}$ es la resistencia de diseño a fuego;

f_{20} es el percentil 20% de la resistencia de una propiedad a temperatura normal;

$k_{mod,fi}$ es el factor de modificación por fuego;

$\gamma_{M,fi}$ es el factor parcial de seguridad de la madera a fuego.

El percentil 20% de una propiedad de resistencia o rigidez se calcula como:

$$f_{20} = k_{fi} \cdot f_k$$

$$S_{20} = k_{fi} \cdot S_{05}$$

Dónde el k_{fi} se corresponde a (tabla 2.1 del EN 1995-1-2 y CTE-DBSI-E.2.1.1.b).

Material	k_{fi}
Madera maciza	1.25
Madera laminada encolada	1.15
Tableros derivados de madera	1.15
LVL	1.10
LSL	1.10

Combinación de acciones en caso de fuego

Para obtener el efecto relevante de la acción durante la exposición al fuego, las acciones se combinan con la combinación para situaciones de diseño accidentales. El valor representativo de la acción variable Q_1 se puede factorizar como casi-permanente $\psi_{2,1} Q_1$, o alternativamente como frecuente, $\psi_{1,1} Q_1$:

$$G_1 + G_2 + P + (\psi_{11} \text{ or } \psi_{21}) \cdot Q_{k1} + \psi_{22} \cdot Q_{k2} + \dots$$

La combinación de acciones utilizada es Cuasi-permanente.

Comprobación de forjados de viguetas / macizos en situación de fuego

Resistencia a flexión

Las comprobaciones se realizan de acuerdo con § 6.3.2 de EN 1995-1-1 utilizando la sección transversal efectiva de acuerdo con 4.2.2 de EN 1995-1-2. Se cumplirá la siguiente expresión:

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

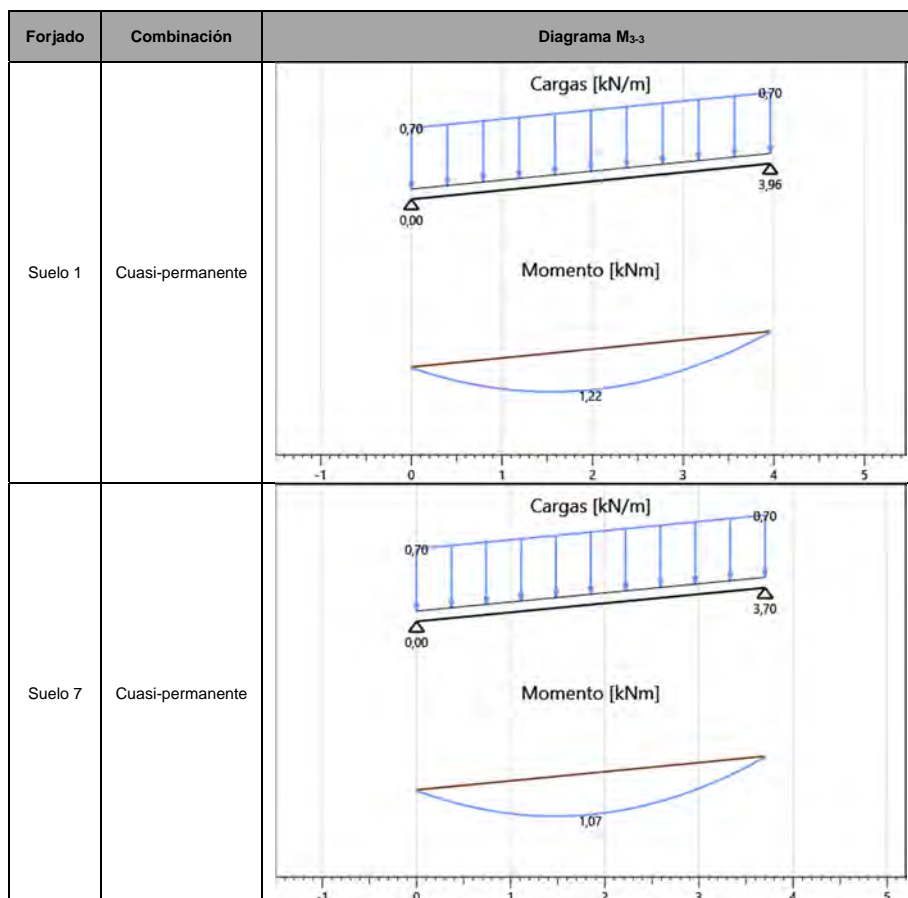
dónde:

$\sigma_{m,d,fi}$ es la tensión de flexión de diseño en caso de incendio;

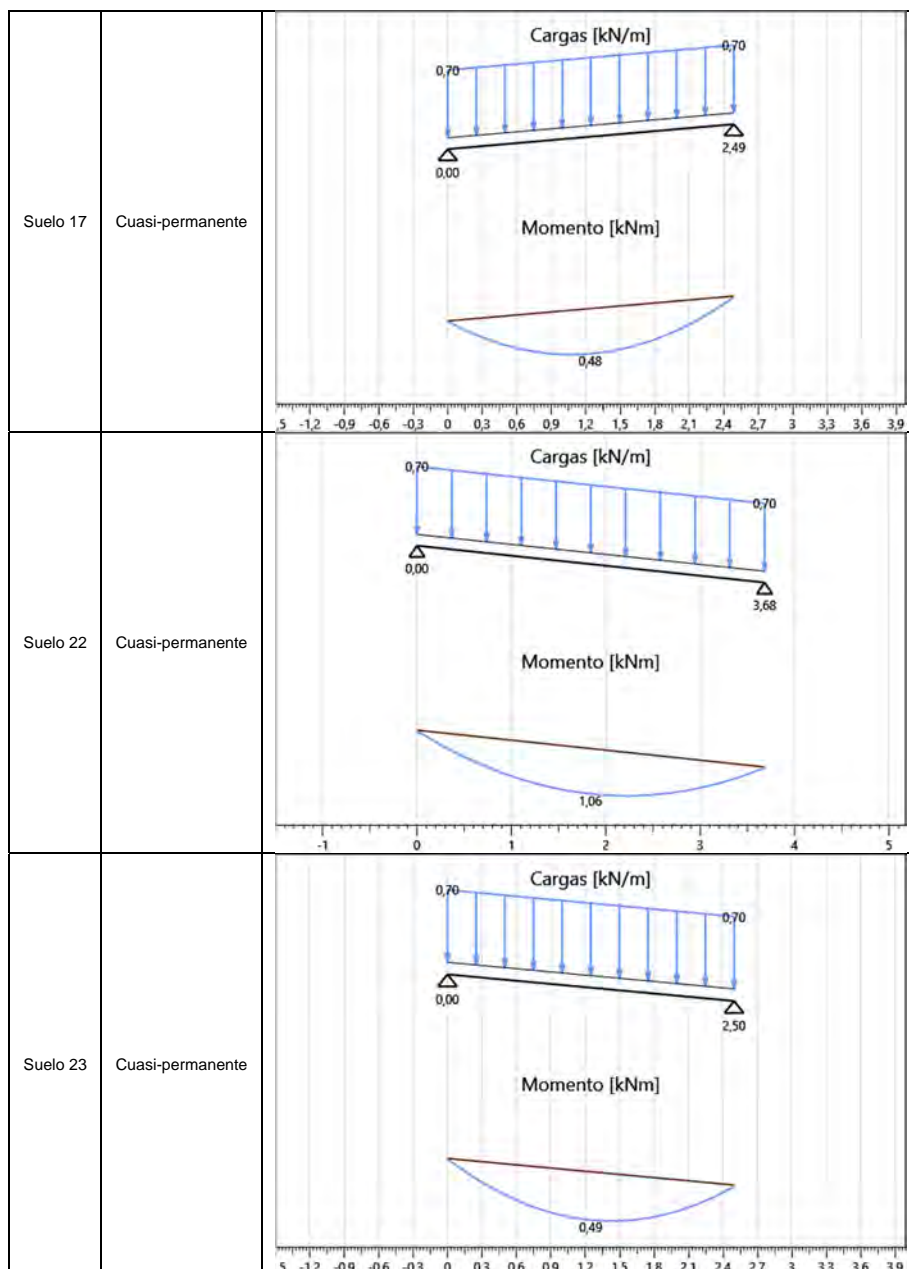
$f_{m,d,fi}$ es la resistencia de diseño a la flexión en el fuego;

k_{crit} es un factor que tiene en cuenta la reducción de la resistencia a la flexión debida al pandeo lateral.

k_{crit} se supone igual a 1.0 para viguetas en las que se evita el desplazamiento lateral del borde comprimido en toda la longitud y se evita la rotación torsional en los apoyos.



Suelo 8	Cuasi-permanente	<p>Cargas [kN/m]</p> <p>Momento [kNm]</p>
Suelo 11	Cuasi-permanente	<p>Cargas [kN/m]</p> <p>Momento [kNm]</p>
Suelo 12	Cuasi-permanente	<p>Cargas [kN/m]</p> <p>Momento [kNm]</p>
Suelo 16	Cuasi-permanente	<p>Cargas [kN/m]</p> <p>Momento [kNm]</p>



Las comprobaciones se resumen a continuación. Los valores resultantes de los cálculos, relacionados con cada verificación, se informan en forma de porcentaje.

Forjado	Sección	$M_{3-3 \text{ max}}$ [kNm]	$W_{y,fi}$ [mm ³]	$k_{crit,fi}$	k_h	$k_{mod,fi}$	$\gamma_{M,fi}$	k_{fi}	$f_{m,d,fi}$ [MPa]	$\sigma_{m,d,fi}$ [MPa]	Check
Suelo 1	cubierta 12 x 16	1,22	160863	1,00	1	1	1	1,25	30,00	7,61	25%
Suelo 7	cubierta 12 x 16	1,07	160863	1,00	1	1	1	1,25	30,00	6,66	22%
Suelo 8	cubierta 12 x 16	1,21	160863	1,00	1	1	1	1,25	30,00	7,52	25%
Suelo 11	cubierta 12 x 16	0,44	160863	1,00	1	1	1	1,25	30,00	2,74	9%
Suelo 12	cubierta 12 x 16	0,43	160863	1,00	1	1	1	1,25	30,00	2,67	9%
Suelo 16	cubierta 12 x 16	0,43	160863	1,00	1	1	1	1,25	30,00	2,64	9%
Suelo 17	cubierta 12 x 16	0,48	160863	1,00	1	1	1	1,25	30,00	3,01	10%
Suelo 22	cubierta 12 x 16	1,06	160863	1,00	1	1	1	1,25	30,00	6,58	22%
Suelo 23	cubierta 12 x 16	0,49	160863	1,00	1	1	1	1,25	30,00	3,03	10%

Resistencia a cortante

Las comprobaciones se realizan según § 6.1.7 de EN 1995-1-1 utilizando la sección transversal efectiva según 4.2.2 de EN 1995-1-2. Se cumplirá la siguiente expresión:

$$\frac{\tau_{d,fi}}{f_{v,d,fi}} \leq 1$$

dónde:

$\tau_{d,fi}$ es el esfuerzo a cortante de diseño en caso de incendio;

$f_{v,d,fi}$ es la resistencia a cortante de diseño en caso de fuego.

Para la verificación de la resistencia a cortante de los elementos a flexión, se debe tener en cuenta la influencia de las fendas utilizando un ancho efectivo $b_{ef} = k_{cr} \cdot b$.

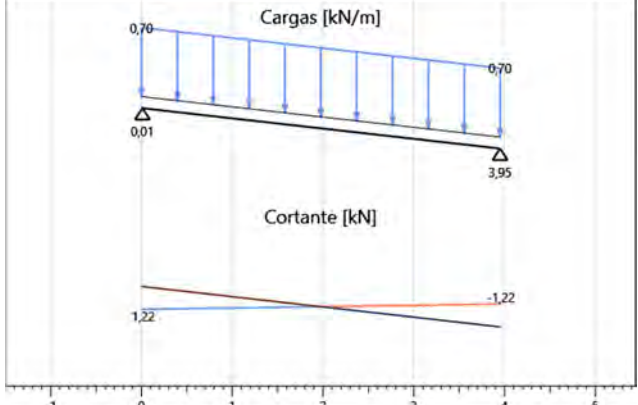
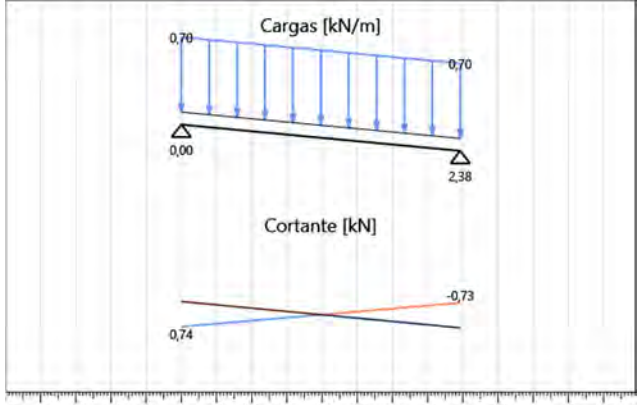
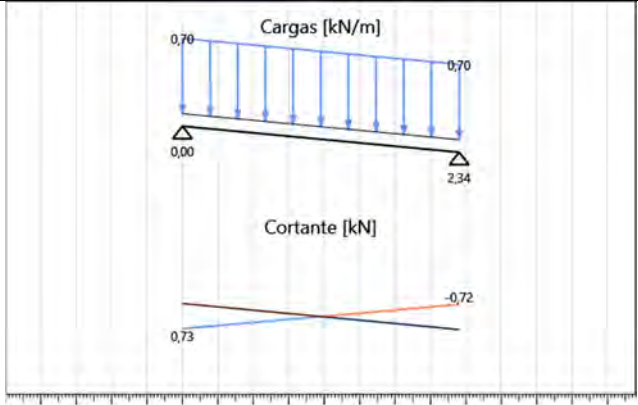
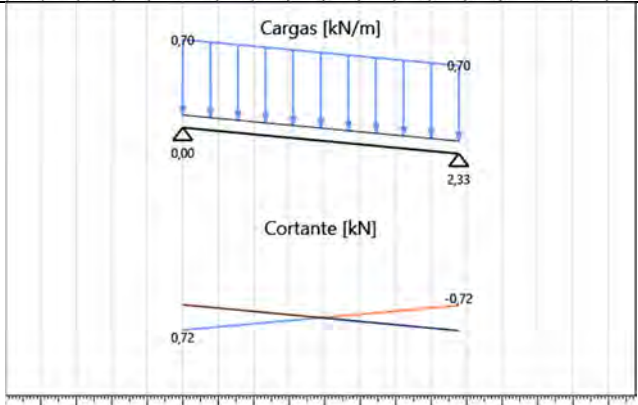
El esfuerzo cortante de diseño máximo en una sección transversal rectangular se puede evaluar mediante la siguiente expresión:

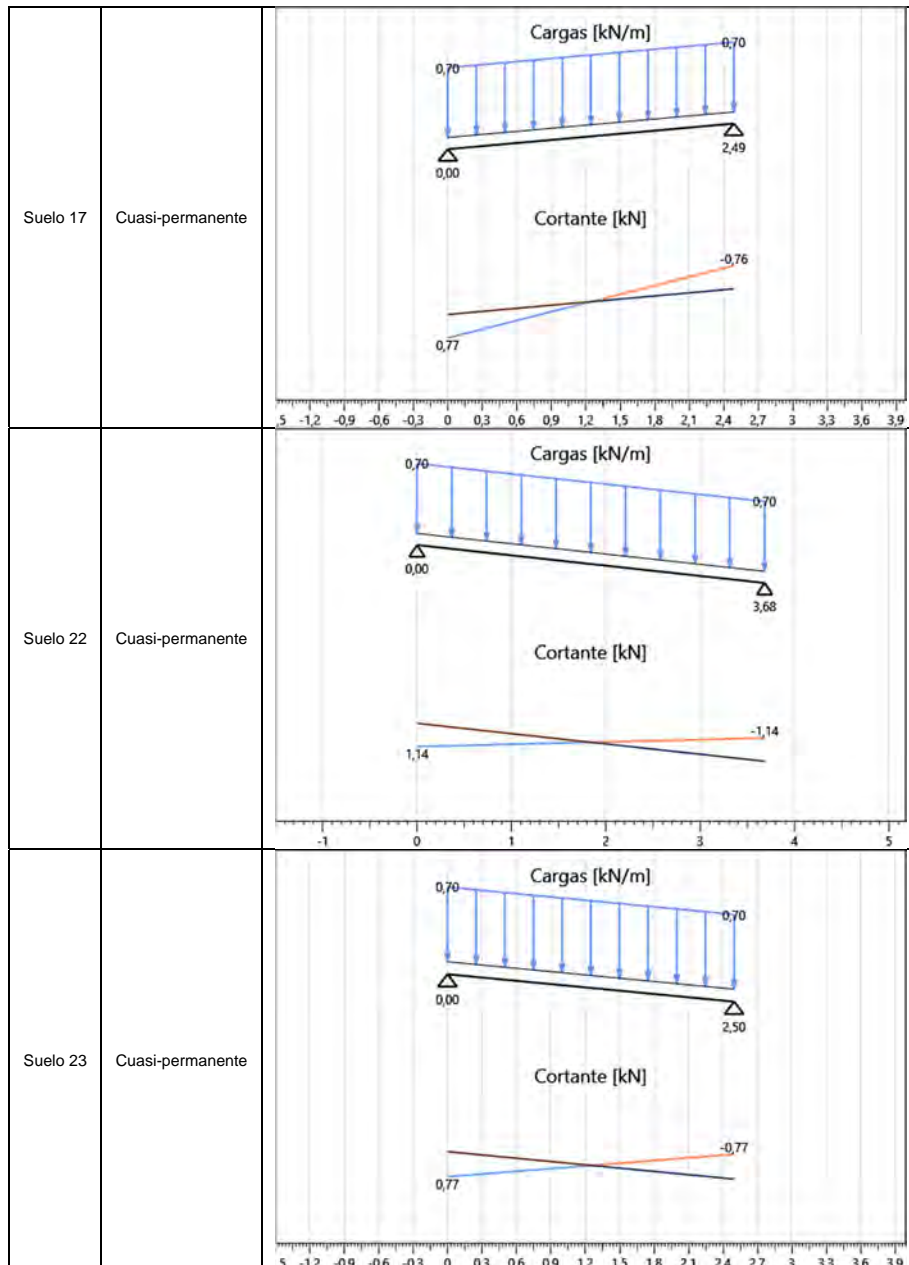
$$\tau_{d,fi} = \frac{3}{2} \cdot \frac{V_{d,fi}}{k_{cr} \cdot A_{eff}}$$

dónde A_{eff} es el área de una sección transversal efectiva de una vigueta.

La siguiente tabla ilustra los esquemas estructurales y las envolventes del diagrama de fuerza a cortante para la vigueta de cada forjado con las mayores comprobaciones resultantes.

Forjado	Combinación	Diagrama V_2
Suelo 1	Cuasi-permanente	<p>Diagrama de fuerza a cortante para Suelo 1. Muestra un diagrama de cargas [kN/m] y un diagrama de cortante [kN]. Las cargas varían de 0,70 a 0,70 kN/m. El cortante varía de 1,23 a -1,23 kN.</p>
Suelo 7	Cuasi-permanente	<p>Diagrama de fuerza a cortante para Suelo 7. Muestra un diagrama de cargas [kN/m] y un diagrama de cortante [kN]. Las cargas varían de 0,70 a 0,70 kN/m. El cortante varía de 1,15 a -1,15 kN.</p>

Suelo 8	Cuasi-permanente	 <p>The diagram for Suelo 8 shows a load distribution (Cargas [kN/m]) with a constant value of 0.70 kN/m over a length of 4 meters. The shear force distribution (Cortante [kN]) starts at 0.01 kN at the left end and decreases to -3.95 kN at the right end. The x-axis ranges from -1 to 5.</p>
Suelo 11	Cuasi-permanente	 <p>The diagram for Suelo 11 shows a load distribution (Cargas [kN/m]) with a constant value of 0.70 kN/m over a length of 3 meters. The shear force distribution (Cortante [kN]) starts at 0.00 kN at the left end and decreases to -2.38 kN at the right end. The x-axis ranges from -5 to 3.</p>
Suelo 12	Cuasi-permanente	 <p>The diagram for Suelo 12 shows a load distribution (Cargas [kN/m]) with a constant value of 0.70 kN/m over a length of 3 meters. The shear force distribution (Cortante [kN]) starts at 0.00 kN at the left end and decreases to -2.34 kN at the right end. The x-axis ranges from -5 to 3.</p>
Suelo 16	Cuasi-permanente	 <p>The diagram for Suelo 16 shows a load distribution (Cargas [kN/m]) with a constant value of 0.70 kN/m over a length of 3 meters. The shear force distribution (Cortante [kN]) starts at 0.00 kN at the left end and decreases to -2.33 kN at the right end. The x-axis ranges from -5 to 3.</p>

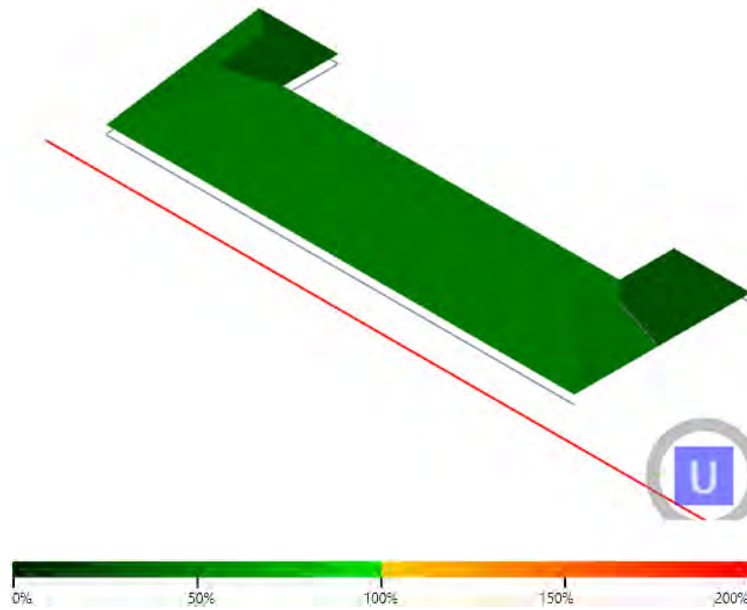


Las comprobaciones se resumen a continuación. Los valores resultantes de los cálculos, relacionados con cada verificación, se informan en forma de porcentaje.

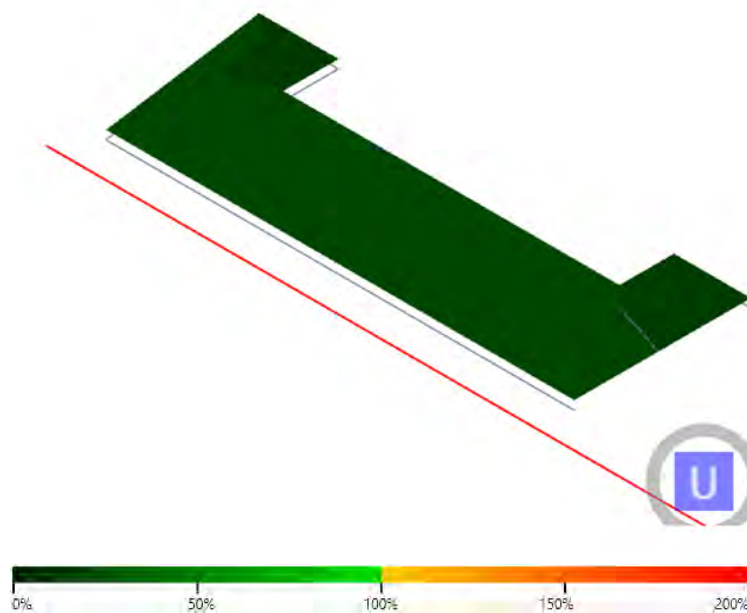
Forjado	Sección	$V_2 \text{ max}$ [kN]	A_{eff} [mm ²]	k_{cr}	$k_{\text{mod,fi}}$	$\gamma_{M,fi}$	k_{fi}	$f_{v,d,fi}$ [MPa]	$\tau_{2,d,fi}$ [MPa]	Check
Suelo 1	cubierta 12 x 16	1,23	7482	0,67	1	1	1,25	5,00	0,37	7%
Suelo 7	cubierta 12 x 16	1,15	7482	0,67	1	1	1,25	5,00	0,34	7%
Suelo 8	cubierta 12 x 16	1,22	7482	0,67	1	1	1,25	5,00	0,37	7%
Suelo 11	cubierta 12 x 16	0,74	7482	0,67	1	1	1,25	5,00	0,22	4%
Suelo 12	cubierta 12 x 16	0,73	7482	0,67	1	1	1,25	5,00	0,22	4%
Suelo 16	cubierta 12 x 16	0,72	7482	0,67	1	1	1,25	5,00	0,22	4%
Suelo 17	cubierta 12 x 16	0,77	7482	0,67	1	1	1,25	5,00	0,23	5%
Suelo 22	cubierta 12 x 16	1,14	7482	0,67	1	1	1,25	5,00	0,34	7%
Suelo 23	cubierta 12 x 16	0,77	7482	0,67	1	1	1,25	5,00	0,23	5%

Comprobación del porcentaje de forjados a fuego

Comprobación a flexión



Comprobación a cortante



Comprobación de vigas en situación de fuego

Resistencia a flexión

Las comprobaciones se realizan de acuerdo con el § 6.3.2 de EN 1995-1-1. La siguiente expresión debe satisfacerse utilizando las secciones transversales efectivas de los elementos según 4.2.2 de EN 1995-1-2:

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

dónde:

$\sigma_{m,d,fi}$ es la tensión de flexión de diseño en caso de incendio;

$f_{m,d,fi}$ es la resistencia de diseño a flexión en caso de incendio;

k_{crit} es un factor que tiene en cuenta la reducción de la resistencia a la flexión debida al pandeo lateral.

El factor k_{crit} se supone igual a 1.0 para vigas en las que se evita el desplazamiento lateral del borde comprimido en toda la longitud y se evita la rotación torsional en los apoyos. De lo contrario, el factor se determina a partir de la siguiente expresión:

$$k_{crit,fi} = \begin{cases} 1 & \text{for } \lambda_{rel,m,fi} \leq 0,75 \\ 1,56 - 0,75\lambda_{rel,m,fi} & \text{for } 0,75 \leq \lambda_{rel,m,fi} \leq 1,4 \\ \frac{1}{\lambda_{rel,m,fi}^2} & \text{for } 1,4 < \lambda_{rel,m,fi} \end{cases}$$

en el que la esbeltez relativa para la flexión se toma como:

$$\lambda_{rel,m,fi} = \sqrt{\frac{f_{m,k}}{\sigma_{m,crit,fi}}}$$

y dónde $\sigma_{m,crit,fi}$, la tensión crítica de flexión calculada según la teoría clásica de la estabilidad, se toma como:

$$\sigma_{m,crit,fi} = \frac{M_{y,crit,fi}}{W_{y,fi}} = \frac{\pi \sqrt{E_{0,20} I_{z,fi} G_{0,20} I_{tor,fi}}}{l_{ef,fi} W_{y,fi}}$$

donde:

$E_{0,20}$ percentil 20% del módulo de elasticidad paralelo a la fibra;

$G_{0,20}$ percentil 20% del módulo a cortante paralelo a la fibra;

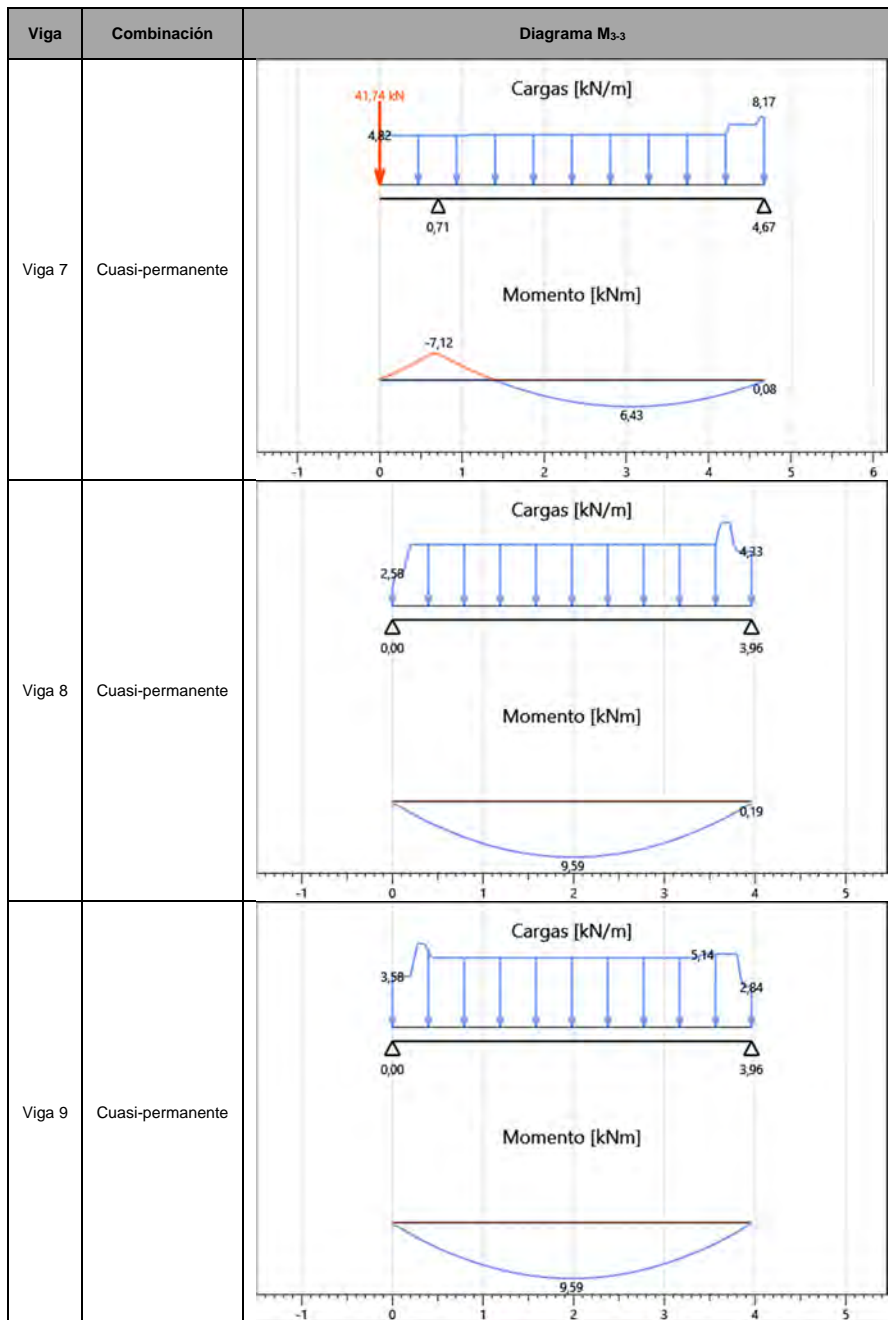
$I_{z,fi}$ es el segundo momento del área alrededor del eje débil-z en fuego;

$I_{tor,fi}$ es el momento de inercia torsional en fuego;

$l_{ef,fi}$ es la longitud efectiva de la viga, según las condiciones de apoyo y la configuración de la carga, en la situación de incendio;

$W_{y,fi}$ es el módulo de sección sobre el eje fuerte-y, en situación de incendio.

La siguiente tabla muestra, para cada viga, el momento flector relacionado con la situación de incendio.



Las comprobaciones se resumen a continuación. Los valores resultantes de los cálculos, relacionados con cada verificación, se informan en forma de porcentaje.

Viga	Sección	M ₃₋₃ max [kNm]	W _{y,fi} [mm ³]	Restricción lateral	σ _{m,crit,fi} [MPa]	k _{crit,fi}	k _h	k _{mod,fi}	γ _{M,fi}	k _{fi}	f _{m,d,fi} [MPa]	σ _{m,d,fi} [MPa]	Check
Viga 7	Sección 200x280 GL24	7,12	1524096	No pandeo a torsión	-	1,00	1	1	1	1,15	27,60	4,67	17%
Viga 8	Sección 200x280 GL24	9,59	1524096	No pandeo a torsión	-	1,00	1	1	1	1,15	27,60	6,29	23%
Viga 9	Sección 200x280 GL24	9,59	1524096	No pandeo a torsión	-	1,00	1	1	1	1,15	27,60	6,30	23%

Resistencia a cortante

Las comprobaciones se realizan según § 6.1.7 de EN 1995-1-1 utilizando la sección transversal efectiva según 4.2.2 de EN 1995-1-2. Se cumplirá la siguiente expresión:

$$\frac{\tau_{d,fi}}{f_{v,d,fi}} \leq 1$$

dónde:

$\tau_{d,fi}$ es el esfuerzo a cortante de diseño en caso de incendio;

$f_{v,d,fi}$ es la resistencia a cortante de diseño en caso de incendio.

Para la verificación de la resistencia al corte de los miembros en flexión, se debe tener en cuenta la influencia de las fisuras utilizando un ancho efectivo del miembro $b_{ef} = k_{cr} \cdot b$.

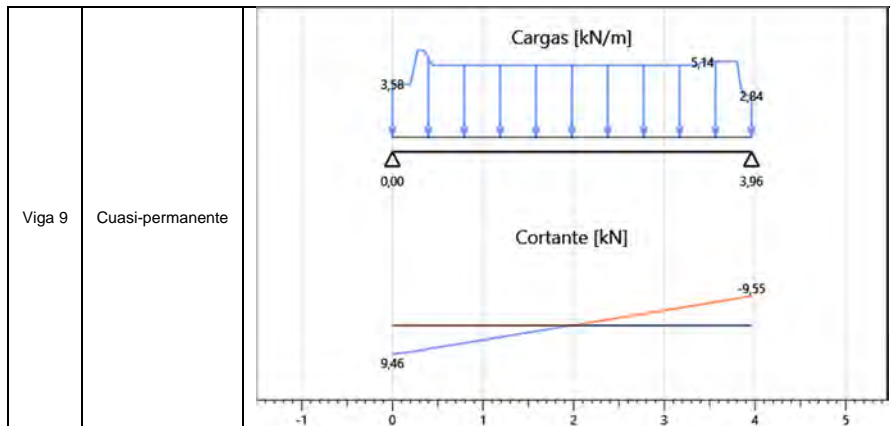
El esfuerzo cortante de diseño máximo en una sección transversal rectangular se puede evaluar mediante la siguiente expresión:

$$\tau_{d,fi} = \frac{3}{2} \cdot \frac{V_{d,fi}}{k_{cr} \cdot A_{eff}}$$

dónde A_{eff} es el área efectiva de la sección de la viga

La siguiente tabla ilustra los esquemas estructurales y las envolventes del diagrama de fuerza cortante para cada viga.

Viga	Combinación	Diagrama V_2
Viga 7	Cuasi-permanente	
Viga 8	Cuasi-permanente	

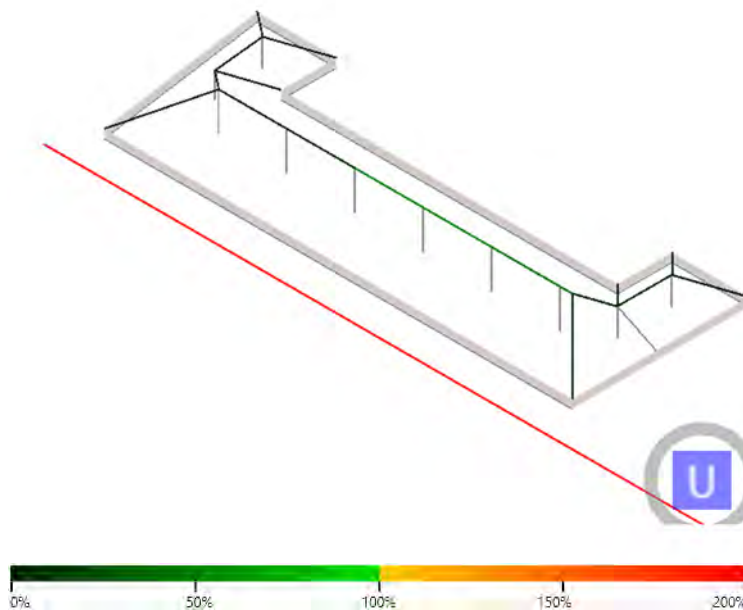


Las comprobaciones se resumen a continuación. Los valores resultantes de los cálculos, relacionados con cada verificación, se informan en forma de porcentaje.

Viga	Sección	$V_2 \text{ max}$ [kN]	A_{eff} [mm ²]	$k_{cr,fi}$	$k_{mod,fi}$	$\gamma_{M,fi}$	k_{fi}	$f_{v,d,fi}$ [MPa]	$\tau_{2,d,fi}$ [MPa]	Check
Viga 7	Sección 200x280 GL24	11,69	36288	0,67	1	1	1,15	4,03	0,72	18%
Viga 8	Sección 200x280 GL24	9,74	36288	0,67	1	1	1,15	4,03	0,60	15%
Viga 9	Sección 200x280 GL24	9,55	36288	0,67	1	1	1,15	4,03	0,59	15%

Comprobación del porcentaje de vigas a fuego

Comprobación a flexión



Comprobación a cortante

