



**Introducción**

En el siguiente apartado de la memoria se va realizar la descripción y justificación de la solución estructural adoptada en el proyecto, así como el predimensionado de determinadas zonas de la estructura del edificio en base a la normativa vigente.

**Justificación de la solución adoptada**

Se incorpora el **diseño** de la estructura desde el **inicio** del proyecto. De este modo, se evitará emplear soluciones que posteriormente perjudiquen al proyecto.

El proyecto desarrolla un edificio resuelto totalmente en planta baja mediante un sistema de **piezas estructuralmente independientes** que generan un conjunto en la Mallada del Garrofer, El Saler, Valencia.

Puesto que se trata de un conjunto de paisaje, de un edificio integrado en la naturaleza, en contacto directo con todos los elementos que componen el medio, que transmite una sensación de **calidez** y **confort** a sus usuarios (niños + público), de **ligereza** y **prefabricación** de cada una de sus piezas sin la utilización de maquinaria pesada y apostando por la **combinación del artesano y la industria**; se opta por resolver la totalidad del **edificio en madera**, incluyendo su estructura y adoptando las medidas de seguridad necesarias frente a agentes externos.

Todas las piezas de la escuela se resuelven mediante el mismo sistema estructural: **pórticos unidireccionales de madera que responden al módulo de 1,20m en todas sus direcciones del espacio**. Los espesores de los soportes verticales como horizontales se modulan en base a los 6 cm obteniendo las diferentes secciones utilizadas de manera óptima en cada caso: 12x12 cm para los pilares y 12x18cm - 12x24cm - 12x30cm para las vigas. Su uso vendrá en función de sus correspondientes luces y cargas. La utilización de este módulo permite optimizar de manera **eficaz** la **puesta en obra** y la ejecución de cada pieza.

La modulación espacial de 1,20m que rige en toda la intervención permite facilitar el replanteo, la ejecución de la obra, el acopio de los diferentes materiales, la optimización del material (medidas de los tableros en el **sistema americano: 8x4pies = 2,44x1,22m**) La utilización de tableros permite un arriostramiento de los pórticos en todas sus direcciones, tanto en el plano horizontal como el vertical, colocando un **tablero estructural por cada una de las caras del elemento**. Este método de construir mejora el comportamiento estructural de cada pieza, comportándose como elementos rígidos frente a acciones horizontales y **solidarizando** todas las piezas principales de **estructura**.

El encuentro entre **la madera y el terreno** es un punto que se ha tenido muy en cuenta a la hora de adoptar este tipo de solución. En las piezas que se asientan sobre un terreno granular formado básicamente por arenas, se levantan unos **muretes de hormigón armado** de 16 cm de espesor sobre los que una placa de anclaje recoge los pilares. Por otra parte, en las piezas que se sitúan sobre un terreno inundable, son **dos UPN 120** en cajón los que resuelven mediante una placa metálica el empotramiento con el elemento de madera.

**Normativa empleada**

Se han tenido en cuenta las siguientes normativas vigentes:

CTE DB SE	Seguridad estructural
CTE DB SE-AE	Seguridad estructural-Acciones en la edificación
CTE DB SE-A	Seguridad estructural-Acero
CTE DB SE-C	Seguridad estructural-Cimientos
CTE DB SE-M	Seguridad estructural-Madera
CTE DB SI	Seguridad en caso de incendios
EHE 08	Cálculo de hormigón armado
NCSE 02	Cálculo sismoresistente
UNE-ENV 1995	Eurocodigo 5: Estructuras de madera

Acciones

Acciones permanentes

La construcción homogénea y modulada de todo el proyecto permite establecer un orden claro en el cálculo de las acciones permanentes de cada parte como se detalla a continuación:

Peso propio

Acciones permanentes de peso propio					
Peso propio estructura			Espesor (mm)	kN/m³	kN/m
	Clase	Área			
Madera Laminada	GL36h	0,022	(120x180)	4,4	0,10
Madera Laminada	GL36h	0,029	(120x240)		0,13
Madera Laminada	GL36h	0,036	(120x300)		0,16
Madera Aserrada	C30	0,014	(120x120)	4	0,06

Forjado de cubierta

Acciones permanentes de la cubierta					
Tipo	Subtipo	Espesor (m)	kN/m³	kN/m²	
Panel	Cobre + XPS + Cobre	0,03	3,5	0,105	
Tableros	Contrachapado	0,025	5	0,125	
		0,01		0,05	
	MDF	0,016	5	0,08	
Aislante	Lana mineral	0,12	2	0,24	
Total				0,60	

Forjado de uso

Acciones permanentes del forjado de uso					
Tipo	Subtipo	Espesor (m)	kN/m³	kN/m²	
Calefacción	Suelo radiante eléctrico	-	-	0,18	
Tableros	Contrachapado	0,04	5	0,20	
	Tarima de haya	0,015	5	0,08	
Aislante	Lana mineral	0,12	2	0,24	
Total				0,70	

Cerramientos

Acciones permanentes de los cerramientos					
Tipo	Subtipo	Espesor (m)	kN/m³	kN/m²	
Listones	Alerce	0,035	4	0,14	
Tableros	Contrachapado	0,025	5	0,13	
		0,015		0,08	
	MDF	0,016	5	0,08	
Aislante	Lana mineral	0,12	2	0,24	
Total				0,66	

Acciones variables

Sobrecarga de uso

Sobrecarga de uso	
Tipo	kN/m²
Cubierta accesible sólo para mantenimiento Clase G1 (Tabla 3.1 SE-AE)	1
Área de acceso público con mesas y sillas Clase C1 (Tabla 3.1 SE-AE)	3

Sobrecarga de nieve

Sobrecarga de nieve	
Tipo	kN/m²
Carga de nieve ( $q_n = \mu \cdot s_k$ )	0,2

\*Datos:

- Coeficiente de forma:  
 $\mu = 1$  (pendiente 5%)
- Sobrecarga de nieve sobre terreno horizontal:  
 $s_k = 0,2 \text{ kN/m}^2$  (Valencia, Tabla 3.8 SE-AE)

Sobrecarga de viento

\*Notas:

Como la pendiente de la cubierta es del 5% ( $\approx 3^\circ$ ) se hará la simplificación de considerar una cubierta plana, “Se considerarán cubiertas planas aquellas con una pendiente no superior a  $5^\circ$ .” (CTE DB SE-AE Anejo D. Acción del viento)

Al tratarse de una estructura unidireccional construida siempre con los pórticos transversales a la dirección principal de cada pieza, se analizará el viento en una

sola dirección, considerando la estructura suficientemente rígida y arriostrada en la otra dirección gracias a la utilización de tableros empotrados a ambas caras de los soportes horizontales y de los verticales.

“En edificios con cubierta plana la acción del viento sobre la misma, generalmente de succión, opera habitualmente del lado de la seguridad, y se puede despreciar” (CTE DB SE-AE 3.3.4 Coeficiente eólico de edificios de pisos).

Se comprobará la succión del forjado de la pieza dispuesta sobre la mallada debido a que sufre la succión del viento y, en este caso, al contrario que en cubierta es perjudicial para la estructura.

Se considera que la fuerza del viento actúa de manera perpendicular a cada uno de los cerramientos verticales que se consideran en cálculo, apareciendo fuerzas de presión y succión.

En el modelo de cálculo se aplicará la acción del viento en forma de carga lineal con su ámbito correspondiente directamente sobre el soporte vertical.

Análisis global de la estructura en su comportamiento frente al viento

Sobrecarga de viento (edificación h=2,6)	
Tipo	kN/m²
Acción del viento( $q_e = q_b \cdot C_{se} \cdot C_p$ )	0,48
	-0,27

Sobrecarga de viento (edificación h=3,8)	
Tipo	kN/m²
Acción del viento( $q_e = q_b \cdot C_{se} \cdot C_p$ )	0,55
	-0,31

\*Datos:

- Presión dinámica del viento:  
 $q_b = 0,42 \text{ kN/m}^2$  (Zona A, Valencia, CTE DB SE-AE Figura D.1.)
- Coeficiente de exposición (CTE DB SE-AE Tabla 3.4)  
Grado de aspereza del entorno: III (Zona rural con obstáculos aislados)  
 $C_{s1} = 1,60$  h=2,6m  
 $C_{s2} = 1,86$  h=3,8m
- Esbeltez  
 $E_1 = 0,65$  h=2,6m  
 $E_2 = 0,52$  h=3,8m
- Coeficientes de presión y succión (CTE DB SE-AE Tabla 3.5)  
 $C_{p1} = 0,75$   
 $C_{s1} = -0,4$   
 $C_{p2} = 0,71$   
 $C_{s2} = -0,4$

Análisis del forjado de uso en la pieza sobre la mallada (succión)

\*Notas:

Para el análisis pormenorizado de este forjado se va a tener en cuenta el Pórtico 7, siendo éste el más desfavorable por su ubicación en el edificio para el análisis de viento y su sobrecarga.

Para el cálculo del resto de pórticos análogos a éste, la acción del viento se aproximará a la del Pórtico 7 siendo un tanto inferior. Por este motivo, se puede asumir la misma acción del viento para simplificar el cálculo quedando del lado de la seguridad.

En el modelo de cálculo se aplicará la acción del viento en forma de carga lineal con su ámbito correspondiente directamente sobre el soporte horizontal.

Sobrecarga de viento (Pórtico 13-14 - F. Uso)	
Tipo	kN/m²
Acción del viento( $q_e = q_b \cdot C_{se} \cdot C_p$ )	0,07
	-0,36

\*Datos:

- Presión dinámica del viento:  
 $q_b = 0,42 \text{ kN/m}^2$  (Zona A, Valencia, CTE DB SE-AE Figura D.1.)
- Coeficiente de exposición (CTE DB SE-AE Tabla 3.4)  
Grado de aspereza del entorno: III (Zona rural con obstáculos aislados)  
 $C_{s1} = 1,60$   
 $e = 8 \text{ m}$   
 $e/4 = 2\text{m}$   
 $e/10 = 0,8\text{m}$   
 $e/2 = 4\text{m}$
- Coeficientes de presión y succión (CTE DB SE-AE Tabla D.4.)  
 $C_{pf} = 0$   
 $C_{sf} = -1,6$   
 $C_{pi} = 0$   
 $C_{si} = -0,7$   
 $C_{p1} = 0,2$   
 $C_{s1} = -0,2$

Sobrecarga térmica

Los edificios y sus elementos están sometidos a deformaciones y cambios geométricos debidos a las variaciones de la temperatura del ambiente exterior. La magnitud de las mismas depende de las condiciones climáticas del lugar, la orientación y de la exposición del edificio, las características de los materiales constructivos y de los acabados o revestimientos, y del régimen de calefacción y ventilación interior, así como del aislamiento térmico. Estas deformaciones producen incrementos en las tensiones de cada uno de los elementos del edificio que se ven expuestos a estas condiciones, cuanto mayor sea el elemento, mayor serán sus deformaciones y por tanto, el incremento de sus tensiones. Si dicho elemento no sobrepasa los 40 metros estos incrementos son despreciables y no se tienen en cuenta en el cálculo, pero si sobrepasa los 40 metros se debe disponer de juntas de dilatación o tener en cuenta estos efectos en el cálculo.

Debido a que en el proyecto se apuesta por un modelo disgregado con estructuras totalmente independientes entre si, nunca se llega a elementos constructivos de tales dimensiones. Por este motivo no es necesario tener en cuenta este aspecto en el cálculo.



**Acciones accidentales**

Sismo

La Norma de Construcción Sismorresistente: NCSE-02 es de aplicación en el cálculo del presente proyecto. De acuerdo con dicha norma, se trata de una construcción de importancia normal.

En el término municipal de Valencia, la aceleración sísmica básica,  $a_b$ , tiene un valor de  $0,06\text{ g}$ ; por tanto, siguiendo las indicaciones de la NCSE-02 es obligatoria la consideración de dichas acciones en el cálculo de la estructura.

Aceleración sísmica de cálculo	
Tipo	
Aceleración de cálculo ( $a_c = S \cdot \rho \cdot a_b$ )	<b>0,0768 g</b>

\*Datos:

- Aceleración sísmica básica:  
 $a_b = 0,06\text{ g}$  (Valencia, NCSE-02)
- Coeficiente de contribución:  
 $K = 1$  (Valencia, NCSE-02)
- Coeficiente adimensional de riesgo:  
 $\rho = 1$  (estructura de importancia normal, NCSE-02)
- Coeficientes del terreno:  
 $C = 1,6$  (suelo granular de compacidad media, Tipo III, NCSE-02)
- Coeficiente amplificación del terreno:  
 $S = 1,28$  ( $S = C/1,25$ ,  $\rho \cdot a_b \leq 0,1\text{ g}$ , NCSE-02)
- Amortiguamiento de la estructura: 5%
- Ductilidad baja:  $\mu = 2$

**Estados Límite**

La estructura se ha analizado y dimensionado frente a los estados límite, que son aquellas situaciones en que, en caso de verse superadas, puede considerarse que el edificio no cumple alguno de los requisitos estructurales por los cuales ha sido concebido.

Estados Límite Últimos.

La estructura se ha calculado frente a los Estados de Límite Últimos, que son los que, en caso de ser superados, constituyen un riesgo para las personas por producirse un colapso total o parcial del edificio. En general se ha considerado:

- A. Pérdida de equilibrio del edificio o de una parte de una parte de éste, considerándolo como cuerpo rígido.
- B. Fallo por deformación excesiva, convirtiendo la estructura en un mecanismo.
- C. Rotura de los elementos estructurales o de sus uniones.
- D. Desgaste por efectos de la fatiga o la corrosión.

Se ha comprobado que hay suficiente resistencia de la estructura portante, de todos los elementos estructurales, secciones, puntos y uniones entre elementos, porque para todas las situaciones de dimensionado pertinentes se cumple la condición:  $Ed \leq R_d$ , siendo  $Ed$  el valor de cálculo del efecto de acciones y  $R_d$  el valor de cálculo de la resistencia correspondiente.

Se ha comprobado que hay suficiente estabilidad del conjunto del edificio y todas las partes independientes del mismo, porque las situaciones de dimensionado pertinentes se cumple la condición:  $Ed, dst \leq Ed, STB$ , siendo  $Ed$ ,  $dst$  el valor de cálculo de del efecto de las acciones desestabilizadores y  $Ed$ ,  $STB$  el valor de cálculo de las acciones estabilizadores.

Estados Límite de servicio.

La estructura se ha calculado frente a los Estados Límite de Servicio, que son los que en caso de ser superados afectan al confort y al bienestar de los usuarios o de terceras personas, el correcto funcionamiento del edificio o la semejanza de la construcción.

Los E.L.S. pueden ser reversibles o irreversibles. La reversibilidad se refiere a las consecuencias que exceden los límites especificados como admisibles, una vez desaparecidas las acciones que las han producido. En general se han considerado las siguientes:

- A. Las deformaciones (flechas, asientos o desplomes) que afecte a la semejanza de una obra, al confort de los usuarios o al funcionamiento de los equipos e instalaciones
- B. Las vibraciones que causan la falta de confort de las personas, o que afectan a la funcionalidad de la obra.
- C. Los daños o el deterioro que pueden afectar desfavorablemente a la semejanza, la durabilidad o la funcionalidad de la obra.

Las verificaciones E.L.S., q aseguran la aptitud al servicio de la estructura, han comprobado su comportamiento adecuado en relación con las deformaciones, las vibraciones y el deterioro, porque se cumple, por las situaciones de dimensionado pertinentes, que el efecto de las acciones no alcanza al valor límite establecido por dicho efecto en el DB-SE.

Combinación de acciones

Hipótesis de cálculo

Para el cálculo de los elementos estructurales se han considerado los siguientes supuestos:

Hipótesis de cálculo	
Descripción	Abreviatura
Peso Propio (permanente, $G_k$ )	<b>PP</b>
Sobrecarga de Uso (variable, $Q_k$ )	<b>SU</b>
Nieve (variable, $Q_k$ )	<b>N</b>
Viento en X (variable, $Q_k$ )	<b>Vx</b>
Sismo en X (variable, $Q_k$ )	<b>Sx</b>

Hipótesis de cálculo	
Descripción	Abreviatura
Valor característico de las acciones permanentes	$G_k$
Valor característico de la acción variable determinante	$Q_{k1}$
Valor característico de la acción variable secundaria	$Q_{k1}$
Coefficiente de combinación de una acción variable	$\psi_{0i}$
Coefficiente parcial de seguridad para acciones permanentes	$\gamma_G$
Coefficiente parcial de seguridad para acciones variables	$\gamma_Q$
Coefficiente para el valor frecuente de una acción variable	$\psi_{1i}$
Coefficiente para el valor casi-permanente de una acción variable	$\psi_{2i}$

Estados Límite Últimos

Situación persistente $\sum \gamma_G \cdot G_k + \gamma_Q \cdot Q_{k1} + \sum \gamma_Q \cdot \psi_{0i} \cdot Q_k$									
ELU	$\gamma_G \cdot G_k$		$\gamma_Q \cdot Q_{k1}$		$(\gamma_Q \cdot \psi_{02} \cdot Q_{k2}) + (\gamma_Q \cdot \psi_{03} \cdot Q_{k3})$				
<b>C1</b>	1,35	<b>PP</b>	1,5	<b>SU</b>	1,5	0,5	<b>N</b>	1,5	0,6 <b>Vx</b>
<b>C2</b>	1,35	<b>PP</b>	1,5	<b>N</b>	1,5	0,7	<b>SU</b>	1,5	0,6 <b>Vx</b>
<b>C3</b>	1,35	<b>PP</b>	1,5	<b>Vx</b>	1,5	0,7	<b>SU</b>	1,5	0,5 <b>N</b>

Situación accidental de sismo $\sum G_k + \sum \psi_{2i} \cdot Q_{ki}$								
ELU	$G_k$	$(\psi_{21} \cdot Q_{k1}) + (\psi_{22} \cdot Q_{k2}) + (\psi_{23} \cdot Q_{k3}) + (\psi_{24} \cdot Q_{k4})$						
<b>C4</b>	<b>PP</b>	0,6	<b>SU</b>	0	<b>N</b>	0	<b>Vx</b>	0,3 <b>Sx</b>

Estados Límite de Servicio

Situación de corta duración irreversible $\sum G_k + Q_{k1} + \sum \psi_{0i} \cdot Q_k$						
ELS	$G_k$	$Q_{k1}$	$(\psi_{02} \cdot Q_{k2}) + (\psi_{03} \cdot Q_{k3})$			
<b>C5</b>	<b>PP</b>	<b>SU</b>	0,5	<b>N</b>	0,6	<b>Vx</b>
<b>C6</b>	<b>PP</b>	<b>N</b>	0,7	<b>SU</b>	0,6	<b>Vx</b>
<b>C7</b>	<b>PP</b>	<b>Vx</b>	0,7	<b>SU</b>	0,5	<b>N</b>

Situación de corta duración reversible $\sum G_k + \psi_{1i} \cdot Q_{k1} + \sum \psi_{2i} \cdot Q_k$						
ELS	$G_k$	$\psi_{11} \cdot Q_{k1}$		$(\psi_{22} \cdot Q_{k2}) + (\psi_{23} \cdot Q_{k3})$		
<b>C8</b>	<b>PP</b>	0,7	<b>SU</b>	0	<b>N</b>	0 <b>Vx</b>
<b>C9</b>	<b>PP</b>	0,2	<b>N</b>	0,6	<b>SU</b>	0 <b>Vx</b>
<b>C10</b>	<b>PP</b>	0,5	<b>Vx</b>	0,6	<b>SU</b>	0 <b>N</b>

Situación de larga duración $\sum G_k + \sum \psi_{2i} \cdot Q_k$						
ELS	$G_k$	$(\psi_{21} \cdot Q_{k2}) + (\psi_{22} \cdot Q_{k2}) + (\psi_{23} \cdot Q_{k3})$				
<b>C11</b>	<b>PP</b>	0,6	<b>SU</b>	0	<b>N</b>	0 <b>Vx</b>

**Materiales**

Materiales utilizados en cimentación:

Hormigón	
Descripción	Datos
Designación	<b>HA - 30/B/20/IIIa</b>
Clase general de exposición	IIIa
Cemento	CEM II/A-S 42,5 R MR
Máxima relación agua cemento A/C	0,50
Resistencia característica del hormigón	30 N/mm <sup>2</sup>
Recubrimiento mínimo nominal	40 mm
Módulo de elasticidad a los 28 días	28600 N/mm <sup>2</sup>
Consistencia	Blanda
Diámetro máximo de árido	20 mm

Acero para armar	
Descripción	Datos
Designación	<b>B - 500S</b>
Límite elástico	500 N/mm <sup>2</sup>
Módulo de Poisson	0,3 (v)
Módulo de elasticidad	200000 N/mm <sup>2</sup>

Materiales utilizados en estructura aérea:

- Pilares metálicos (zonas inundadas)

Acero laminado	
Descripción	Datos
Designación	<b>S275</b>
Límite elástico	275 N/mm <sup>2</sup>
Módulo de Poisson	0,3 (v)
Módulo de elasticidad	200000 N/mm <sup>2</sup>

- Pilares de madera (resto de casos)

Madera aserrada	
Descripción	Datos
Designación	<b>C30</b>
Denominación	Pino Laricio
Calidad	ME-1
Resistencia característica a flexión	30 N/mm <sup>2</sup>
Resistencia característica a compresión paralela	23 N/mm <sup>2</sup>
Módulo de elasticidad	12000 N/mm <sup>2</sup>

- Vigas de madera

Madera Laminada	
Descripción	Datos
Designación	<b>GL28c</b>
Denominación	Pino Laricio
Calidad	ME-1
Resistencia característica a flexión	32 N/mm <sup>2</sup>
Resistencia característica a compresión paralela	29 N/mm <sup>2</sup>
Módulo de elasticidad	13700 N/mm <sup>2</sup>

Coefficientes de minoración de los materiales estructurales

Hormigón	<b>1,5 (γc)</b>
Madera	<b>1,25 (γm)</b>
Acero para armar	<b>1,15 (γs)</b>
Acero laminado	<b>1,05 (γs)</b>

Ensayos a realizar

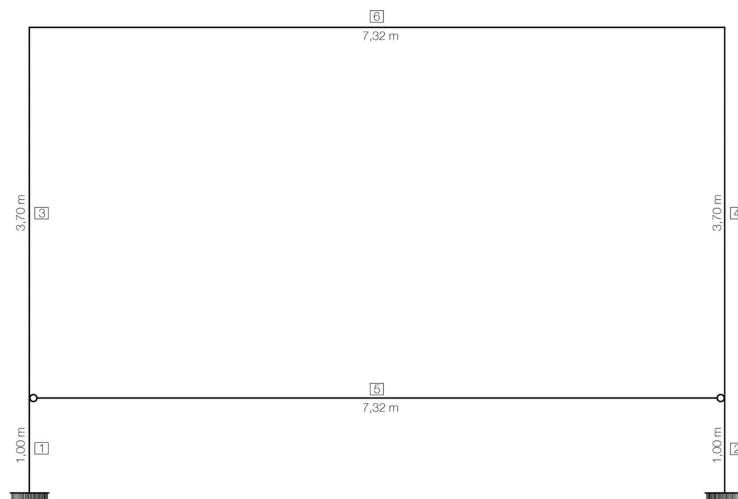
Se realizarán los ensayos pertenecientes en función del nivel de control de la obra, que será nivel normal, de acuerdo con la EHE-08 para el hormigón, el CTE DB SE-A para el acero y el CTE DB SE-M para la madera.

**Cálculo de la estructura unidireccional**

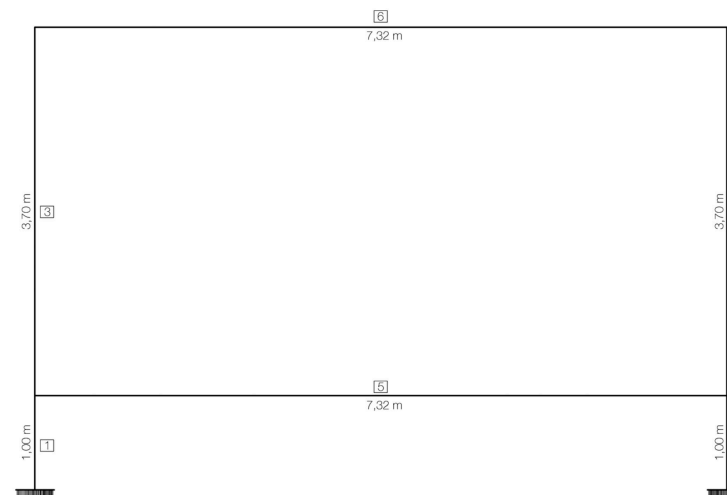
La aproximación al cálculo estructural empieza desde el planteamiento unidireccional de la totalidad del proyecto. Se resuelve mediante un sistema de pórticos **arriostrados en sus dos direcciones**. A partir de esta base, mediante un método sencillo de prueba-error se predimensiona la estructura hasta conseguir una forma óptima y eficaz de llevar a cabo un cálculo adecuado que cumpla todas las exigencias establecidas en el CTE.

En primer lugar, se realiza la simplificación de únicamente **calcular los pórticos más desfavorables** del proyecto y asumir sus resultados para la construcción del resto de pórticos. De esta manera se consigue una **homogeneización de la construcción** y una clarificación de los elementos que conforman la estructura, quedando siempre del lado de la seguridad.

En segundo lugar, se modeliza la estructura de la siguiente forma:



Mediante el programa de cálculo Architrave se comprueba que la viga del forjado inferior, al estar **articulada en sus dos extremos**, tiene un momento positivo y unas **deformaciones** en centro de vano **excesivas** que no cumplen las exigencias establecidas en el CTE DB SE 4.3.3 Deformaciones. En este caso se podría aumentar el canto de la viga lo suficiente para reducir dicha deformación, pero los cantos necesarios resultan excesivos en proyecto y se decide **modelizar** la estructura de la siguiente forma:



De esta manera, adoptando las medidas constructivas necesarias, se consigue **empotrar la viga** inferior en sus dos extremos. Mediante Architrave se observa como la deformación, a igual canto, es mucho menor (lógico) pero, por otra parte, el axil de dicha barra aumenta, aproximadamente, diez veces más que el anterior caso; aún así, cumple a resistencia en una primera aproximación. Podemos afirmar que en este caso **la estructura ofrece mayores garantías** en cuanto al **cálculo** se refiere.

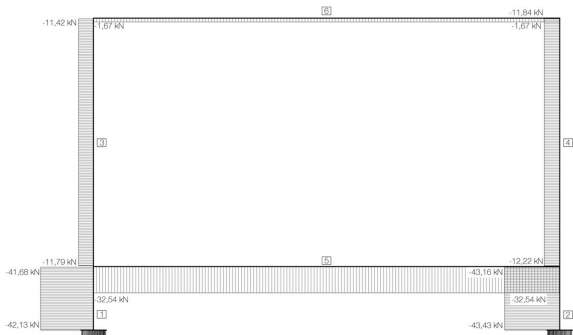
Después de esta primera aproximación, se decide calcular la totalidad de la estructura teniendo en cuenta la última modelización y la suposición inicial (pórticos más desfavorables)

Pórtico 13-14

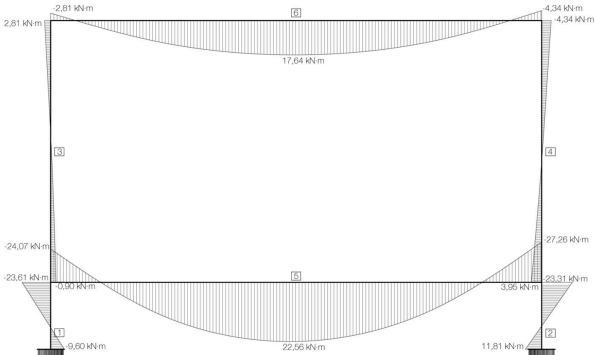
Resistencia:

Mediante el programa de cálculo Architrave se obtienen las solicitaciones.

Axiles ( $N_x$ )



Momentos ( $M_y$ )



Solicitaciones ELU				
Barra	Datos	Luz (m)	$N_x$ (kN)	$M_y$ (kN . m)
1	2UPN 120	1	-42,13	23,16
2	2UPN 120	1	-43,42	23,31
3	C30 (120mm x 120mm)	3,70	-11,79	2,81
4	C30 (120mm x 120mm)	3,70	-12,22	4,35
5	GL28c (120mm x 300mm)	7,30	-32,54	27,27
6	GL28c (120mm x 240mm)	7,30	-1,67	17,65

Cálculo de la madera

Una vez obtenidos todos los datos anteriores hemos de considerar los factores que afectan al comportamiento estructural de la madera. Éstos viene recogidos en el CTE DB SE-M 2.2.2.

Según este artículo, se tiene en cuenta una clase de duración corta (CTE DB SE-M Tabla 2.2) puesto que en nuestra hipótesis de cálculo se ha tenido en cuenta el viento, acción de más corta duración.

Se elige una clase de servicio 2 debido a la ubicación de edificio en Valencia y además en una zona muy cercana al mar y l'Albufera donde probablemente la humedad supere el 65% bastante tiempo y algunas veces el 85% (CTE DB SE-M 2.2.2.2)

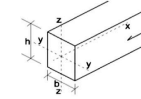
Y se toman como coeficientes de seguridad los siguientes(CTE DB SE-M Tabla 2.3):

Madera maciza,  $\gamma_m = 1,30$   
Madera laminada encolada,  $\gamma_m = 1,25$

Con esta serie de datos se pueden utilizar las tablas de cálculo proporcionadas por:

Creative Comons 2009 Maria Castaño Cerezo-Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Valencia-"Estructuras de madera"-Normativa CTE DB SE-M (España)

<b>Madera</b>	<b>b (mm)</b>	<b>h (mm)</b>	<b>A (mm2)</b>	<b>Wy (mm4)</b>	<b>Wz (mm4)</b>
C30	120	120	14400	288000	288000
	<b>duracion carga</b>	<b>clase de servicio</b>	<b>Kmod</b>	<b>γm</b>	
	corta	2	0,9	1,3	



Nxd (+) (N)	Nxd (-) (N)	Myd (Nmm)	Mzd (Nmm)	Tzd (N)	Tyd (N)	Nxd (-) (N) OBLICUA	$\alpha$
0	11,610	2,810,000		0	0	0	
ot,0,d N/mm2	oc,0,d N/mm2	om,y,d N/mm2	om,z,d N/mm2	Tzd N/mm2	Tyd N/mm2	oc,a,d N/mm2	
0,00	0,81	9,76	0,00	0,00	0,00	0,00	
ft,0,k (N/mm2)	fc,0,k (N/mm2)	fm,y,k (N/mm2)	fm,z,k (N/mm2)	fv,z,k (N/mm2)	fv,y,k (N/mm2)	fc,90,k (N/mm2)	
18	23	30	30	3	3	2,7	
ft,0,d (N/mm2)	fc,0,d (N/mm2)	fm,y,d (N/mm2)	fm,z,d (N/mm2)	fv,z,d (N/mm2)	fv,y,d (N/mm2)	fc,a,d (N/mm2)	
12,46	15,92	20,77	20,77	2,08	2,08	1,87	
-	-	-	-	-	-	-	
0 %	5 %	47 %	0 %	0 %	0 %	0 %	

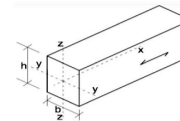
Myd, Mzd, Nx(-)
cumple

$$\left(\frac{\sigma_{c,0,d}}{f_{c,0,d}}\right)^2 + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1$$

$$\left(\frac{\sigma_{c,0,d}}{f_{c,0,d}}\right)^2 + k_m \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1$$

<b>Madera</b>	<b>b (mm)</b>	<b>h (mm)</b>	<b>L barra (mm)</b>	<b>A (mm<sup>2</sup>)</b>	<b>Iy (mm<sup>4</sup>)</b>
<b>C30</b>	120	120	390	14.400	35
	<b>Wy (mm<sup>3</sup>)</b>	<b>Wz (mm<sup>3</sup>)</b>	<b>Iz (mm<sup>4</sup>)</b>	<b>Itr (mm<sup>4</sup>)</b>	<b>iz (mm<sup>4</sup>)</b>
	288.000	288.000	17.280.000	25.574.400	35
	<b>duración carga</b>	<b>clase servicio</b>	<b>Kmod</b>	<b>γm</b>	
	corta	2	0,9	1,3	

Nxd (-) (N)	Myd (Nmm)	Mzd (Nmm)
11.610	2.810.000	
$\sigma_c, d$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\sigma_m, y, d$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\sigma_m, z, d$ (N/mm <sup>2</sup> )
0,81	9,76	0,00
$f_c, o, k$ (N/mm <sup>2</sup> )	$f_m, y, k$ (N/mm <sup>2</sup> )	$f_m, z, k$ (N/mm <sup>2</sup> )
23	30	30
$f_c, o, d$ (N/mm <sup>2</sup> )	$f_m, y, d$ (N/mm <sup>2</sup> )	$f_m, z, d$ (N/mm <sup>2</sup> )
15,92	20,77	20,77
5 % resistencia	47 % resistencia	0 % resistencia



**PAÑDEO FLEXIONAL\_causa Nxd(-)**

$\sigma_{c,0,d} \leq 1$	Nxd (-)	Nxd (-), Myd y/o Mzd	$\sigma_{c,0,d} + \sigma_{m,y,d} + k_m \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1$
$\chi_{c,y,f,0,d} \leq 1$	0 %	cumple	$\chi_{c,y,f,0,d} + f_{m,y,d} + k_m \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1$
$\chi_{c,z,f,0,d} \leq 1$	0 %	59 %	$\chi_{c,z,f,0,d} + k_m \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1$
		38 %	$\chi_{c,z,f,0,d} + k_m \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + f_{m,z,d} \leq 1$

**PAÑDEO TORSIONAL\_causa Myd**

$\sigma_{m,d} \leq k_{crit} \cdot f_{m,d}$	Myd	Myd Nxd (-)	$\frac{\sigma_{m,d}}{(k_{crit})_{m,d}} + \frac{\sigma_{c,0,d}}{\chi_{c,z,f,0,d}} \leq 1$
	0 %	cumple	
		27 %	

PANDEO FLEXIONAL	
flección en Y (eje fuerte)	flección en Z (eje débil)
nº apoyos intermedios	nº apoyos intermedios
0	0
B <sub>y</sub>	B <sub>z</sub>
0,7	0,7
X <sub>y</sub>	X <sub>z</sub>
7,68	7,68
oc,crit,y (N/mm2)	oc,crit,z (N/mm2)
1271,29	1271,29
Arel,y	Arel,z
0,13	0,13
K <sub>y</sub>	K <sub>z</sub>
0,49	0,49
X <sub>y</sub>	X <sub>z</sub>
1,00	1,00
PANDEO TORSIONAL	
BETA <sub>v</sub>	-
0,95	
om,crit (N/mm2)	
1516,07	
Arel,m	
0,14	
K <sub>rit</sub>	
1,00	

A 3D diagram of a rectangular cross-section. The width is labeled  $b$ , the height is labeled  $h$ , and the depth is labeled  $z$ . A coordinate system is shown with the  $x$ -axis along the length of the beam, the  $y$ -axis pointing downwards from the top edge, and the  $z$ -axis pointing outwards from the front face.

duracion carga	clase de servicio	Kmod	γm
corta	2	0,9	1,3

Nxd (+) (N)	Nxd (-) (N)	Myd (Nmm)	Mzd (Nmm)	Tzd (N)	Tyd (N)	Nxd (-) (N) OBLICUA	$\alpha$
0	12,030	4.350.000		0	0		0
ot,0,d N/mm2	oc,0,d N/mm2	om,y,d N/mm2	om,z,d N/mm2	Tzd N/mm2	Tyd N/mm2	oc,a,d N/mm2	
0,00	0,84	15,10	0,00	0,00	0,00	0,00	
ft,0,k (N/mm2)	fc,0,k (N/mm2)	fm,y,k (N/mm2)	fm,z,k (N/mm2)	fv,z,k (N/mm2)	fv,y,k (N/mm2)	fc,90,k (N/mm2)	
18	23	30	30	3	3	2,7	
ft,0,d (N/mm2)	fc,0,d (N/mm2)	fm,y,d (N/mm2)	fm,z,d (N/mm2)	fv,z,d (N/mm2)	fv,y,d (N/mm2)	fc,a,d (N/mm2)	
12,46	15,92	20,77	20,77	2,08	2,08	1,87	
-	-	-	-	-	-	-	
0 %	5 %	73 %	0 %	0 %	0 %	0 %	

Myd, Mzd, Nx(-)
cumple

$$\frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1$$

$$\frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1$$

$$\left(\frac{\sigma_{c,0,d}}{f_{c,0,d}}\right)^2 + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1$$

$$\left(\frac{\sigma_{c,0,d}}{f_{c,0,d}}\right)^2 + k_m \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1$$

73 %  
51 %

A 3D diagram of a rectangular beam. The width is labeled  $b$ , the height is labeled  $h$ , and the depth (along the  $z$ -axis) is labeled  $z$ . A coordinate system is shown with the  $x$ -axis along the length of the beam, the  $y$ -axis pointing downwards from the top surface, and the  $z$ -axis pointing outwards from the front face.

duración carga	clase servicio	Kmod	γm
corta	2	0,9	1,3

Nxd (-) (N)	Myd (Nmm)	Mzd (Nmm)
12.030	4,350.000	
oc,d (N/mm2)	om,y,d (N/mm2)	om,z,d (N/mm2)
0,84	15,10	0,00
fc,0,k (N/mm2)	fm,y,k (N/mm2)	fm,z,k (N/mm2)
23	30	30
fc,0,d (N/mm2)	fm,y,d (N/mm2)	fm,z,d (N/mm2)
15,92	20,77	20,77

5 % resistencia      73 % resistencia      0 % resistencia

**PAÑEDO FLEXIONAL\_causa Nx(d-)**

Nx(d-)	Nx(d-), Myd y/o Mzd
0%	100%
0%	55%

**PAÑEDO TORSIONAL\_causa Myd**

Myd	Myd, Nx(d-)
100%	55%

$\sigma_{c,d} \leq 1$

$\chi_{c,y} f_{c,d} \leq 1$

$\sigma_{c,d} \leq 1$

$\chi_{c,z} f_{c,d} \leq 1$

$\sigma_{c,d} + \sigma_{m,y,d} + \kappa_m \sigma_{m,z,d} \leq 1$

$\chi_{c,y} f_{c,d} + f_{m,y,d} + f_{m,z,d} \leq 1$

$\sigma_{c,d} + \kappa_m \sigma_{m,y,d} + \sigma_{m,z,d} \leq 1$

$\chi_{c,z} f_{c,d} + f_{m,y,d} + f_{m,z,d} \leq 1$

$\sigma_{m,d} \leq \kappa_{crit} \cdot f_{m,d}$

$\sigma_{m,d}^2 + \frac{\sigma_{c,d}}{\kappa_{crit} f_{m,d}} + \frac{\sigma_{c,z}}{\chi_{c,z} f_{c,d}} \leq 1$

PANDEO FLEXIONAL	
flexión en Y (eje fuerte)	flexión en Z (eje débil)
nº apoyos intermedios	nº apoyos intermedios
0	0
βy	βz
0,7	0,7
ly	lz
7,88	7,88
oc,crit.y (N/mm2)	oc,crit.z (N/mm2)
1271,29	1271,29
lrel.y	lrel.z
0,13	0,13
Ky	Kz
0,49	0,49
Xy	Xz
1,00	1,00
PANDEO TORSIONAL	
BETAv	
0,95	-
om,crit (N/mm2)	
1516,07	
lrel,m	
0,14	
Kcrit	
1,00	

A 3D diagram of a rectangular cross-section. The width is labeled  $b$ , the height is labeled  $h$ , and the depth is labeled  $z$ . A coordinate system is shown with the  $x$ -axis pointing along the length of the beam, the  $y$ -axis pointing downwards from the top surface, and the  $z$ -axis pointing outwards from the front face.

duracion carga	clase de servicio	Kmod	γm
corta	2	0,9	1,25

Nxd (+) (N)	Nxd (-) (N)	Mzd (Nmm)	Mzd (Nmm)	Tzd (N)	Tzd (N)	Nxd (-) (N) OBLICUA	$\alpha^*$
0	32.540	27.270 (Nmm)		0	0	0	$\alpha^*$
$\sigma_{t,0,d}$ (N/mm2)	$\sigma_{c,0,d}$ (N/mm2)	$\sigma_{m,y,d}$ (N/mm2)	$\sigma_{m,z,d}$ (N/mm2)	$T_{z,d}$ (N/mm2)	$T_{y,d}$ (N/mm2)	$\sigma_{c,a,d}$ (N/mm2)	
0,00	0,90	15,15	0,00	0,00	0,00	0,00	
$f_{t,0,k}$ (N/mm2)	$f_{c,0,k}$ (N/mm2)	$f_{m,y,k}$ (N/mm2)	$f_{m,z,k}$ (N/mm2)	$f_{v,z,k}$ (N/mm2)	$f_{v,y,k}$ (N/mm2)	$f_{c,90,k}$ (N/mm2)	
16,5	24	28	28	2,7	2,7	2,7	
$f_{t,0,d}$ (N/mm2)	$f_{c,0,d}$ (N/mm2)	$f_{m,y,d}$ (N/mm2)	$f_{m,z,d}$ (N/mm2)	$f_{v,z,d}$ (N/mm2)	$f_{v,y,d}$ (N/mm2)	$f_{c,a,d}$ (N/mm2)	
11,88	17,28	20,16	20,16	1,94	1,94	1,94	
-	-	-	-	-	-	-	
0%	5%	75%	0%	0%	0%	0%	

Myd, Mzd, Nx(-)
cumple

$$\left(\frac{\sigma_{c,0,d}}{f_{c,0,d}}\right)^2 + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1$$

$$\left(\frac{\sigma_{c,0,d}}{f_{c,0,d}}\right)^2 + k_m \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1$$

duración carga	clase servicio	Kmod	γm
corta	2	0,9	1,25

Nxd (-) (N)	Myd (Nmm)	Mzd (Nmm)
32.540	27.270.000	
$\sigma_{c,0,d}$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\sigma_{m,y,d}$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\sigma_{m,z,d}$ (N/mm <sup>2</sup> )
0,90	15,15	0,00
$f_{c,0,k}$ (N/mm <sup>2</sup> )	$f_{m,y,k}$ (N/mm <sup>2</sup> )	$f_{m,z,k}$ (N/mm <sup>2</sup> )
26,5	32	32
$f_{c,0,d}$ (N/mm <sup>2</sup> )	$f_{m,y,d}$ (N/mm <sup>2</sup> )	$f_{m,z,d}$ (N/mm <sup>2</sup> )
19,08	23,04	23,04

PANDEO FLEXIONAL	
flexión en Y (eje fuerte)	flexión en Z (eje débil)
nº apoyos intermedios	nº apoyos intermedios
0	0
$\beta y$	$\beta z$
0,7	0,7
$\lambda y$	$\lambda z$
5,90	14,75
$\sigma_{c,cr1,y}$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\sigma_{c,cr1,z}$ (N/mm <sup>2</sup> )
3146,80	503,46
$\lambda_{rel,y}$	$\lambda_{rel,z}$
0,09	0,23
K <sub>y</sub>	K <sub>z</sub>
0,49	0,52
X <sub>y</sub>	X <sub>z</sub>
1,00	1,00
PANDEO TORSIONAL	
BETA <sub>v</sub>	-
0,95	
$\sigma_{m,cr1}$ (N/mm <sup>2</sup> )	
553,36	
$\lambda_{rel,m}$	
0,24	
K <sub>crit</sub>	
1,00	

**PAÑDEO FLEXIONAL\_causa Nx(d,-)**

$\frac{\sigma_{c,0,d}}{\chi_{c,0} f_{c,0,d}} \leq 1$	<table border="1" style="margin: auto;"> <tr><td>Nxd (-)</td></tr> <tr><td>0 %</td></tr> <tr><td>0 %</td></tr> </table>	Nxd (-)	0 %	0 %	$\frac{\sigma_{c,0,d}}{\chi_{c,0} f_{c,0,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1$	
Nxd (-)						
0 %						
0 %						
$\frac{\sigma_{c,0,d}}{\chi_{c,2} f_{c,0,d}} \leq 1$	<table border="1" style="margin: auto;"> <tr><td>Nxd (-), Myd y/la Mzd</td></tr> <tr><td>cumple</td></tr> <tr><td>74 %</td></tr> <tr><td>51 %</td></tr> </table>	Nxd (-), Myd y/la Mzd	cumple	74 %	51 %	$\frac{\sigma_{c,0,d}}{\chi_{c,2} f_{c,0,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1$
Nxd (-), Myd y/la Mzd						
cumple						
74 %						
51 %						

**PAÑDEO TORSIONAL\_causa Myd**

$\frac{\sigma_{m,d}}{k_{crit} f_{m,d}} \leq 1$	<table border="1" style="margin: auto;"> <tr><td>Myd</td></tr> <tr><td>0 %</td></tr> </table>	Myd	0 %	$\left( \frac{\sigma_{m,d}}{k_{crit} f_{m,d}} \right)^2 + \frac{\sigma_{c,0,d}}{\chi_{c,2} f_{c,0,d}} \leq 1$	
Myd					
0 %					
	<table border="1" style="margin: auto;"> <tr><td>Myd, Nx(d,-)</td></tr> <tr><td>cumple</td></tr> <tr><td>48 %</td></tr> </table>	Myd, Nx(d,-)	cumple	48 %	
Myd, Nx(d,-)					
cumple					
48 %					



A 3D diagram of a rectangular cross-section. The width is labeled  $b$ , the height is labeled  $h$ , and the distance from the bottom edge to the neutral axis is labeled  $z$ . The coordinate axes are labeled  $x$  (along the length of the beam),  $y$  (horizontal, pointing right), and  $z$  (vertical, pointing up).

Las  
solicitaciones  
se han de  
meter en las  
casillas en valor  
absoluto.

A 3D diagram of a rectangular cross-section. The width is labeled  $b$ , the height is labeled  $h$ , and the distance from the bottom edge to the neutral axis is labeled  $y$ . A coordinate system is shown with the  $x$ -axis along the length of the beam, the  $y$ -axis pointing downwards from the neutral axis, and the  $z$ -axis pointing out of the page.

Las  
solicitaciones  
se han de  
meter en las  
casillas en valor  
absoluto.

### Resistencia al fuego de las estructuras de madera

Al tratarse de un edificio de uso docente y una altura de evacuación inferior a 15 m, según el CTE DB SI (Tabla 3.1), la resistencia al fuego de la estructura debe ser superior o igual a R60.

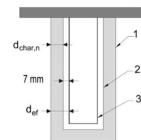
La sección resistente se dimensiona para la situación extraordinaria con carga de fuego. En esta situación los coeficientes de mayoración de cargas para las acciones desfavorables serán  $\gamma=1$  y los coeficientes de simultaneidad se considerarán más bajos que para la situación persistente o transitoria, por tanto:

Solicitaciones $\Sigma Y_G \cdot G_k + A_d + Y_Q \cdot \Psi_{11} \cdot Q_{k1} + \Sigma Y_Q \cdot \Psi_{2i} \cdot Q_{ki}$				
Barra	Datos	Luz (m)	$N_k$ (kN)	$M_y$ (kN . m)
3	C30 (120mm x 120mm)	3,70	-7,79	1,92
4	C30 (120mm x 120mm)	3,70	-8,03	2,47
5	GL32c (120mm x 300mm)	7,30	-22,04	-18,25
6	GL32c (120mm x 240mm)	7,30	-1,09	11,58

Método de la sección reducida (CTE DB SI Anejo E)

La comprobación de la capacidad portante de un elemento estructural de madera se realiza por los métodos establecidos en DB SE-M, Teniendo en cuenta las reglas simplificadas para el análisis de elementos establecidos en E.3, y considerando una sección reducida de madera, obtenida eliminando de la sección inicial, la profundidad eficaz de carbonización  $d_{ef}$  en las caras expuestas, alcanzada durante el periodo de tiempo considerado:

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



En el pórtico que se analiza todos los elementos estructurales poseen una capa de protección frente al fuego (tablero contrachapado y tablero MDF) Por este motivo, la velocidad de carbonización nominal de cálculo varía durante el tiempo de exposición al fuego.

Debido a la notable disminución de la sección eficaz de los elementos estructurales utilizando únicamente la protección anterior, es necesario aplicar un barniz intumescente para estructuras de madera "Barniz Protec W15" que proporciona un aislamiento térmico por acción intumescente y una resistencia al fuego adicional de hasta 31 minutos Norma NE 1363-1:2000.

Madera con protección						
Barra	$t_{ch}$ (min)	R31	$d_{char}$ (mm)	$d_0$ (mm)	$k_0$	$d_{ef}$ (mm)
3	31,67	0	0	7	0	0
4	31,67	0	0	7	0	0
5	55	0	0	7	0	0
6	31,67	0	0	7	0	0

\*Datos (CTE DB SI Anejo E):

- Tiempo de inicio de la carbonización del elemento protegido:  
 $t_{ch} = h_p / \beta_0$
- Profundidad carbonizada nominal de cálculo:  
 $d_{char} = \beta_n \cdot t$
- $d_0 = 7 \text{ mm}$ :
- Coeficientes de tiempo  $k_0$
- Profundidad eficaz de carbonización,  $d_{ef}$

Como las secciones resistentes no se ven afectadas debido a las protecciones en un tiempo de 60 min, no es necesario recalcular ningún elemento.

### Cálculo del acero

A continuación, procedemos a dimensionar los 2UPN 120 (cajón) de las barras 1 y 2 del pórtico.

Solicitaciones ELU					
Barra	Datos	Luz (m)	$N_d$ (kN)	$V_d$ (kN)	$M_d$ (kN . m)
1	2UPN 120	1	42,13	32,77	23,16
2	2UPN 120	1	43,42	35,12	23,31

Propiedades de 2UPN 120 (cajón)							
B (cm)	H (cm)	Área (cm <sup>2</sup> )	$I_y$ (cm <sup>4</sup> )	$I_z$ (cm <sup>4</sup> )	$f_{yk}$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\gamma_s$	E (Mpa)
11	12	34	728	604	275	1,05	210000

Se comprobará a resistencia la barra 2 al tratarse de la más desfavorable.

Comprobaciones de resistencia			
Comprobación	Fórmula	Resultado	Estado
N	$N_{rd} = f_{yd} \cdot A$	890 kN	Cumple
V	$V_{rd} = A_v \cdot f_{yd} / \sqrt{3}$	132,14 kN	Cumple
M	$M_{rd} = f_{yd} \cdot W_{el}$	31,79 kN.m	Cumple
M+N	$N_{ed}/N_{rd} + M_{ed}/M_{rd} \leq 1$	0,78	Cumple

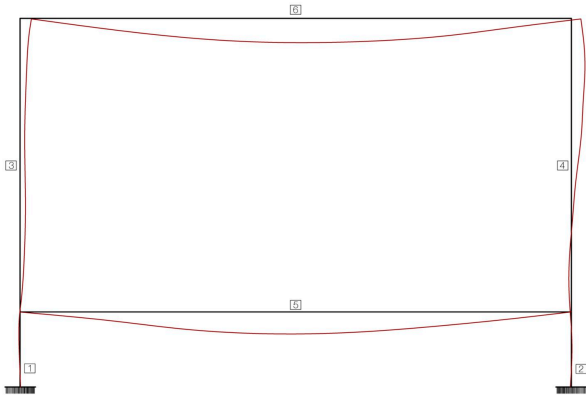
Suponemos una estructura intraslacional para el cálculo.

Comprobaciones de pandeo			
Comprobación	Fórmula	Resultado	Estado
N	$N_{b,rd} = \chi \cdot f_{yd} \cdot A$	890 kN	Cumple

\*Datos (CTE DB SE-A):

- Esbeltez reducida:  
 $\lambda = 0,12$
- Curva de pandeo en función de la sección transversal:  
Curva c
- Coeficiente de pandeo:  
 $\chi = 1$

Comprobaciones ELS



Deformaciones verticales de la estructura horizontal. Flechas

Barra 5

Flecha (cm)			
Madera	Cargas permanentes $G_k$	Sobrecarga de uso $Q_k$	Sobrecarga de uso $\psi_2 \cdot Q_k$
Flecha instantánea	0,24	0,85	0,51
Flecha diferida	0,19	0,68	0,41

Comprobación				
Daño	Limitación	Flecha	Resultado (cm)	Estado
Daño de los elementos constructivos	L/300	Activa	1,45	L/503 → Cumple
Confort de los usuarios	L/350	-	0,85	L/858 → Cumple
Apariencia de la obra	L/300	Total	1,35	L/540 → Cumple

Barra 6

Flecha (cm)			
Madera	Cargas permanentes $G_k$	Sobrecarga de uso $Q_k$	Sobrecarga de uso $\psi_2 \cdot Q_k$
Flecha instantánea	0,82	1,12	0
Flecha diferida	0,66	0,90	0,00

Comprobación				
Daño	Limitación	Flecha	Resultado (cm)	Estado
Daño de los elementos constructivos	L/300	Activa	1,78	L/410 → Cumple
Confort de los usuarios	L/350	-	1,12	L/652 → Cumple
Apariencia de la obra	L/300	Total	1,48	L/493 → Cumple

\*Datos (CTE DB SE-M):

- Valor  $k_{def}$ :  
Madera laminada encolada,  $k_{def} = 0,8$

Deformaciones horizontales de la estructura

Barra 3

Desplome (cm)			
Madera	Cargas permanentes $G_k$	Viento $Q_k$	Viento $\Psi_2 \cdot Q_k$
<b>Flecha instantánea</b>	0,13	0,73	0

Comprobación			
Daño	Limitación	Resultado (cm)	Estado
<b>Daño de los elementos constructivos</b>	L/500 (H)	0,73	L/643 → Cumple
	L/250 (h)		L/506 → Cumple
<b>Apariencia de la obra</b>	L/250 (h)	0,72	L/513 → Cumple

Barra 4

Desplome (cm)			
Madera	Cargas permanentes $G_k$	Viento $Q_k$	Viento $\Psi_2 \cdot Q_k$
<b>Flecha instantánea</b>	0,13	0,73	0

Comprobación			
Daño	Limitación	Resultado (cm)	Estado
<b>Daño de los elementos constructivos</b>	L/500 (H)	0,73	L/643 → Cumple
	L/250 (h)		L/506 → Cumple
<b>Apariencia de la obra</b>	L/250 (h)	0,72	L/513 → Cumple

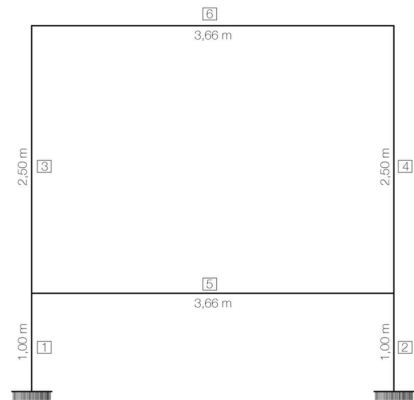
Resumen

Pórtico 7		
Barra	Luz (m)	Datos
1	1	2UPN 120
2	1	2UPN 120
3	3,70	C30 (120mm x 120mm)
4	3,70	C30 (120mm x 120mm)
5	7,30	GL28c (120mm x 300mm)
6	7,30	GL28c (120mm x 240mm)

**Conclusión:** en el cálculo del pórtico se ha obtenido la **solución más coherente** en el conjunto global del **proyecto**, teniendo en cuenta tanto los cálculos a resistencia, estabilidad y deformaciones como incendio y soluciones constructivas, éstas deberán ser apropiadas y óptimas en el edificio.

Por este motivo, aparece una parte de la estructura que se sobredimensiona en cálculo, es el caso de los 2UPN 120; que con 2UPN 100 cumple las exigencias del CTE, pero en este caso la solución del nudo inferior es mucho más compleja así como, al generarse cargas excéntricas, su funcionamiento estructural.

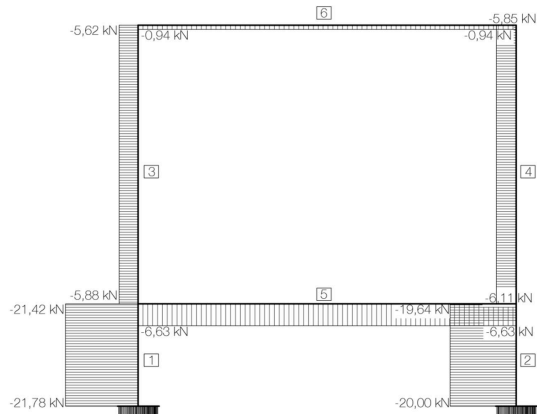
Pórtico 25-26



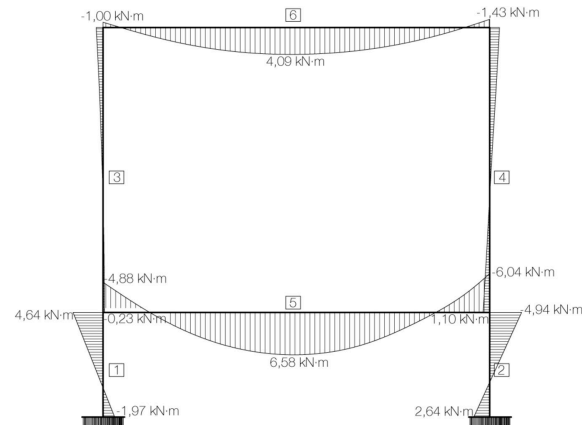
**Resistencia:**

Mediante el programa de cálculo Architrave se obtienen las solicitaciones.

Axiles ( $N_x$ )



Momentos ( $M_v$ )



Solicitaciones ELU				
Barra	Datos	Luz (m)	$N_x$ (kN)	$M_v$ (kN . m)
1	2UPN 120	1	-21,60	4,64
2	2UPN 120	1	-19,83	-4,94
3	C30 (120mm x 120mm)	3,70	-5,88	1,00
4	C30 (120mm x 120mm)	3,70	-6,11	1,43
5	GL32c (120mm x 300mm)	7,30	-6,64	6,58
6	GL32c (120mm x 240mm)	7,30	-0,94	4,01

**Cálculo de la madera**

Una vez obtenidos todos los datos anteriores hemos de considerar los factores que afectan al comportamiento estructural de la madera. Éstos viene recogidos en el CTE DB SE-M 2.2.2. En este caso se corresponden exactamente con los mismos datos utilizados en el pórtico anterior. Por tanto, se pueden utilizar las tablas de cálculo proporcionadas por:

Creative Comons 2009 Maria Castaño Cerezo-Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Valencia-"Estructuras de madera"-Normativa CTE DB SE-M (España)  
Barras 3, 4 y 5

Al tener las mismas características físicas y mecánicas que las barras del pórtico 7 y estar sometidas a una sollicitación mucho menor se considera que la solución anterior, en este caso, cumple las exigencias establecidas por el CTE. Se decide mantener la dimensión de los elementos debido a dos motivos: el primero de ellos tiene que ver con la facilidad de replanteo, construcción y prefabricación de la estructura, tanto del forjado inferior como de los soportes verticales siendo más sencilla la solución adoptada; y el segundo de ellos se corresponde con un sobredimensionado a fuego de los elementos de madera. En este caso se trata de la barra 3, ya que se encuentra expuesta al fuego sin protección. Esto se detallará posteriormente.

A continuación se resume el cálculo de la barra 6 debido a la variación de dimensiones en el diseño de proyecto.

### Barra 6 (resistencia)

Madera	b (mm)	h (mm)	A (mm <sup>2</sup> )	Wy (mm <sup>4</sup> )	Wz (mm <sup>4</sup> )
GL28c	120	180	21600	648000	432000

duracion carga	clase de servicio	Kmod	γm
corta	2	0,9	1,25

Nxd (+) (N)	Nxd (-) (N)	Myd (Nmm)	Mzd (Nmm)	Tzd (N)	Tyd (N)	Nxd (-) (N) OBLICUA	α°
0	940	4.090.000	0	0	0	0	0
σ <sub>t,0,d</sub> (N/mm <sup>2</sup> )	σ <sub>c,0,d</sub> (N/mm <sup>2</sup> )	σ <sub>m,y,d</sub> (N/mm <sup>2</sup> )	σ <sub>m,z,d</sub> (N/mm <sup>2</sup> )	T <sub>zd</sub> (N/mm <sup>2</sup> )	T <sub>yd</sub> (N/mm <sup>2</sup> )	σ <sub>c,a,d</sub> (N/mm <sup>2</sup> )	
0,00	0,04	6,31	0,00	0,00	0,00	0,00	
f <sub>t,0,k</sub> (N/mm <sup>2</sup> )	f <sub>c,0,k</sub> (N/mm <sup>2</sup> )	f <sub>m,y,k</sub> (N/mm <sup>2</sup> )	f <sub>m,z,k</sub> (N/mm <sup>2</sup> )	f <sub>v,z,k</sub> (N/mm <sup>2</sup> )	f <sub>v,y,k</sub> (N/mm <sup>2</sup> )	f <sub>c,90,k</sub> (N/mm <sup>2</sup> )	
16,5	24	28	28	2,7	2,7	2,7	
f <sub>t,0,d</sub> (N/mm <sup>2</sup> )	f <sub>c,0,d</sub> (N/mm <sup>2</sup> )	f <sub>m,y,d</sub> (N/mm <sup>2</sup> )	f <sub>m,z,d</sub> (N/mm <sup>2</sup> )	f <sub>v,z,d</sub> (N/mm <sup>2</sup> )	f <sub>v,y,d</sub> (N/mm <sup>2</sup> )	f <sub>c,a,d</sub> (N/mm <sup>2</sup> )	
11,88	17,28	20,16	20,16	1,94	1,94	1,94	
-	-	-	-	-	-	-	
0 %	0 %	31 %	0 %	0 %	0 %	0 %	

Myd, Mzd	Myd, Mzd, Nx(+)	Myd, Mzd, Nx(-)
-	-	cumple

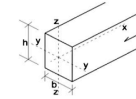
  

$$\frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_{m,y} \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1 \quad 0 \%$$

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{f_{c,0,d}} + k_{m,z} \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_{m,z} \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1 \quad 0 \%$$

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{f_{c,0,d}} + k_{m,y} \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_{m,z} \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1 \quad 0 \%$$

$$\left( \frac{\sigma_{c,0,d}}{f_{c,0,d}} \right)^2 + k_{m,y} \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_{m,z} \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1 \quad 31 \%$$

$$\left( \frac{\sigma_{c,0,d}}{f_{c,0,d}} \right)^2 + k_{m,y} \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_{m,z} \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1 \quad 22 \%$$


### Barra 6 (estabilidad)

Madera

GL28c

b (mm)	h (mm)	L barra (mm)	A (mm <sup>2</sup> )	iy (mm <sup>4</sup> )
120	180	730	21.600	52
Wy (mm <sup>3</sup> )	Wz (mm <sup>3</sup> )	Iz (mm <sup>4</sup> )	I <sub>tor</sub> (mm <sup>4</sup> )	Iz (mm <sup>4</sup> )
648.000	432.000	25.920.000	60.134.400	35

duración carga

clase servicio

Kmod

γm

corta

2

0,9

1,25

Nxd (-) (N)

Myd (Nmm)

Mzd (Nmm)

940

4.090.000

σ<sub>c,0,d</sub> (N/mm<sup>2</sup>)

σ<sub>m,y,d</sub> (N/mm<sup>2</sup>)

σ<sub>m,z,d</sub> (N/mm<sup>2</sup>)

0,04

6,31

0,00

f<sub>c,0,k</sub> (N/mm<sup>2</sup>)

f<sub>m,y,k</sub> (N/mm<sup>2</sup>)

f<sub>m,z,k</sub> (N/mm<sup>2</sup>)

26,5

32

32

f<sub>c,0,d</sub> (N/mm<sup>2</sup>)

f<sub>m,y,d</sub> (N/mm<sup>2</sup>)

f<sub>m,z,d</sub> (N/mm<sup>2</sup>)

19,08

23,04

23,04

0 % resistencia

27 % resistencia

0 % resistencia

Nxd (-)

Myd (-)

Mzd (-)

-

-

-

0 %

0 %

0 %

0 %

0 %

0 %

Myd

Mzd

Myd, Mzd (-)

-

-

-

0 %

0 %

8 %

σ<sub>c,0,d</sub>

χ<sub>c,y</sub> f<sub>c,0,d</sub>

σ<sub>c,0,d</sub>

χ<sub>c,z</sub> f<sub>c,0,d</sub>

σ<sub>m,d</sub> ≤ k<sub>crit</sub> · f<sub>m,d</sub>

σ<sub>c,0,d</sub> + σ<sub>m,y,d</sub> + k<sub>m</sub> σ<sub>m,z,d</sub> ≤ 1

χ<sub>c,y</sub> f<sub>c,0,d</sub> + f<sub>m,y,d</sub> + k<sub>m</sub> f<sub>m,z,d</sub>

σ<sub>c,0,d</sub> + k<sub>m</sub> σ<sub>m,y,d</sub> + σ<sub>m,z,d</sub> ≤ 1

χ<sub>c,z</sub> f<sub>c,0,d</sub> + f<sub>m,y,d</sub> + f<sub>m,z,d</sub>

σ<sub>m,d</sub>

k<sub>crit</sub> f<sub>m,d</sub>

σ<sub>c,0,d</sub>

χ<sub>c,z</sub> f<sub>c,0,d</sub>

2

1

flexión en Y (eje fuerte)

flexión en Z (eje débil)

nº apoyos intermedios

nº apoyos intermedios

0

0

β<sub>y</sub>

β<sub>z</sub>

0,7

0,7

λ<sub>y</sub>

λ<sub>z</sub>

9,83

14,75

σ<sub>c,crit,y</sub> (N/mm<sup>2</sup>)

σ<sub>c,crit,z</sub> (N/mm<sup>2</sup>)

1132,78

503,46

λ<sub>rel,y</sub>

λ<sub>rel,z</sub>

0,15

0,23

K<sub>y</sub>

K<sub>z</sub>

0,50

0,52

X<sub>y</sub>

X<sub>z</sub>

1,00

1,00

PANDEO TORSIONAL

BET<sub>Av</sub>

-

0,95

-

σ<sub>m,crit</sub> (N/mm<sup>2</sup>)

-

812,11

-

λ<sub>rel,m</sub>

-

0,20

-

K<sub>crit</sub>

-

1,00

-

h

y

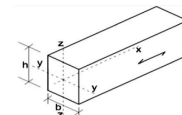
z

x

y

z

Las sollicitaciones se han de meter en la meter en la castillas en valor absoluto.



### Resistencia al fuego de las estructuras de madera

Al tratarse de un edificio de uso docente y una altura de evacuación inferior a 15 m, según el CTE DB SI (Tabla 3.1), la resistencia al fuego de la estructura debe ser superior o igual a R60.

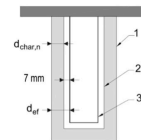
La sección resistente se dimensiona para la situación extraordinaria con carga de fuego. En esta situación los coeficientes de mayoración de cargas para las acciones desfavorables serán  $\gamma=1$  y los coeficientes de simultaneidad se considerarán más bajos que para la situación persistente o transitoria, por tanto:

Solicitaciones $\Sigma Y_G \cdot G_k + A_d + Y_Q \cdot \psi_{1i} \cdot Q_{k1} + \Sigma Y_Q \cdot \psi_{2i} \cdot Q_{ki}$				
Barra	Datos	Luz (m)	$N_x$ (kN)	$M_y$ (kN . m)
3	C30 (120mm x 120mm)	3,70	-3,89	0,67
4	C30 (120mm x 120mm)	3,70	-4,02	-0,88
5	GL32c (120mm x 300mm)	7,30	-4,47	4,45
6	GL32c (120mm x 240mm)	7,30	-0,60	2,63

Método de la sección reducida (CTE DB SI Anejo E)

La comprobación de la capacidad portante de un elemento estructural de madera se realiza por los métodos establecidos en DB SE-M, Teniendo en cuenta las reglas simplificadas para el análisis de elementos establecidos en E.3, y considerando una sección reducida de madera, obtenida eliminando de la sección inicial, la profundidad eficaz de carbonización  $d_{ef}$  en las caras expuestas, alcanzada durante el periodo de tiempo considerado:

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



En el pórtico que se analiza los elementos estructurales horizontales poseen una capa de protección frente al fuego (tablero contrachapado y tablero MDF) Por este motivo, la velocidad de carbonización nominal de cálculo varía durante el tiempo de exposición al fuego. Uno de los pilares no posee ninguna protección de este tipo, en cambio el otro si que se encuentra protegido.

Debido a la notable disminución de la sección eficaz de los elementos estructurales utilizando únicamente la protección anterior, es necesario aplicar un barniz intumescente para estructuras de madera "Barniz Protec W15" que proporciona un aislamiento térmico por acción intumescente y una resistencia al fuego adicional de hasta 31 minutos Norma NE 1363-1:2000.

Madera con protección							
Barra	$t_{ch}$ (min)	R31	$d_{char}$ (mm)	$d_0$ (mm)	$k_0$	$d_{ef}$ (mm)	Sección eficaz
3	31,67	0	0	7	0	0	120 x 120 mm
4	0	0	20,3	7	1	27,3	65,4 x 65,4 mm
5	55	0	0	7	0	0	120 x 300 mm
6	31,67	0	0	7	0	0	120 x 240 mm

\*Datos (CTE DB SI Anejo E):

- Tiempo de inicio de la carbonización del elemento protegido:  
 $t_{ch} = h_p / \beta_0$
- Profundidad carbonizada nominal de cálculo:  
 $d_{char} = \beta_n \cdot t$
- $d_0 = 7mm$ :
- Coeficientes de tiempo  $k_0$
- Profundidad eficaz de carbonización,  $d_{ef}$

Como la sección de uno de los pilares se reduce notablemente con respecto al cálculo a resistencia se recalcula dicha barra con las solicitaciones y los datos correspondientes.

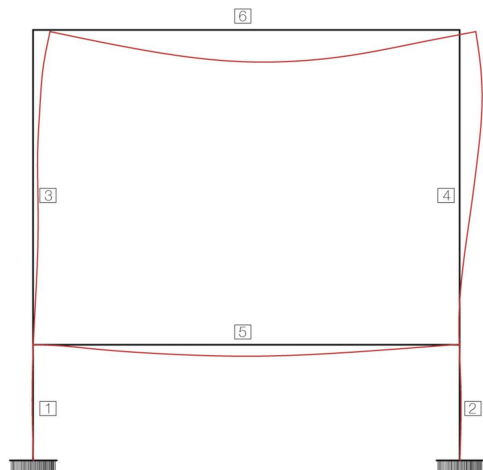
### Cálculo del acero

A continuación, procedemos a dimensionar los 2UPN 120 (cajón) de las barras 1 y 2 del pórtico.

Como el dimensionado de estos pilares en el pórtico anterior era mucho más desfavorable (mayores solicitaciones), se asume la utilización de los mismos UPN por coherencia constructiva. Por tanto, se puede afirmar que cumplirán las exigencias del CTE establecidas para el cálculo.

Propiedades de 2UPN 120 (cajón)							
B (cm)	H (cm)	Área (cm²)	I <sub>y</sub> (cm⁴)	I <sub>z</sub> (cm⁴)	f <sub>yk</sub> (N/mm²)	γ <sub>s</sub>	E (Mpa)
11	12	34	728	604	275	1,05	210000

Comprobaciones ELS



Deformaciones de la estructura horizontal y vertical. Flechas y desplomes.

En este caso, al igual que en resistencia, únicamente comprobaremos la barra 6, ya que el resto de elementos poseen las mismas dimensiones que el pórtico anterior y unas solicitaciones mucho menores, por este motivo, se puede suponer que cumplen las exigencias establecidas en el CTE para limitación de deformaciones.

Barra 6

Flecha (cm)			
Madera	Cargas permanentes G <sub>k</sub>	Sobrecarga de uso Q <sub>k</sub>	Sobrecarga de uso ψ <sub>2</sub> Q <sub>k</sub>
Flecha instantánea	0,10	0,14	0
Flecha diferida	0,08	0,11	0,00

Comprobación				
Daño	Limitación	Flecha	Resultado (cm)	Estado
Daño de los elementos constructivos	L/300	Activa	0,22	L/1636 → Cumple
Confort de los usuarios	L/350	-	0,14	L/2571 → Cumple
Apariencia de la obra	L/300	Total	0,18	L/2000 → Cumple

\*Datos (CTE DB SE-M):

- Valor  $K_{def}$ :  
Madera laminada encolada,  $k_{def} = 0,8$

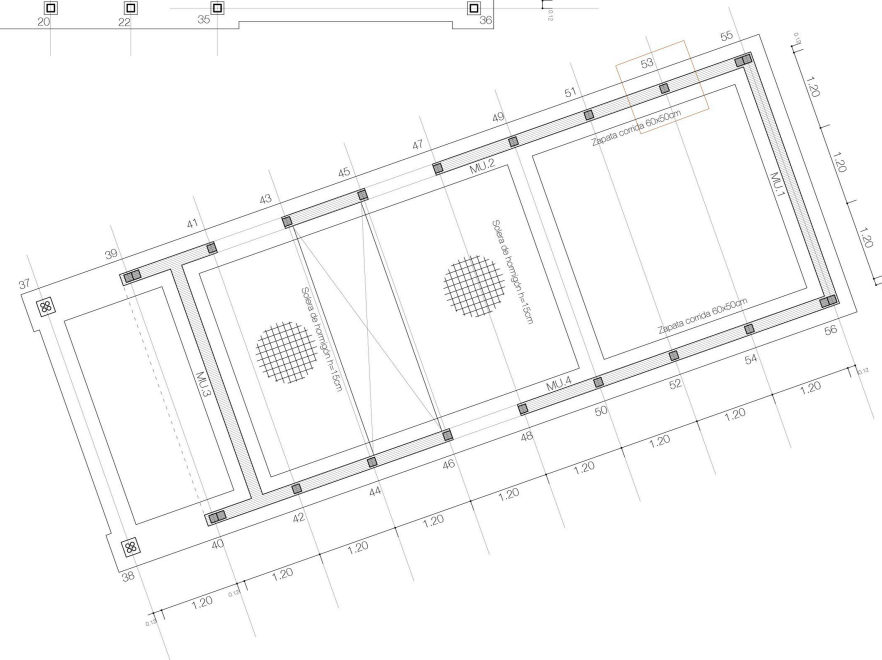
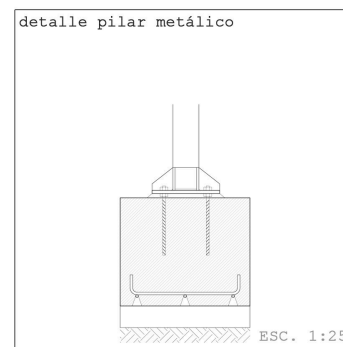
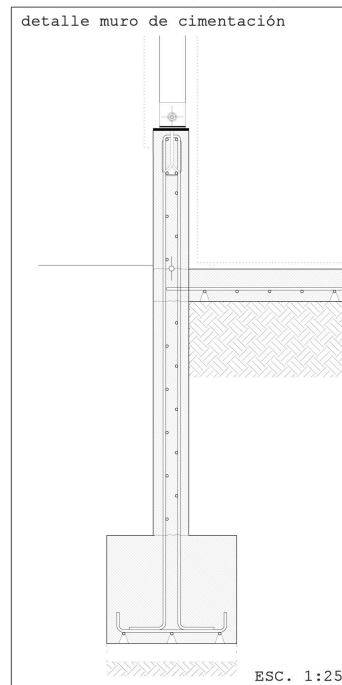
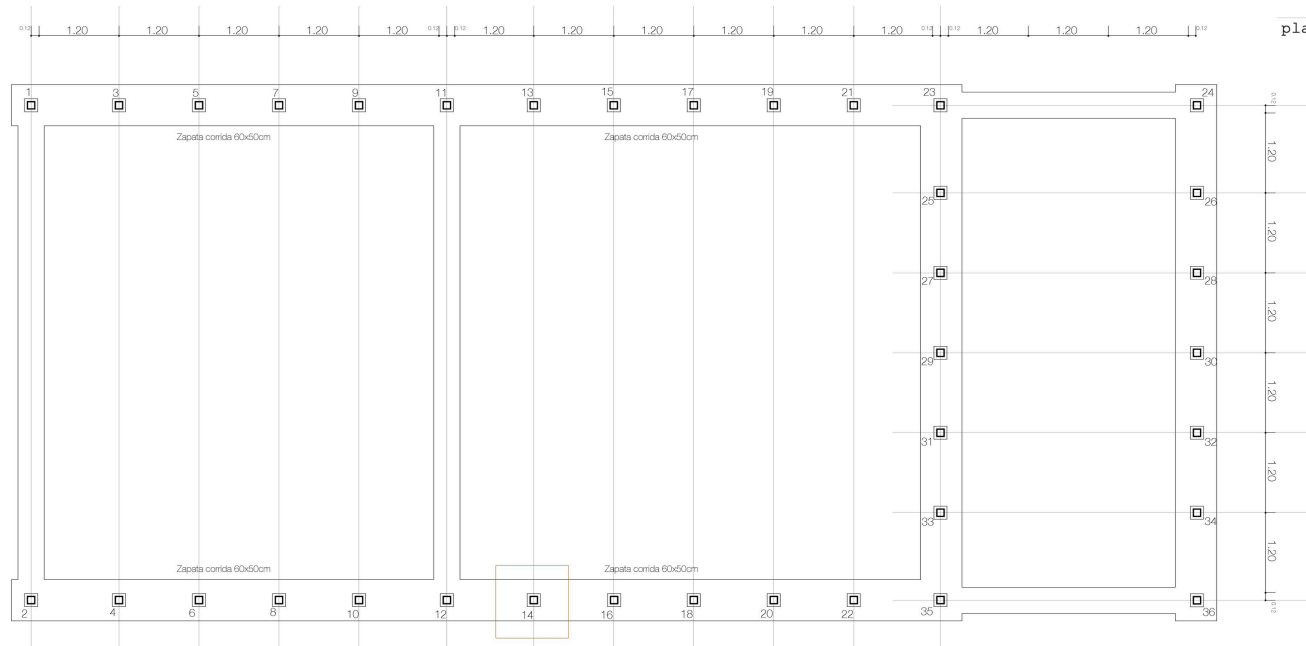
Resumen

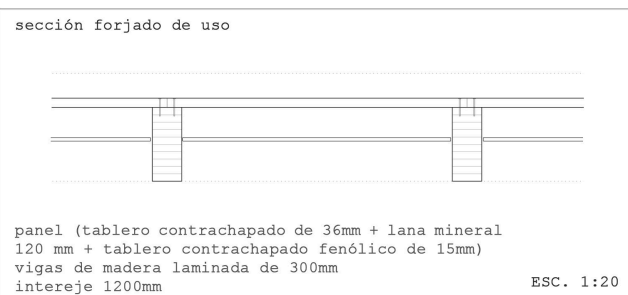
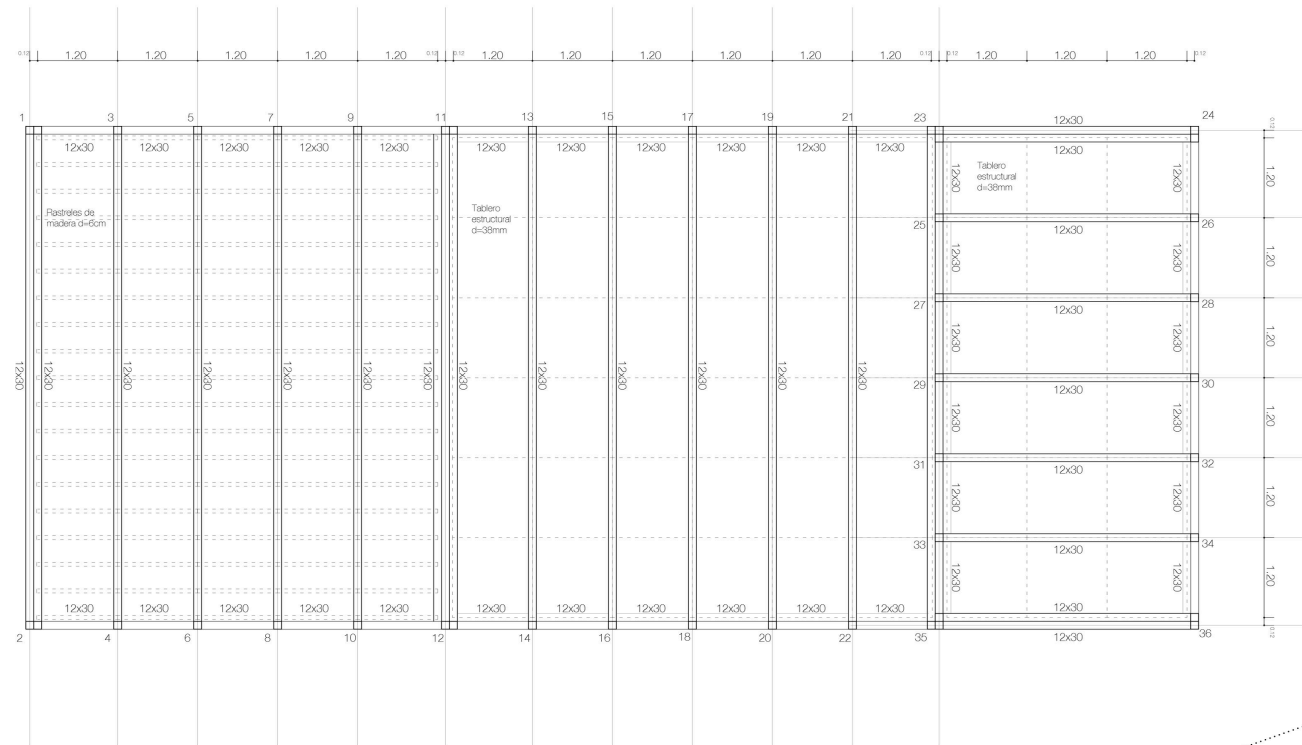
Pórtico 7		
Barra	Luz	Datos
1	1	2UPN 120
2	1	2UPN 120
3	2,4	C30 (120mm x 120mm)
4	2,4	C30 (120mm x 120mm)
5	3,6	GL28c (120mm x 300mm)
6	3,6	GL28c (120mm x 180mm)

**Conclusión:** en el cálculo del pórtico se ha obtenido la **solución más coherente** en el conjunto global del **proyecto**, teniendo en cuenta tanto los cálculos a resistencia, estabilidad y deformaciones como incendio y soluciones constructivas, éstas deberán ser apropiadas y óptimas en el edificio.

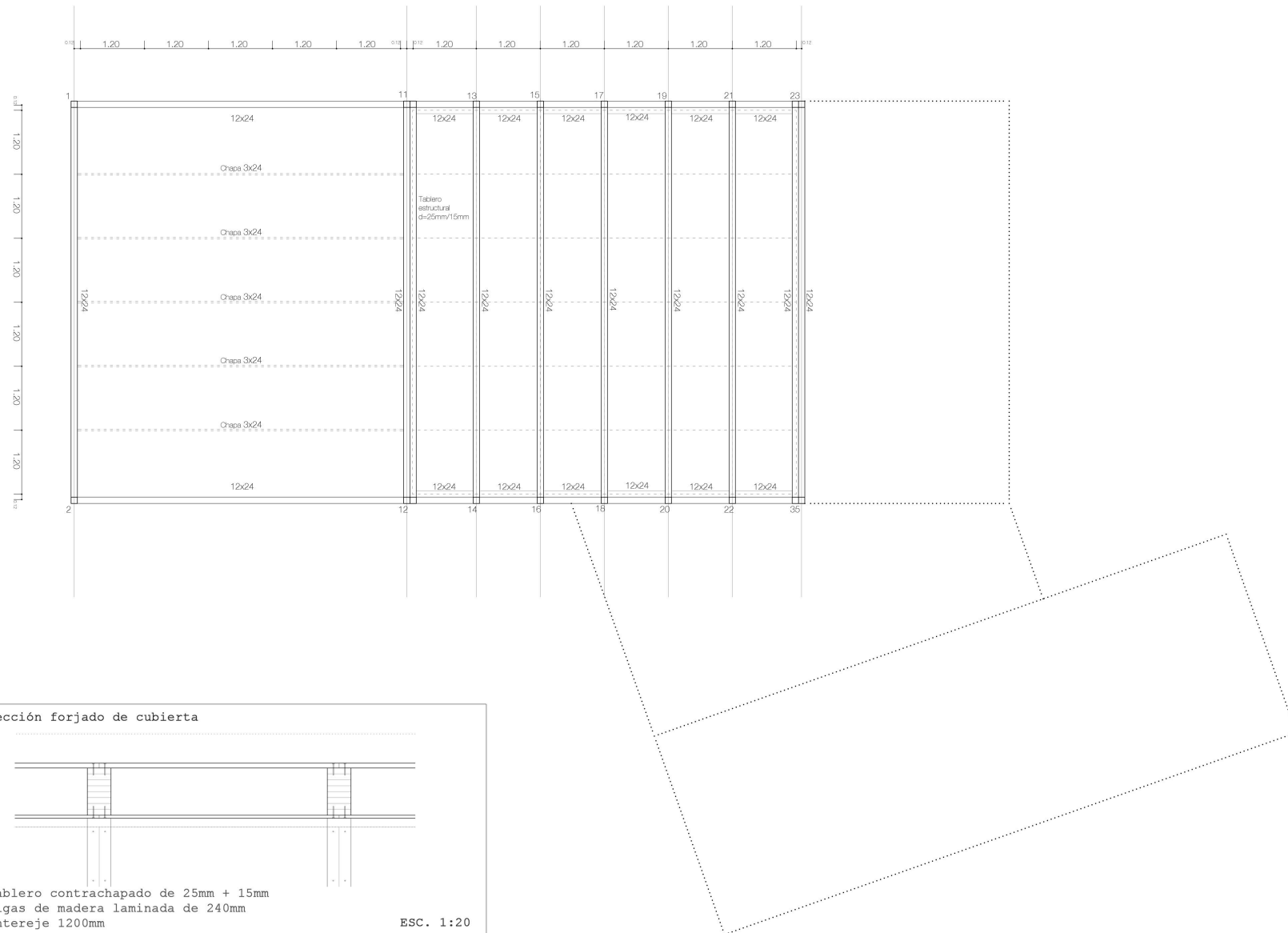
En este caso concreto, se ha observado que, pese a poder reducir las secciones de las dos vigas por el cálculo a resistencia, estabilidad y deformaciones, debido al reparto de solicitaciones (momentos) y la rigidez de la estructura, mantener una sección de vigas igual a la del pórtico anterior (relativamente sobredimensionadas a resistencia para el estado de carga) reduce los momentos en los pilares y por tanto, se consigue que la estructura en global cumpla las exigencias del CTE en situación de incendio. Además, igual que en el anterior, los diseños constructivos del resto del proyecto se simplifican tomando como válido este criterio.

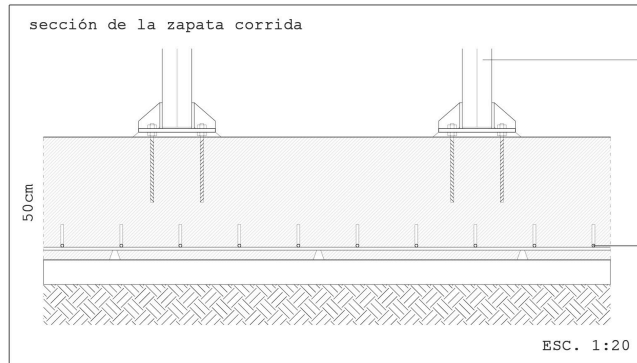






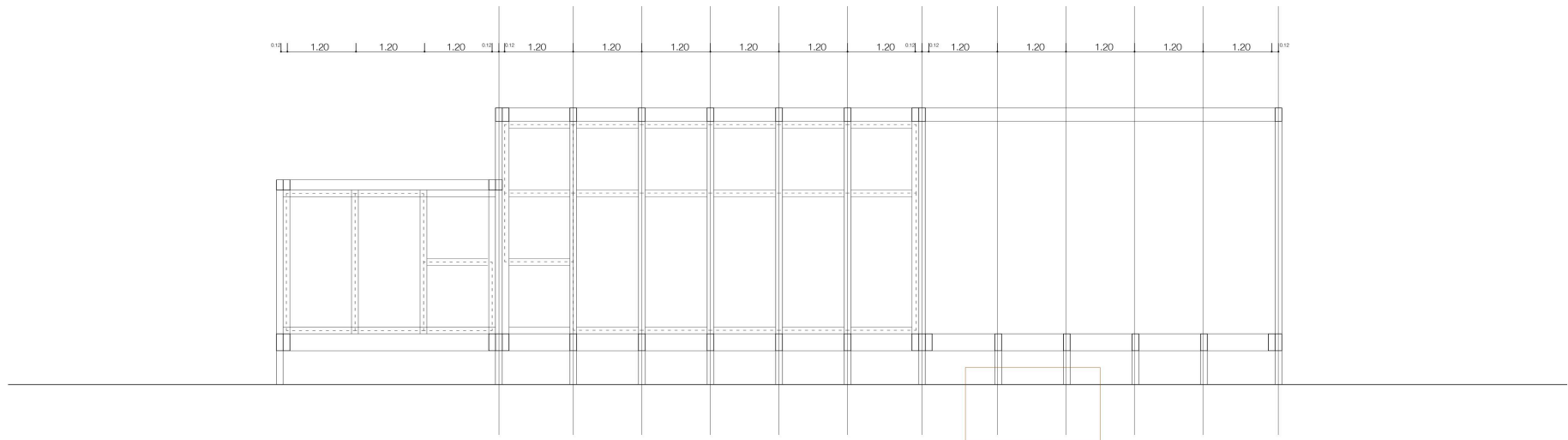
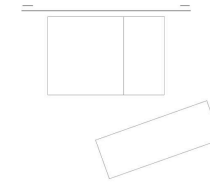


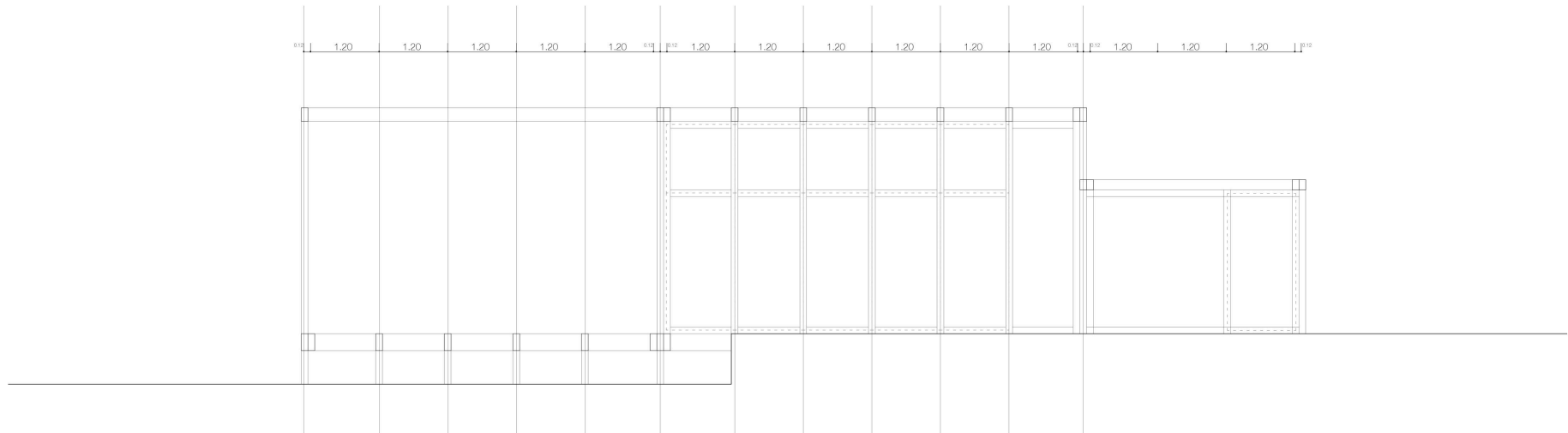
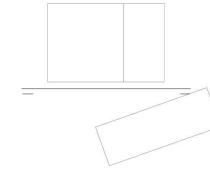


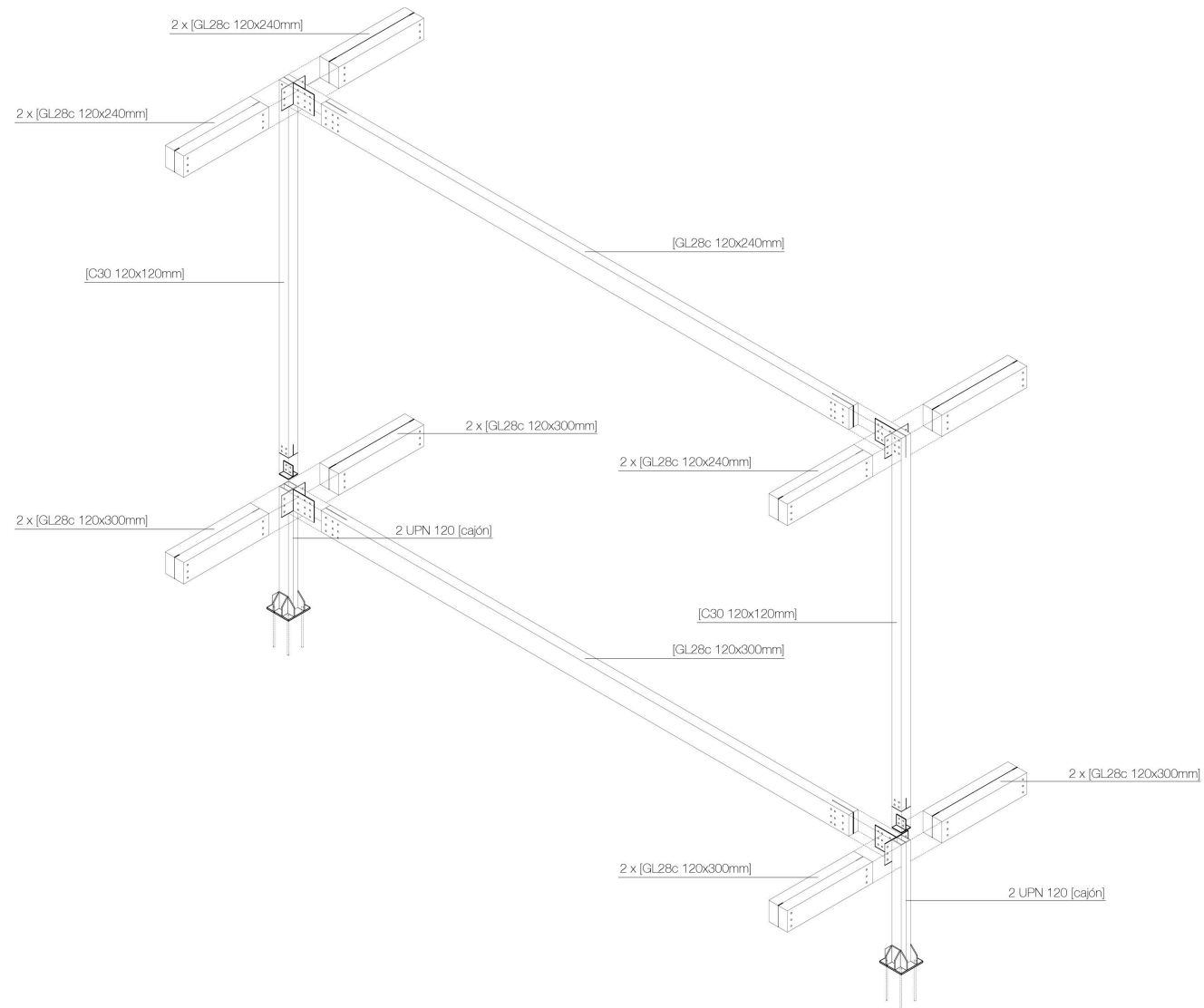


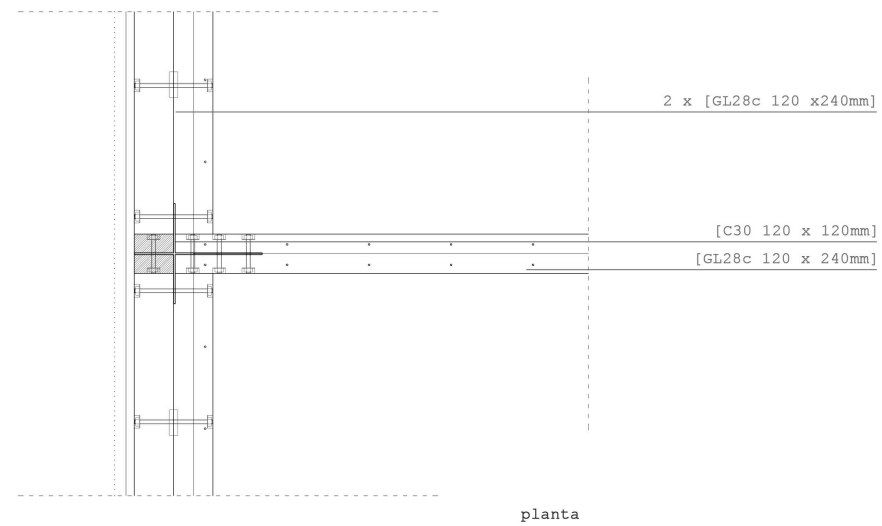
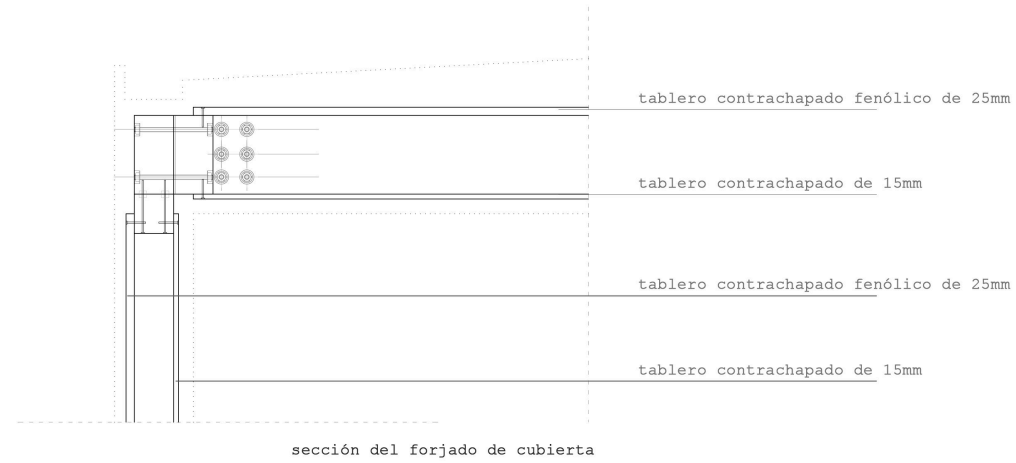
2 UPN 120 (cajón)

cuantía mínima de armado de la zapata corrida según EHE 08  
Arm. transversal  $\varnothing 12/$  a 20 cm  
Arm. longitudinal  $\varnothing 12/$  a 20 cm

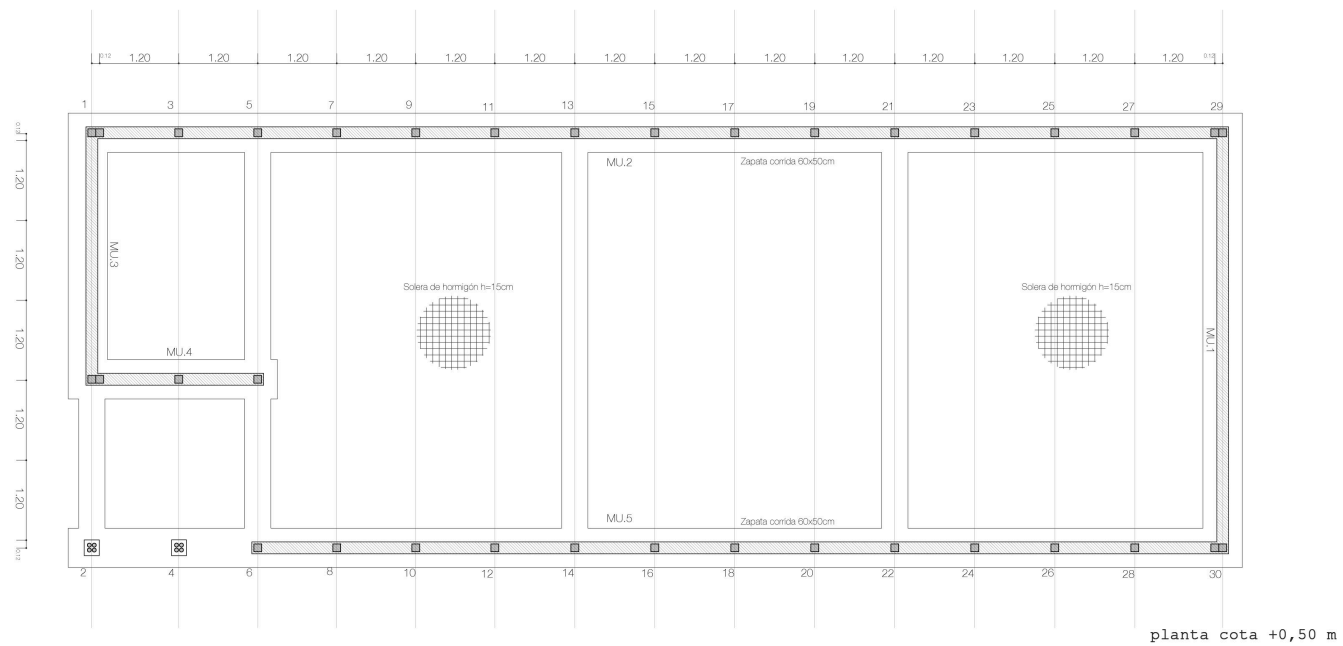
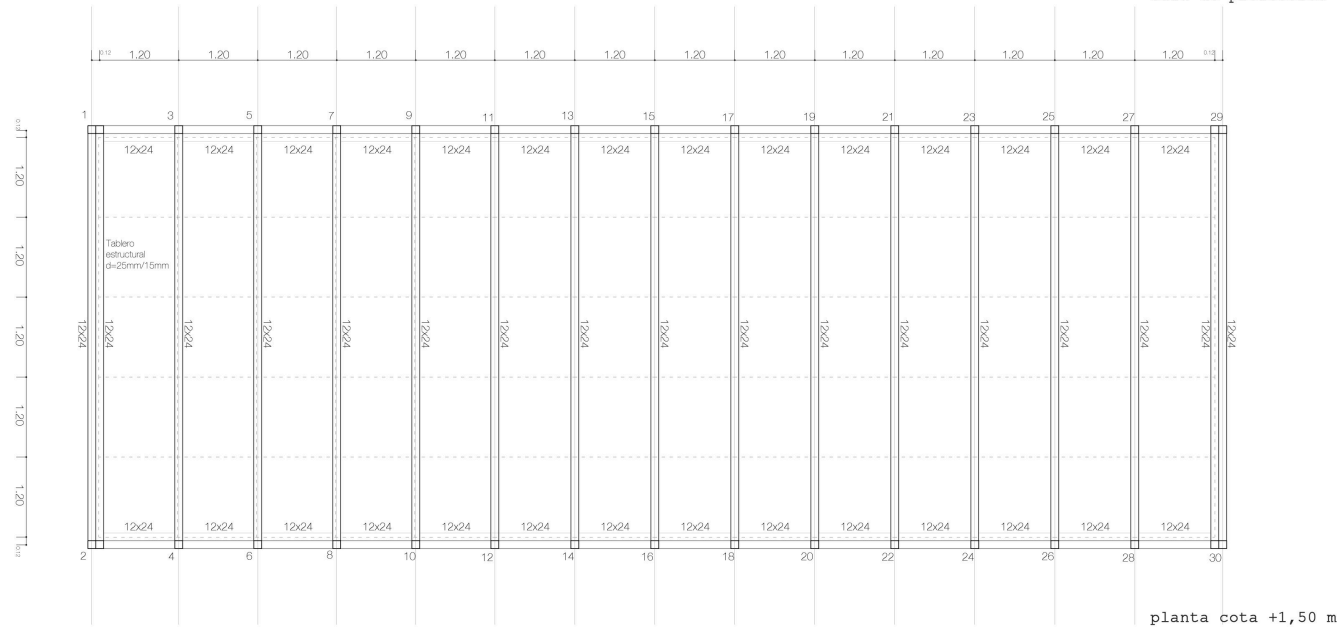


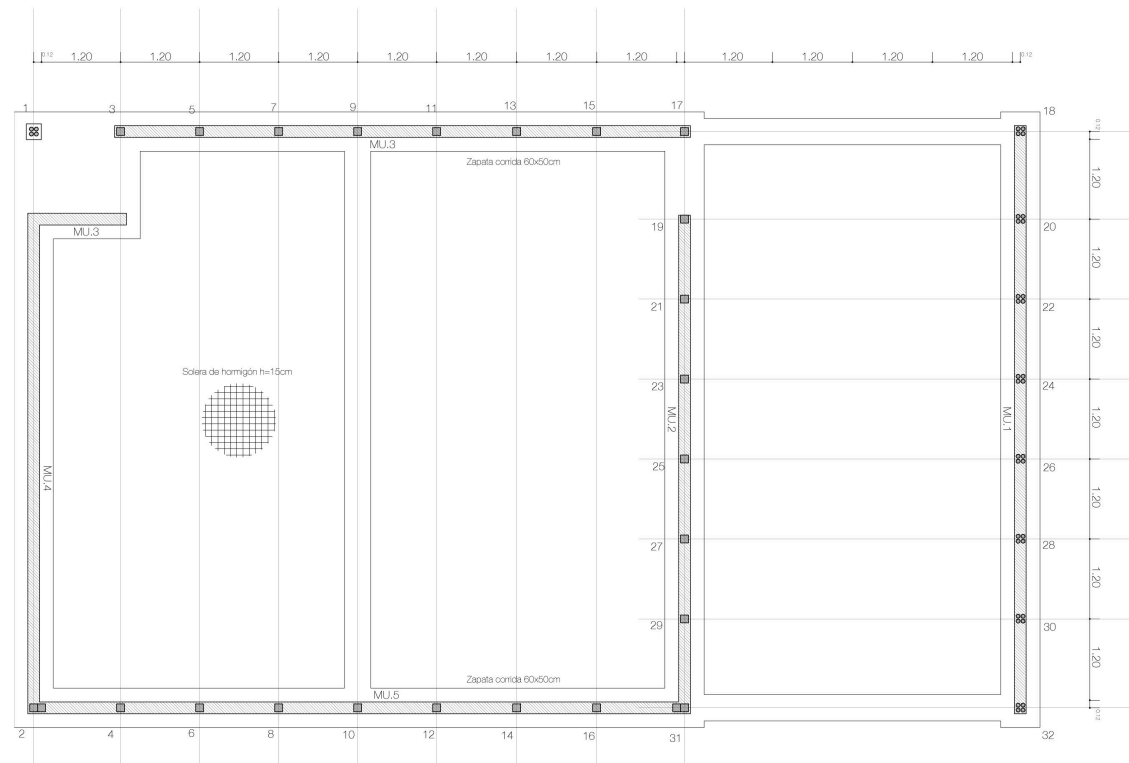


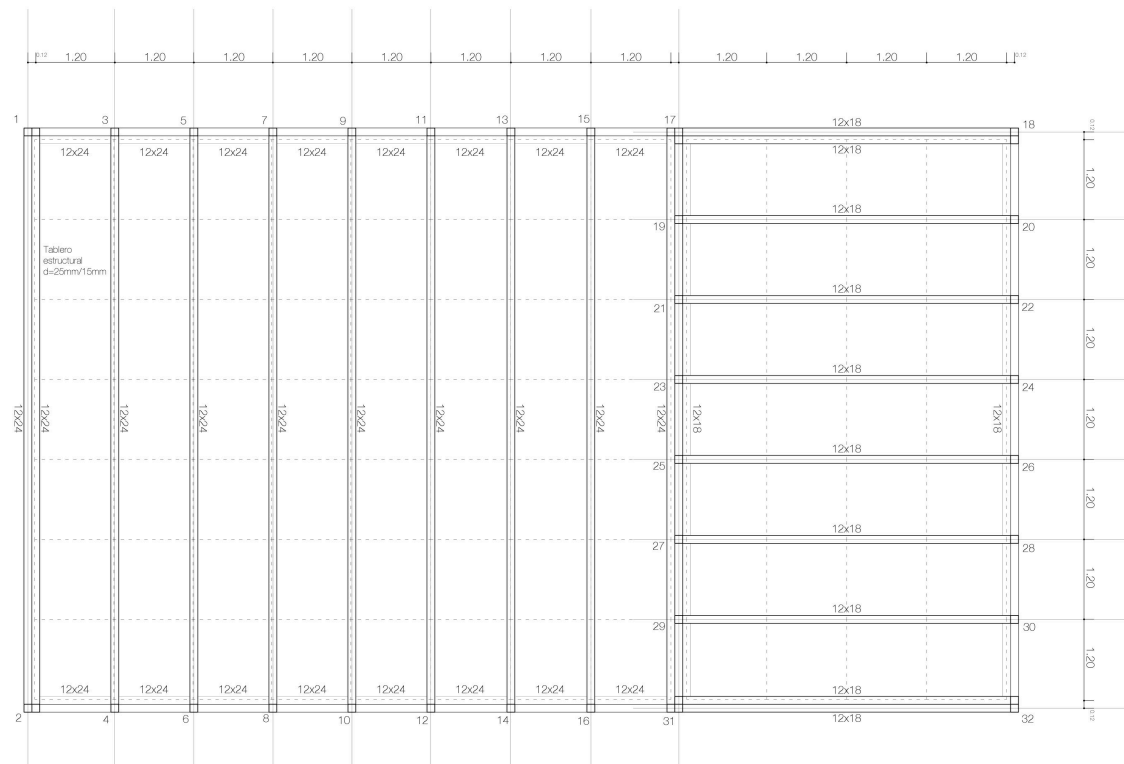


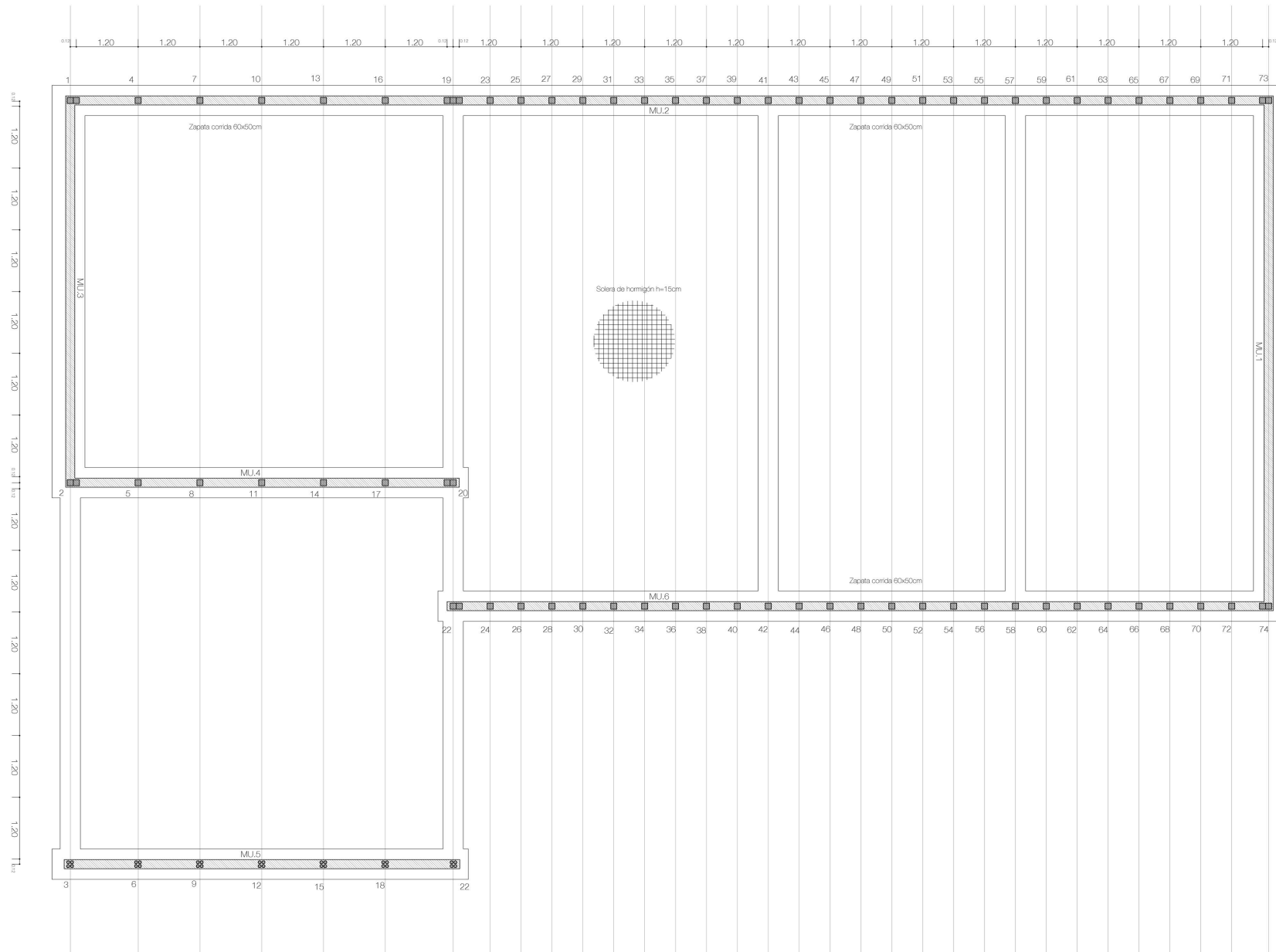


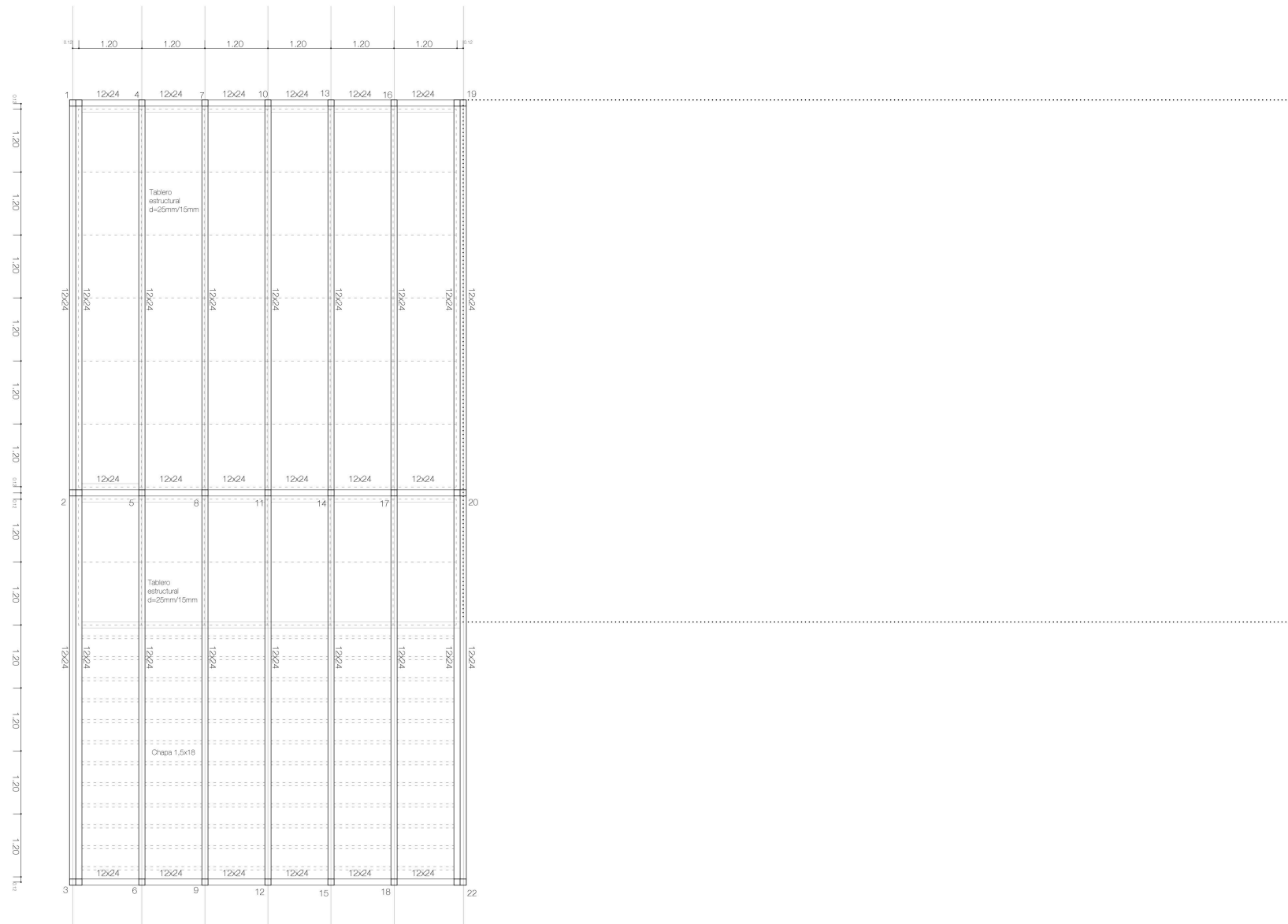


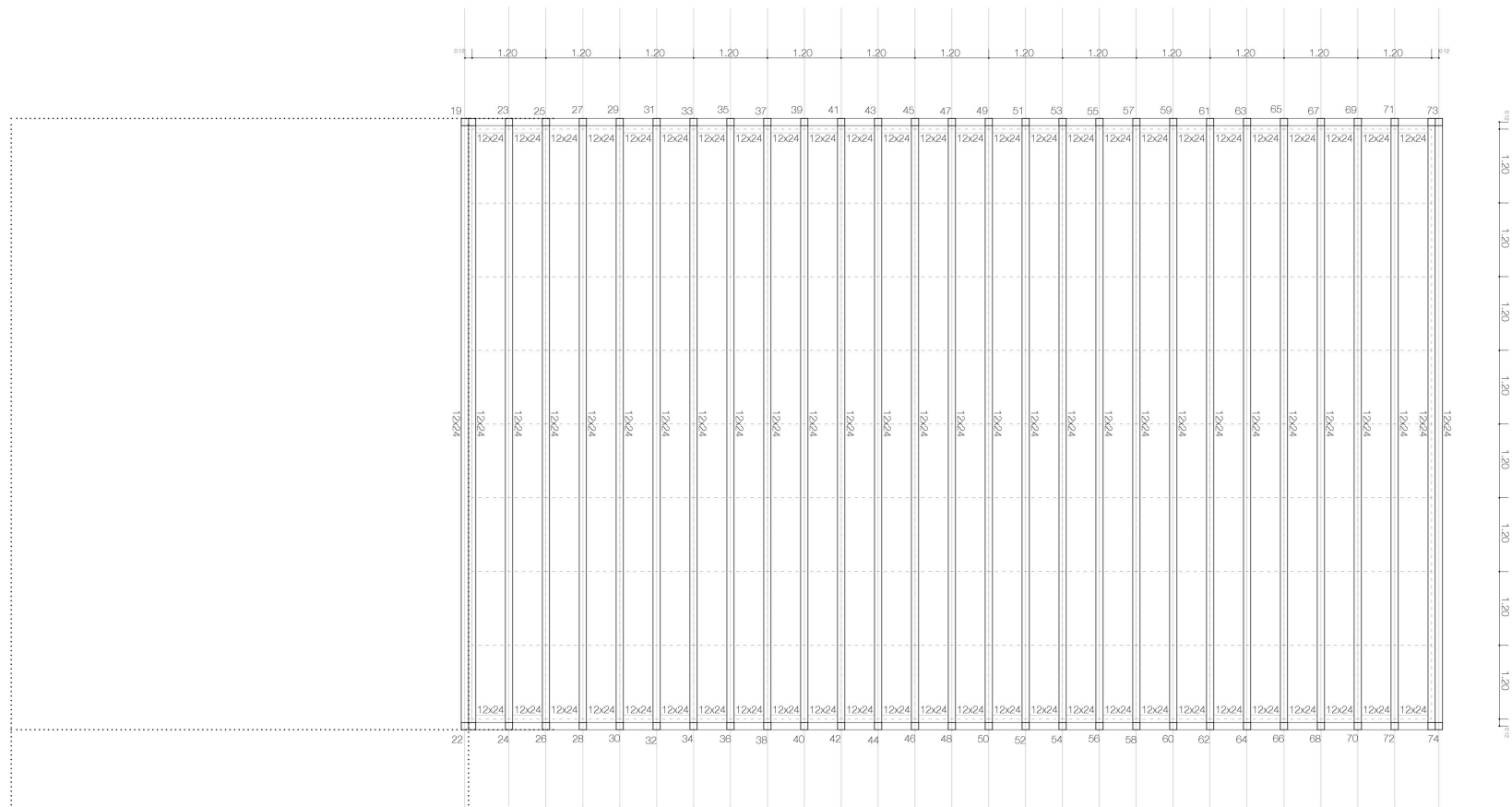






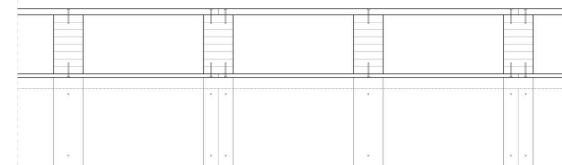






Nota: Con el fin de mantener el mismo criterio constructivo y debido al aumento de los esfuerzos tanto en las vigas como en los pilares, se opta por reducir a la mitad el intereje entre pórticos. De este modo, se rigidiza el conjunto y permite salvar las luces mayores exigidas por proyecto.

sección forjado de cubierta



tablero contrachapado de 25mm + 15mm  
 vigas de madera laminada de 240mm  
 interje 600mm

ESC. 1:20