



ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR
DE INGENIERÍA DE MONTES,
FORESTAL Y DEL MEDIO NATURAL



ALUMNOS: _____

JAIME ANDRÉS SIMÓN
BASSAM AZIZ
ANTONIO MANUEL FRONTADO

TRABAJO FIN DE MÁSTER CONSTRUCCIÓN CON MADERA - CURSO ACADÉMICO
2024-25

REDISEÑO DE EDIFICIO 6X6

1

INDICE

DOCUMENTO 1.- MEMORIA

MEMORIA DESCRIPTIVA.....	3
1. AGENTES.....	3
1.1. Peticionario.....	3
1.2. Alumnos.....	3
2. INFORMACIÓN PREVIA.....	4
2.1. Objeto del TFM	4
2.2. Emplazamiento del edificio.....	5
2.3. Descripción de la solución proyectada.....	6
2.3.1. Estructura principal.....	6
2.3.2. Cerramientos y envolvente.....	7
2.3.3. Distribución funcional	7
2.3.4. Comunicaciones verticales.....	8
2.3.5. Instalaciones.....	8
2.3.6. Criterios de diseño.....	8
2.4. Proyecto original.....	9
3. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO	10
3.1. Programa de necesidades.....	10
3.2. Organización general de la estructura.....	10
3.2.1. Disposición general.....	10
3.3. Sistemas de forjado	11
3.4. Elementos de arriostramiento	11
3.4.1. Componentes estructurales singulares	11
3.5. Criterios de dimensionado estructural	11
3.5.1. Normativa aplicada	12
3.5.2. Material estructural	12
3.5.3. Acciones consideradas	12
3.5.4. Combinaciones de acciones	13
6.1. CUBIERTA:	14
6.2. PESO TOTAL SOPORTADO POR EL FORJADO DE CUBIERTA:.....	14
6.3. FORJADOS INTERMEDIOS:.....	15
6.4. CARGAS DE VIENTO	16
6.5. CARGAS DE USO	18
6.6. OTRAS CARGAS CONSIDERADAS	18
7. Cuadro resumen de dimensionado	19
8. Desplomes verticales.....	19
9. Modelado estructural y análisis mediante RFEM	20



ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR
DE INGENIERÍA DE MONTES,
FORESTAL Y DEL MEDIO NATURAL



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID

ALUMNOS:

JAIME ANDRÉS SIMÓN
BASSAM AZIZ
ANTONIO MANUEL FRONTADO

TRABAJO FIN DE MÁSTER CONSTRUCCIÓN CON MADERA - CURSO ACADÉMICO
2024-25

REDISEÑO DE EDIFICIO 6X6

2

9.1.	Descripción general del modelo de análisis.....	20
9.2.	Condiciones de contorno.	21
9.3.	Tipología de elementos modelados.....	24
9.4.	Consideraciones de análisis.	24
9.5.	Modelo de cálculo.	25
9.6.	Análisis de resultados de cálculo del modelo	25
10.	Resumen de materiales y secciones.....	30
10.1.	Materiales y secciones por grupos de elementos estructurales.	30
10.2.	Paneles de CLT empleados	31
11.	Detalles estructurales: Representación gráfica y explicación técnica de las soluciones adoptadas para los principales tipos de unión estructural.....	31
12.	Detalles constructivos: Encuentros de elementos estructurales con cerramientos.	31
13.	ESTUDIO DE AHORRO ENERGÉTICO Y ACÚSTICO DEL EDIFICIO.....	32
14.	VALORACIÓN ECONÓMICA DEL PROYECTO.....	33
15.	COMPARATIVO VOLUMEN DE MADERA PROYECTO CONSTRUDO VS PROPUESTA LAS TRES ORILLAS	34
16.	Comparativo Construcción del edificio con estructura de Madera vs Estructura de madera.	35
17.	ANÁLISIS CONSTRUCCIÓN CON MADERA VS CONSTRUCCIÓN CON HORMIGÓN.....	36
18.	ANÁLISIS DE LA VIABILIDAD DE CONSTRUIR ESTA PROMOCIÓN CON MADERA.....	37
18.1.	CONDICIONANTES SECTORIALES PARA LA VIABILIDAD DEL PROYECTO.....	37
18.2.	IMPORTE A FINACIAR.....	38
18.3.	Comparativa financiera: construcción en hormigón vs. madera	41
19.	CONCLUSIÓN.....	42
20.	Anexos.....	43



ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR
DE INGENIERÍA DE MONTES,
FORESTAL Y DEL MEDIO NATURAL



ALUMNOS: _____

JAIME ANDRÉS SIMÓN
BASSAM AZIZ
ANTONIO MANUEL FRONTADO

TRABAJO FIN DE MÁSTER CONSTRUCCIÓN CON MADERA - CURSO ACADÉMICO
2024-25

REDISEÑO DE EDIFICIO 6X6

3

MEMORIA TRABAJO FIN DE MÁSTER CONSTRUCCIÓN CON MADERA CURSO ACADÉMICO 2024-25 REDISEÑO DE EDIFICIO 6X6

MEMORIA DESCRIPTIVA

1. AGENTES

1.1. Peticionario.

Se redacta la presente memoria correspondiente al **TFM “Rediseño de Edificio 6x6 de Viviendas en Girona”**, por encargo de la **Universidad Politécnica de Madrid (UPM)**, dentro del marco académico del **Máster Universitario en Construcción con Madera**, curso 2024/2025.

El trabajo se desarrolla en el ámbito del **Trabajo Fin de Máster (TFM)**, bajo la tutela académica de la **Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Montes, Forestal y del Medio Natural**, y tiene como objeto el rediseño de un edificio existente situado en la **Calle Tomás Carreras i Artau, Girona**, con una superficie construida total de **4.375,50 m²**, distribuida en **planta baja y cinco alturas sobre rasante**, destinado a **28 viviendas**.

El promotor académico de la actuación es el **Grupo de Investigación en Construcción con Madera de la Universidad Politécnica de Madrid**, en representación de la citada institución.

1.2. Alumnos.

El presente documento está redactado por el Grupo de trabajo “Tres Orillas Estudio”, está compuesta por los siguientes alumnos:



Jaime Andrés Simón.

Natural de Lima, Perú.

Bassam Aziz.

Natural de El Cairo, Egipto.



Antonio Manuel Frontado Acuaviva.

Natural de Cádiz, España.



ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR
DE INGENIERÍA DE MONTES,
FORESTAL Y DEL MEDIO NATURAL



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID

ALUMNOS: _____

JAIME ANDRÉS SIMÓN
BASSAM AZIZ
ANTONIO MANUEL FRONTADO

TRABAJO FIN DE MÁSTER CONSTRUCCIÓN CON MADERA - CURSO ACADÉMICO
2024-25

REDISEÑO DE EDIFICIO 6X6

4

2. INFORMACIÓN PREVIA

2.1. Objeto del TFM

La presente documentación se redacta como **Memoria Justificativa de la Entrega Final del Trabajo Fin de Máster del Máster en Construcción con Madera** de la Universidad Politécnica de Madrid.

El TFM tiene por objeto el **rediseño de un edificio de viviendas existente**, situado en la **Calle Tomás Carreras i Artau 6, CP.17006 Girona (España)**, con las siguientes características principales:

- **Altura:** Planta baja + 5 plantas sobre rasante
- **Superficie construida:** 4.375,50 m²
- **Número de viviendas:** 28 unidades residenciales
- **Estructura sobre rasante:** Madera (CLT, entramado pesado y entramado ligero)
- **Estructura bajo rasante:** Hormigón armado

El trabajo consiste en el **rediseño integral de la edificación**, aportando un enfoque técnico propio en materia estructural y constructiva, con especial atención a la **aplicación de soluciones en madera** como alternativa a sistemas convencionales.

El presente documento tiene como finalidad **describir y justificar las características generales del edificio**, analizando sus aspectos arquitectónicos, estructurales, construtivos, constructivos y funcionales, así como demostrar la **viabilidad técnica y normativa de las soluciones propuestas** en el marco académico del Máster de Construcción con Madera - Curso Académico 2024-25.

ALUMNOS:

JAIME ANDRÉS SIMÓN
BASSAM AZIZ
ANTONIO MANUEL FRONTADO

TRABAJO FIN DE MÁSTER CONSTRUCCIÓN CON MADERA - CURSO ACADÉMICO
2024-25

REDISEÑO DE EDIFICIO 6X6

2.2. Emplazamiento del edificio

El edificio objeto del presente Trabajo Fin de Máster se localiza en la **Calle Tomás Carreras i Artau, en la ciudad de Girona (Cataluña, España)**.

Se trata de un **entorno urbano consolidado**, con predominio de edificaciones residenciales plurifamiliares, donde conviven construcciones de tipología tradicional en hormigón armado con propuestas más recientes que incorporan criterios de sostenibilidad y eficiencia energética.

El solar se encuentra en una **parcela alineada a vial público**, con acceso directo desde la citada calle y rodeado de edificaciones de similares características en altura y uso. La topografía del terreno es sensiblemente **plana**, lo que facilita tanto la implantación de la edificación como el desarrollo de las soluciones constructivas planteadas.

En cuanto a las **infraestructuras urbanas**, la zona dispone de acometidas de agua potable, alcantarillado, red eléctrica, telecomunicaciones y alumbrado público, lo que garantiza la disponibilidad de los servicios básicos necesarios. Asimismo, el emplazamiento cuenta con **buenas conexiones viarias y de transporte público**, al estar integrado en el tejido urbano de Girona.



PLANO DE EMPLAZAMIENTO DEL INMUEBLE

fuente: Sede Electrónica del Catastro

Desde el punto de vista climático, el emplazamiento se sitúa en una zona de **clima mediterráneo con influencia continental**, caracterizado por inviernos fríos y veranos cálidos, con una oscilación térmica anual significativa y episodios de humedad elevada. Estas condiciones han sido tenidas en cuenta en el planteamiento de las soluciones constructivas y en el diseño de la envolvente, especialmente en lo referente a **aislamiento térmico, control de humedad y durabilidad de la madera empleada**.

ALUMNOS: _____

JAIME ANDRÉS SIMÓN
BASSAM AZIZ
ANTONIO MANUEL FRONTADO

TRABAJO FIN DE MÁSTER CONSTRUCCIÓN CON MADERA - CURSO ACADÉMICO
2024-25

REDISEÑO DE EDIFICIO 6X6

6

2.3. Descripción de la solución proyectada.

La solución proyectada en el presente Trabajo Fin de Máster consiste en el **rediseño de un edificio residencial plurifamiliar**, compuesto por **planta baja y cinco plantas sobre rasante**, con una superficie total construida de **4.375,50 m²**, que alberga un total de **28 viviendas**. Repartidas en tres tipos de viviendas: 4 Duplex, 16 Flat y 4 Mini-flat. Un nivel de Sotano para estacionamientos y depósitos y una planta baja para usos comunitarios.

El edificio se sitúa en la **Calle Tomás Carreras i Artau, 6 C.P. 17006, en la ciudad de Girona, España** y constituye una propuesta académica de sustitución, de una solución de hormigón y CLT por unos sistemas estructurales y constructivos en **madera de CLT, entramado pesado y entramado Ligero**.



2.3.1. Estructura principal

La estructura portante se concibe a partir de una **combinación de sistemas en madera**, buscando un equilibrio entre estabilidad global, eficiencia material y viabilidad constructiva:

- **Núcleo rígido central:** resuelto mediante **paneles de madera contralaminada (CLT)**, que conforman los muros y forjados de caja de escaleras y ascensor, aportando



ESCUOLA TÉCNICA SUPERIOR
DE INGENIERÍA DE MONTES,
FORESTAL Y DEL MEDIO NATURAL



ALUMNOS: _____

JAIME ANDRÉS SIMÓN
BASSAM AZIZ
ANTONIO MANUEL FRONTADO

TRABAJO FIN DE MÁSTER CONSTRUCCIÓN CON MADERA - CURSO ACADÉMICO
2024-25

REDISEÑO DE EDIFICIO 6X6

7

rigidez frente a acciones horizontales (viento y sismo).

• **Forjados:**

- **Forjado tipo 1:** se proyectan mediante paneles macizos de **CLT de 150 mm** en planta baja y cubierta
- **Forjado tipo 2:** En las zonas centrales de vivienda se plantea Forjado **entramado horizontal de vigas y viguetas de madera laminada** sobre el que descansan tableros estructurales de OSB.

- **Pilares y vigas:** configurados mediante **madera laminada encolada (GL24h)**, con secciones adaptadas a las cargas transmitidas.
- **Elementos de arriostramiento:** se emplean en la planta baja pilares diagonales para de arriostramiento y una resistencia añadida contra viento en las 2 direcciones norte/sur y este/oeste.
- **Vigas traccionadas:** en el forjado del vano intermedio de la planta baja, se han empleado una cercha de vigas como un apoyo en lugar de un pilar vertical con el objetivo de crear un espacio diáfano en la planta baja.
- **Estructura bajo rasante:** cimentaciones y elementos de contención ejecutados en **hormigón armado**, garantizando estabilidad y durabilidad frente a empujes del terreno y solicitudes diferenciales.

2.3.2. Cerramientos y envolvente.

Los **cerramientos exteriores** se resuelven a partir de sistemas de **fachada ligera y CLT**, combinando distintas tipologías en función de la orientación y las prestaciones requeridas:

- Fachadas de **CLT** con acabado en **SATE** para maximizar el aislamiento térmico, que aportan singularidad arquitectónica y contribuyen a la imagen sostenible del edificio.
- Cubierta ligera de madera con formación de pendiente, impermeabilización y aislamiento, diseñada para mejorar el comportamiento higrotérmico y facilitar la integración de **paneles solares fotovoltaicos (35 kWp)**.

2.3.3. Distribución funcional

La planta baja se destina a **accesos, zonas comunes y servicios**, mientras que las cinco plantas tipo albergan las **28 viviendas**, distribuidas en tipologías variables según orientación y crujía estructural. La disposición de núcleos verticales centralizados



ESCUOLA TÉCNICA SUPERIOR
DE INGENIERÍA DE MONTES,
FORESTAL Y DEL MEDIO NATURAL



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID

ALUMNOS: _____

JAIME ANDRÉS SIMÓN
BASSAM AZIZ
ANTONIO MANUEL FRONTADO

TRABAJO FIN DE MÁSTER CONSTRUCCIÓN CON MADERA - CURSO ACADÉMICO
2024-25

REDISEÑO DE EDIFICIO 6X6

8

optimiza la accesibilidad y la evacuación.

2.3.4. Comunicaciones verticales.

El edificio cuenta con un **núcleo central de escaleras** y un **ascensor accesible**, ambos integrados en la envolvente de CLT. Las escaleras se han dimensionado conforme a las prescripciones del **DB SUA** en materia de seguridad de utilización y accesibilidad.

2.3.5. Instalaciones

Se proyecta la incorporación de **estrategias activas y pasivas de eficiencia energética**, entre las que destacan:

- Sistema de **ventilación tipo pozo canadiense** para mejorar el acondicionamiento térmico con bajo consumo energético.
- **Recuperación de aguas grises y pluviales** destinadas a la alimentación de inodoros y limpieza de zonas comunes.
- Integración de **instalación fotovoltaica** para autoconsumo parcial de las zonas comunes y viviendas.

2.3.6. Criterios de diseño.

Los criterios de diseño para la propuesta están marcados por la exploración académica, manteniendo la composición especular del diseño inicial, también se dio respuesta al entorno tanto climático como urbanístico, se agregó espacios comunitarios, marcando los usos y accesos de manera diferenciada.

Todo esto enmarcado y fundamento en tres principios:

1. **Sostenibilidad**: El uso de madera como material renovable, reducción de la huella de carbono y estrategias pasivas de ahorro energético.
2. **Industrialización**: La búsqueda de la eficiencia y la rentabilidad a través de sistemas prefabricados en CLT y entramado que permiten reducir plazos de ejecución y mejorar la calidad de montaje.
3. **Viabilidad normativa**: Cumplimiento de los requisitos del **Código Técnico de la Edificación (CTE)** y del **Eurocódigo 5**, asegurando seguridad estructural, eficiencia energética, protección contra incendios y confort acústico.



ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR
DE INGENIERÍA DE MONTES,
FORESTAL Y DEL MEDIO NATURAL



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID

ALUMNOS: _____

JAIME ANDRÉS SIMÓN
BASSAM AZIZ
ANTONIO MANUEL FRONTADO

TRABAJO FIN DE MÁSTER CONSTRUCCIÓN CON MADERA - CURSO ACADÉMICO
2024-25

REDISEÑO DE EDIFICIO 6X6

9

2.4. Proyecto original.

El **Bloque 6x6**, ubicado en Girona, es un edificio plurifamiliar de **35 viviendas** construido entre 2017 y 2020 por el estudio Bosch.capdeferro arquitectura, con Elisabet Capdeferro i Pla y Ramon Bosch i Pagès como arquitectos principales.

El diseño apuesta por una tipología estructural sostenible basada en **paneles de madera contralaminada (CLT)**, que evoca la construcción muraria tradicional y define espacios habitables con dimensiones homogéneas entre los elementos portantes. Cada vivienda se compone de **seis estancias de aproximadamente 12 m²**, configurables mediante paneles deslizables para adaptarse libremente a las necesidades cambiantes de los habitantes.

El edificio se concibe con un enfoque energético pasivo: cuenta con un único **núcleo de comunicaciones verticales situado en posición central**, desde el cual las viviendas, de tipo "pasantes", se comunican a través de una pasarela que se abre hacia el exterior y conecta con una zona verde de la calle Tomàs Carreras i Artau.

La fachada sur incorpora una **galería que actúa como invernadero en invierno**, precalentando el aire del sistema de ventilación de doble flujo, y se transforma en **umbráculo en verano**, permitiendo ventilación cruzada desde la fachada norte y reduciendo notablemente la necesidad de climatización activa.

Además de contemplar la flexibilidad espacial y estrategias pasivas de confort, el proyecto se erige como un referente en materiales sostenibles: minimiza tanto la huella de carbono en todo su ciclo de vida —gracias al uso de madera CLT— como la demanda energética.

La configuración de las viviendas, con una percepción profunda de la luz y la conexión simultánea sur-norte, junto con la variabilidad del espacio y los filtros climáticos, generan **atmósferas domésticas adaptables**, íntimas y eficientes desde el punto de vista energético y ambiental.



ESCUOLA TÉCNICA SUPERIOR
DE INGENIERÍA DE MONTES,
FORESTAL Y DEL MEDIO NATURAL



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID

ALUMNOS: _____

JAIME ANDRÉS SIMÓN
BASSAM AZIZ
ANTONIO MANUEL FRONTADO

TRABAJO FIN DE MÁSTER CONSTRUCCIÓN CON MADERA - CURSO ACADÉMICO
2024-25

REDISEÑO DE EDIFICIO 6X6

10

3. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

3.1. Programa de necesidades

El proyecto de rediseño del edificio tiene como objetivo dar respuesta a un **programa funcional residencial**, atendiendo a criterios de **optimización de superficies útiles, eficiencia energética, flexibilidad de uso y reducción de la masividad de madera estructural** mediante un diseño que combine sistemas ligeros y modulares.

El programa de necesidades persigue:

1. **Flexibilidad espacial**, gracias a la modulación homogénea de estancias.
2. **Confort ambiental**, mediante estrategias pasivas (orientación, ventilación cruzada, galerías climáticas) y activas (instalaciones eficientes).
3. **Sostenibilidad**, con integración de ahorro de agua, ventilación geotérmica y energía fotovoltaica.
4. **Accesibilidad universal**, asegurando la circulación en condiciones seguras y cómodas.
5. **Reducción de la masividad estructural en madera**, incorporando soluciones de entramado y elementos laminados ligeros que disminuyen el volumen total de material empleado, optimizan recursos y facilitan la viabilidad económica y constructiva del proyecto.

3.2. Organización general de la estructura.

La organización estructural del edificio proyectado responde al objetivo de garantizar la **estabilidad global**, la **eficiencia material** y la **viabilidad constructiva** mediante el uso predominante de sistemas en madera, complementados con hormigón en los elementos bajo rasante.

3.2.1. Disposición general

El esquema estructural se configura a partir de una **envolvente resistente en paneles de CLT**, que comprende las **fachadas laterales, el forjado de cubierta, el forjado de planta baja y el núcleo de escaleras y ascensor**. Estos elementos conforman un "cajón estructural" de gran rigidez, capaz de absorber esfuerzos verticales y horizontales.

En el **interior de la planta tipo de viviendas** se dispone una **retícula de pórticos de madera laminada encolada**, compuesta por pilares y vigas que definen los espacios habitables y transmiten las cargas a los muros portantes. Los pórticos se distribuyen de manera regular para optimizar la modulación de los forjados y mejorar la repetitividad constructiva.



ESCUOLA TÉCNICA SUPERIOR
DE INGENIERÍA DE MONTES,
FORESTAL Y DEL MEDIO NATURAL



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID

ALUMNOS: _____

JAIME ANDRÉS SIMÓN
BASSAM AZIZ
ANTONIO MANUEL FRONTADO

TRABAJO FIN DE MÁSTER CONSTRUCCIÓN CON MADERA - CURSO ACADÉMICO
2024-25

REDISEÑO DE EDIFICIO 6X6

11

3.3. Sistemas de forjado

Se emplean dos tipologías principales de forjado:

- **Forjados de CLT de 150 mm** en planta baja y cubierta, que proporcionan rigidez diafragmática y contribuyen al arriostramiento general.
- **Forjados intermedios mixtos**, resueltos mediante entramado de vigas y viguetas de madera laminada, sobre las que descansan tableros estructurales de OSB. Esta solución reduce el peso propio de la estructura y mejora las condiciones acústicas y térmicas entre viviendas.

3.4. Elementos de arriostramiento

El arriostramiento frente a las **acciones horizontales de viento y sismo** se asegura mediante:

- Los **muros de CLT** del núcleo central de comunicaciones, que actúan como estabilizadores globales.
- La función diafragmática de los forjados, que transmiten las cargas horizontales hacia los núcleos rígidos.
- La disposición de **diagonales de madera laminada** en zonas específicas, reforzando la resistencia al pandeo y a la torsión del conjunto.

3.4.1. Componentes estructurales singulares

Entre los elementos singulares destacan:

- El **núcleo de escaleras y ascensor en CLT**, que constituye el principal elemento de arriostramiento vertical.
- Las **uniones madera-madera y madera-CLT**, resueltas mediante herrajes metálicos específicos (hold-downs, escuadras y conectores Rothoblaas), dimensionados según los esfuerzos de tracción, compresión y cortante identificados en el cálculo estructural.
- La **cubierta ligera en CLT y entramado**, diseñada para soportar cargas de nieve, viento e instalaciones, actuando además como diafragma de rigidización superior.

En conjunto, la estructura propuesta combina **rigidez, ligereza y eficiencia**, poniendo en valor las posibilidades constructivas de la madera en altura y garantizando el cumplimiento de las exigencias establecidas en el **CTE**, el **Código Estructural** y el **Eurocódigo 5**.

3.5. Criterios de dimensionado estructural



ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR
DE INGENIERÍA DE MONTES,
FORESTAL Y DEL MEDIO NATURAL



ALUMNOS: _____

JAIME ANDRÉS SIMÓN
BASSAM AZIZ
ANTONIO MANUEL FRONTADO

TRABAJO FIN DE MÁSTER CONSTRUCCIÓN CON MADERA - CURSO ACADÉMICO
2024-25

REDISEÑO DE EDIFICIO 6X6

12

El dimensionado de los elementos estructurales del edificio se ha realizado conforme a la normativa vigente, aplicando criterios de seguridad, durabilidad y servicio, de acuerdo con los requisitos del Código Técnico de la Edificación y de los Eurocódigos.

3.5.1. Normativa aplicada

Para el cálculo y verificación de los elementos estructurales se han empleado las siguientes referencias:

- **CTE DB-SE** – Seguridad estructural.
- **CTE DB-SE-AE** – Acciones en la edificación.
- **Código Estructural (RD 470/2021)** – Criterios generales de diseño estructural en España.
- **Eurocódigo 0 (UNE-EN 1990)** – Bases de proyecto estructural.
- **Eurocódigo 1 (UNE-EN 1991)** – Acciones en estructuras (cargas permanentes, sobrecargas de uso, nieve, viento, sismo).
- **Eurocódigo 5 (UNE-EN 1995-1-1 y 1995-1-2)** – Proyecto de estructuras de madera y verificación frente al fuego.

3.5.2. Material estructural.

El sistema portante del edificio se resuelve con productos estructurales de madera industrializada:

- **CLT (Cross Laminated Timber):**

- Forjados principales: CLT 150 mm (5 láminas: 30+30+30+30+30 mm).
- Muros de arriostramiento y núcleo: CLT 100 mm (3 láminas: 30+40+30 mm).
- Densidad característica: $\rho_k = 470 \text{ kg/m}^3$.
- Módulo de elasticidad paralelo a la fibra: $E_{0,mean} \approx 11.000 \text{ N/mm}^2$.

- **Madera laminada encolada GL24h:**

- Pilares: $320 \times 320 \text{ mm}$.
- Vigas principales: $260 \times 320 \text{ mm}$.
- Viguetas: $200 \times 220 \text{ mm}$.
- Resistencia característica: $f_{k,0,d} = 24 \text{ N/mm}^2$.

3.5.3. Acciones consideradas.

En el cálculo se han contemplado las siguientes hipótesis de carga, de acuerdo con CTE



ESCUOLA TÉCNICA SUPERIOR
DE INGENIERÍA DE MONTES,
FORESTAL Y DEL MEDIO NATURAL



ALUMNOS: _____

JAIME ANDRÉS SIMÓN
BASSAM AZIZ
ANTONIO MANUEL FRONTADO

TRABAJO FIN DE MÁSTER CONSTRUCCIÓN CON MADERA - CURSO ACADÉMICO
2024-25

REDISEÑO DE EDIFICIO 6X6

13

DB-SE-AE y Eurocódigo 1:

- **Acciones permanentes:** peso propio de estructura, cerramientos, particiones, solados y revestimientos.
- **Sobrecargas de uso:**
 - Viviendas: 2,0 kN/m².
 - Zonas comunes y escaleras: 3,0 kN/m².
 - Cubierta transitable privativa: 1,0 kN/m².
- **Cargas de viento:** zona C, entorno urbano, presión dinámica $q_b = 0,526 \text{ kN/m}^2$; coeficiente de exposición $c_e = 2,2$.
- **Acciones sísmicas:** conforme a NCSE-02, categoría de importancia II, terreno tipo C.
- **Cargas de nieve:** no significativas en Girona (zona baja), pero se consideran valores mínimos de normativa.

3.5.4. Combinaciones de acciones

Las combinaciones de acciones se han establecido según **Eurocódigo 0** y **CTE DB-SE**, aplicando los coeficientes de mayoración e hipótesis de servicio:

- **Estado límite último (ELU):** $1,35 \cdot G + 1,5 \cdot Q + 1,5 \cdot \text{Viento/Sismo}$.
- **Estado límite de servicio (ELS):** $G + \psi \cdot Q + \text{Viento}$.

4. Longitudes eficaces

Se han definido según tipología de elementos:

- Pilares: longitud eficaz en función de la altura libre de planta y coeficientes de pandeo en dos direcciones.
- Vigas y viguetas: longitud libre entre apoyos, considerando continuidad en elementos secundarios.
- Muros de CLT: longitud eficaz definida por la altura de planta y arriostramiento transversal de forjados.

5. Resistencia al fuego

Se han adoptado las siguientes exigencias:

- Forjados y muros de CLT: **R-90**.
- Pilares y vigas de madera laminada: **R-60**.
- Núcleo de escaleras y ascensor: **R-120**, como elemento de evacuación.

6. Estudio de cargas.



ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR
DE INGENIERÍA DE MONTES,
FORESTAL Y DEL MEDIO NATURAL



ALUMNOS: _____

JAIME ANDRÉS SIMÓN
BASSAM AZIZ
ANTONIO MANUEL FRONTADO

TRABAJO FIN DE MÁSTER CONSTRUCCIÓN CON MADERA - CURSO ACADÉMICO
2024-25

REDISEÑO DE EDIFICIO 6X6

14

6.1. CUBIERTA:

Peso formación de cubierta.

Elemento	Peso	
	Kg/m ²	KN/m ²
Capa de solería	60	0,60
Capa de mortero	10	0,10
Lámina geotextil	0,10	0,01
Polietileno extrusionado	3,00	0,03
Capa de mortero de protección	30,00	0,30
Lámina impermeabilizante de PVC	8,9	0,09
Capa de mortero de 2 cm	30	0,30
Formación de pendiente, espesor medio 20cm, (Hormigón celular (500Kg/m ³)	100	1,00
Peso total de la formación de cubierta	250,00	2,50

Cargas suspendidas del forjado

- Falso techo formado por estructura metálica de acero galvanizado y placas de cartón yeso de 15 mm de espesor 10 Kg/ m² = 0,15 KN/m²
- Instalaciones 15 Kg/ m² = 0,10 KN/ m²

$$\text{Total cargas suspendidas} = 20 \text{ Kg/ m}^2 = 0,20 \text{ KN/ m}^2$$

6.2. PESO TOTAL SOPORTADO POR EL FORJADO DE CUBIERTA:

Carga	Peso	
	Kg/m ²	KN/m ²
Formación de cubierta	250,00	2,50
Cargas suspendidas	20,00	0,30
TOTAL CARGAS MUERTAS	270,00	2,70

CONSIDERAMOS UN PESO DE CUBIERTA DE 3 KN/m²



ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR
DE INGENIERÍA DE MONTES,
FORESTAL Y DEL MEDIO NATURAL



ALUMNOS: _____

JAIME ANDRÉS SIMÓN
BASSAM AZIZ
ANTONIO MANUEL FRONTADO

TRABAJO FIN DE MÁSTER CONSTRUCCIÓN CON MADERA - CURSO ACADÉMICO
2024-25

REDISEÑO DE EDIFICIO 6X6

15

6.3. FORJADOS INTERMEDIOS:

Elemento	Peso	
	Kg/m ²	KN/m ²
Pavimento de madera, cerámico o hidráulico.	47,00	0,470
Capa de mortero de 5 cm, armado con malla de fibra de vidrio (2.000 x5/100)	50,00	1,000
Capa de aislamiento PE (8 cm)	3,00	0,030
Lámina anti-impacto de 10 mm	0,25	0,003
Tabiquería	80,00	1,000
Instalaciones	10,00	0,100
Falsos techos	10,00	0,100
FORJADO INTERMEDIOS C.M.	200,25	2,000

ALUMNOS: _____

JAIME ANDRÉS SIMÓN
BASSAM AZIZ
ANTONIO MANUEL FRONTADO

TRABAJO FIN DE MÁSTER CONSTRUCCIÓN CON MADERA - CURSO ACADÉMICO

2024-25

REDISEÑO DE EDIFICIO 6X6

16

6.4. CARGAS DE VIENTO

El cálculo de las acciones del viento la hacemos aplicando CTE DB SE-AE, la edificación está ubicada en la zona C siendo su situación zona urbana en general.

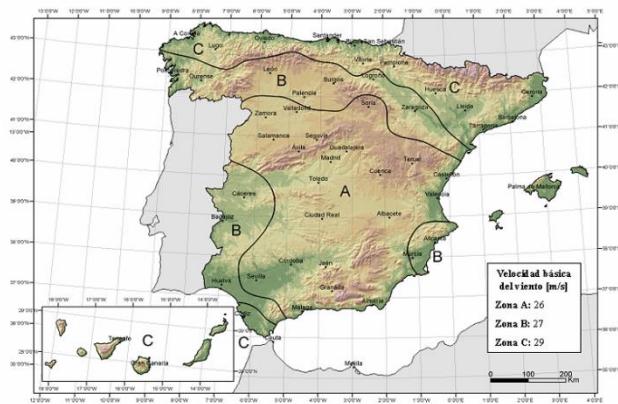


Figura D.1 Valor básico de la velocidad del viento, v_b

La acción de viento, en general una fuerza perpendicular a la superficie de cada punto expuesto, o presión estática, que puede expresarse como:

$$q_e = q_b \cdot c_e \cdot c_p$$

Siendo:

1. **q_b** : Presión dinámica del viento ($0,5\text{KN/m}^2$)
2. **c_e** : Coeficiente de exposición, variable con la altura del punto considerado, en función del grado de aspereza del entorno donde se encuentra ubicada la construcción.
3. **c_p** : Coeficiente eólico o de presión, dependiente de la forma y orientación de la superficie respecto al viento, y en su caso, de la situación del punto respecto a los bordes de esa superficie; un valor negativo indica succión.
- 4.

El valor básico de la presión dinámica del viento puede obtenerse con la expresión:

$$q_b = 0,5 \cdot \delta \cdot v_b^2, \text{ en nuestro caso } q_b = 0,50 \times 1,25 \text{ Kg/m}^3 \times (0,29 \text{ m/s})^2 = 0,526 \text{ KN/m}^2$$

$$q_b = 0,526 \text{ KN/m}^2$$



ESCUOLA TÉCNICA SUPERIOR
DE INGENIERÍA DE MONTES,
FORESTAL Y DEL MEDIO NATURAL



ALUMNOS: _____

JAIME ANDRÉS SIMÓN
BASSAM AZIZ
ANTONIO MANUEL FRONTADO

TRABAJO FIN DE MÁSTER CONSTRUCCIÓN CON MADERA - CURSO ACADÉMICO
2024-25

REDISEÑO DE EDIFICIO 6X6

17

El valor c_e : Coeficiente de exposición, según tabla 3.4 del CTE DB AE, obtenemos que en nuestro caso:

Tabla 3.4. Valores del coeficiente de exposición c_e

Grado de aspereza del entorno	Altura del punto considerado (m)							
	3	6	9	12	15	18	24	30
I	2,4	2,7	3,0	3,1	3,3	3,4	3,5	3,7
II	2,1	2,5	2,7	2,9	3,0	3,1	3,3	3,5
III	1,6	2,0	2,3	2,5	2,6	2,7	2,9	3,1
IV	1,3	1,4	1,7	1,9	2,1	2,2	2,4	2,6
V	1,2	1,2	1,2	1,4	1,5	1,6	1,9	2,0

$$C_e = 2,2 \text{ KN/m}^2$$

Para conocer el Coeficiente eólico o de presión, c_p , necesitamos saber cuál es la esbeltez del edificio.

Esbeltz del edificio = alto / ancho.

En nuestro caso el edificio tiene una altura de 21,20 metros y una anchura de 39,42 metros de ancho, por lo tanto, la esbeltez del edificio es de:

$$\text{Esbeltz} = 21,20 / 39,42 = 0.54$$

En edificios de pisos, con forjados que conectan todas las fachadas a intervalos regulares, con huecos o ventanas pequeños practicables o herméticos, y compartimentados interiormente, para el análisis global de la estructura, bastará considerar coeficientes eólicos globales a barlovento y sota viento, aplicando la acción de viento a la superficie proyección del volumen edificado en un plano perpendicular a la acción de viento. Como coeficientes eólicos globales, podrán adoptarse los de la tabla 3.5.



ESCUOLA TÉCNICA SUPERIOR
DE INGENIERÍA DE MONTES,
FORESTAL Y DEL MEDIO NATURAL



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID

ALUMNOS: _____

JAIME ANDRÉS SIMÓN
BASSAM AZIZ
ANTONIO MANUEL FRONTADO

TRABAJO FIN DE MÁSTER CONSTRUCCIÓN CON MADERA - CURSO ACADÉMICO
2024-25

REDISEÑO DE EDIFICIO 6X6

18

Tabla 3.5. Coeficiente eólico en edificios de pisos

	Esbeltez en el plano paralelo al viento					
	< 0,25	0,50	0,75	1,00	1,25	≥ 5,00
Coeficiente eólico de presión, c_p	0,7	0,7	0,8	0,8	0,8	0,8
Coeficiente eólico de succión, c_s	-0,3	-0,4	-0,4	-0,5	-0,6	-0,7

Con los datos obtenidos y el en caso concreto del edificio la acción del viento es de:

$$q_e = q_b \cdot c_e \cdot c_p$$

- Fachada a barlovento: Viento presión $q_e = 0,526 \times 2,20 \times 0,70 = 0,81 \text{ KN/m}^2$
- Fachada a sotavento: Viento Succión $q_e = 0,526 \times 2,20 \times 0,40 = 0,463 \text{ Kn/m}^2$

6.5. CARGAS DE USO

Según CTE DB AE las cargas de uso consideradas en nuestro proyecto son:

	Carga uniforme	Carga Concentrada
USO	(KN/m ²)	(kN)
Viviendas	2	2
Zonas comunes del edificio, escaleras, mesetas, pasillos	3	3
Cubiertas transitables accesible solo privadamente	1	1
Zonas de pública concurrencia o reunión	5	4

6.6. OTRAS CARGAS CONSIDERADAS.

Según CTE DB AE debemos de tener en cuenta

	Carga
USO	
Balcones se calcula una sobrecarga vertical	2,00 KN/m
Barandilla, de uso residencial deben soportar una carga horizontal	1,60 KN/m



ESCUOLA TÉCNICA SUPERIOR
DE INGENIERÍA DE MONTES,
FORESTAL Y DEL MEDIO NATURAL



ALUMNOS: _____

JAIME ANDRÉS SIMÓN
BASSAM AZIZ
ANTONIO MANUEL FRONTADO

TRABAJO FIN DE MÁSTER CONSTRUCCIÓN CON MADERA - CURSO ACADÉMICO
2024-25

REDISEÑO DE EDIFICIO 6X6

19

7. Cuadro resumen de dimensionado

Elemento	Dimensiones	Longitud eficaz	Flecha admisible	Resistencia al fuego	Observaciones
Pilares GL24h	320 × 320 mm	3,20 m	L/300	R-60	Retícula interior
Vigas GL24h	260 × 320 mm	5,00 m	L/300	R-60	Paralelas a fachada
Viguetas GL24h	200 × 220 mm	2,50 m	L/300	R-60	Forjados intermedios
Forjados CLT	150 mm	6,00 m	L/300	R-90	Plantas baja y cubierta
Muros de CLT	100 mm	3,20 m	h/500	R-90	Fachadas y núcleo
Núcleo CLT (ascensor/esc.)	100-150 mm	3,20 m	h/500	R-120	Elemento de arriostramiento

8. Desplomes verticales

El límite de deformación vertical admisible se fija en:

- **Desplomes horizontales:** h/500 ($\approx 40,5$ mm para 20,25 m de altura).
- **Flechas en forjados:** L/300 en cargas de servicio.
- **Flechas diferidas por fluencia:** verificadas conforme a Eurocódigo 5.

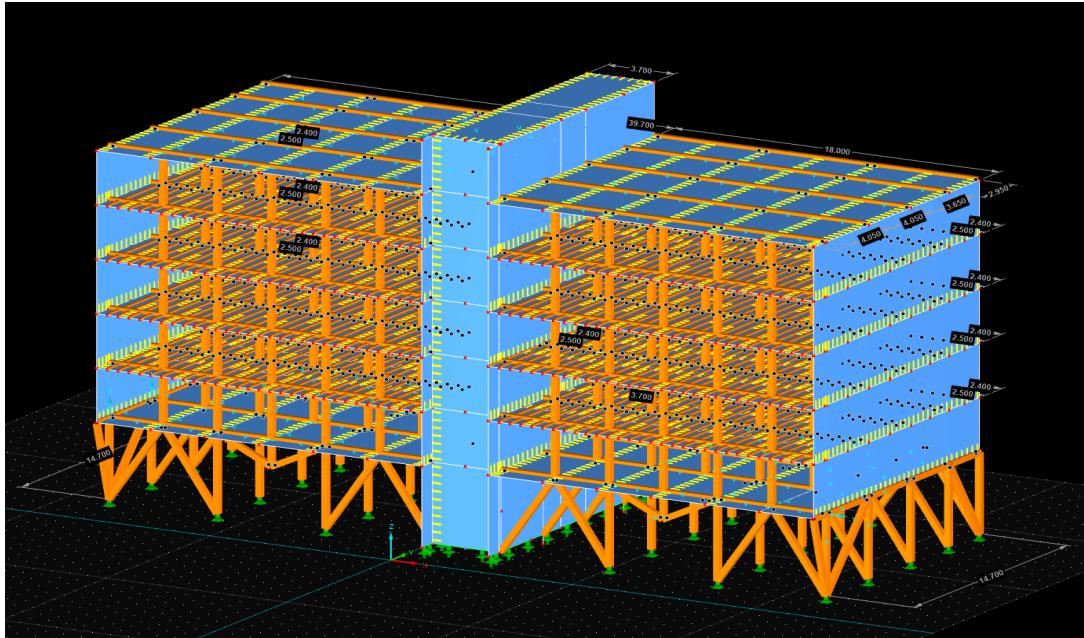
ALUMNOS:

JAIME ANDRÉS SIMÓN
BASSAM AZIZ
ANTONIO MANUEL FRONTADO

TRABAJO FIN DE MÁSTER CONSTRUCCIÓN CON MADERA - CURSO ACADÉMICO 2024-25

REDISEÑO DE EDIFICIO 6X6

9. Modelado estructural y análisis mediante RFEM



9.1. Descripción general del modelo de análisis.

La estructura del edificio se ha modelado en el software **RFEM 5.37.01** de Dlubal, un programa de cálculo de estructuras mediante el método de los elementos finitos (MEF), especializado en el análisis tridimensional de estructuras de madera, acero, hormigón y sistemas mixtos.

El modelo incluye la definición completa de los elementos estructurales: **muros y forjados en paneles de CLT, pilares, vigas y viguetas de madera laminada y elementos bajo rasante en hormigón armado**. El cálculo se ha realizado siguiendo la norma **EN 1995-1-1 (Eurocódigo 5)** y normativa española complementaria.

La estructura se ha modelado mediante 2 modelos de cálculo; Uno global del edificio con cargas verticales en cubierta y planta baja de CLT y cargas horizontales de viento, con el objetivo de calcular efectos de diafragma y estabilidad global de la estructura, y otro modelo para cálculo de forjado entramado mediante cargas de uso, con el objetivo de calcular la resistencia vertical de los elementos estructurales de forjado (vigas, viguetas, OSB) para uso de viviendas.

ALUMNOS: _____

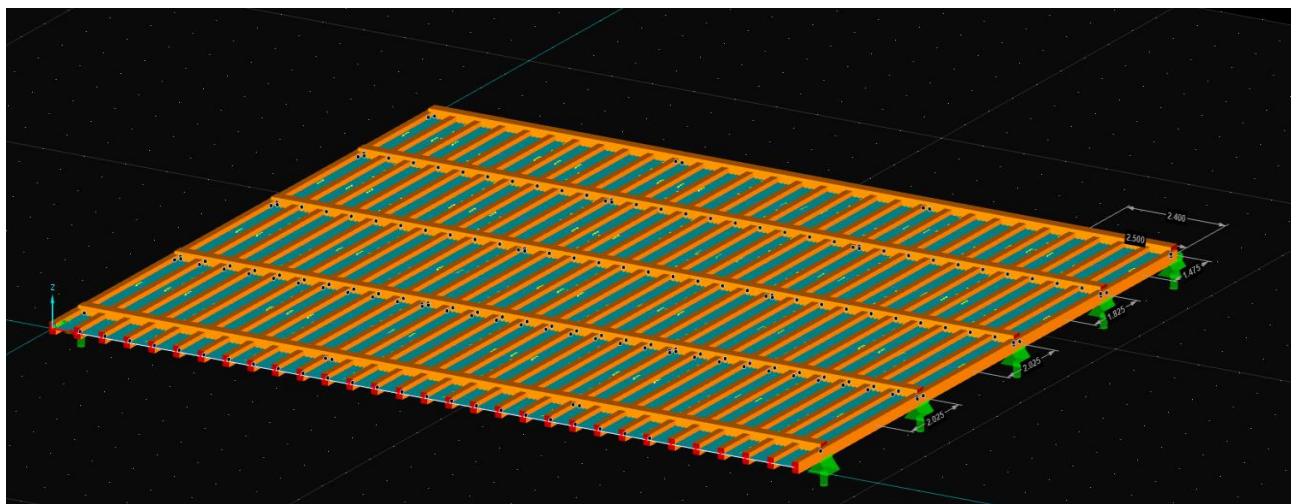
JAIME ANDRÉS SIMÓN
BASSAM AZIZ
ANTONIO MANUEL FRONTADO

TRABAJO FIN DE MÁSTER CONSTRUCCIÓN CON MADERA - CURSO ACADÉMICO
2024-25

REDISEÑO DE EDIFICIO 6X6

21

Modelo de forjado entramado compuesto por vigas, viguetas, y paneles OSB:



9.2. Condiciones de contorno.

Se han dispuesto **apoyos en nudos y en líneas** para representar de forma realista las condiciones de arranque de la estructura:

- Los **pilares de madera** se han modelado articulados en la cimentación de hormigón (condiciones de apoyo global X, Y, Z).

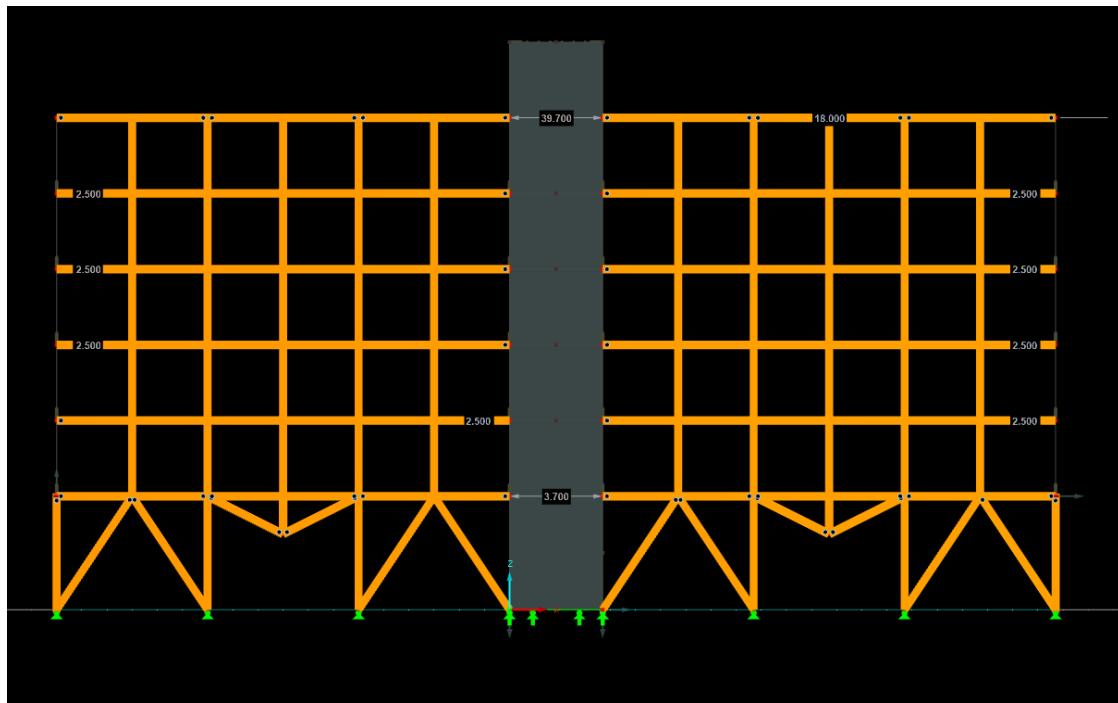
ALUMNOS: _____

JAIME ANDRÉS SIMÓN
BASSAM AZIZ
ANTONIO MANUEL FRONTADO

TRABAJO FIN DE MÁSTER CONSTRUCCIÓN CON MADERA - CURSO ACADÉMICO
2024-25

REDISEÑO DE EDIFICIO 6X6

22



ALUMNOS: _____

JAIME ANDRÉS SIMÓN
BASSAM AZIZ
ANTONIO MANUEL FRONTADO

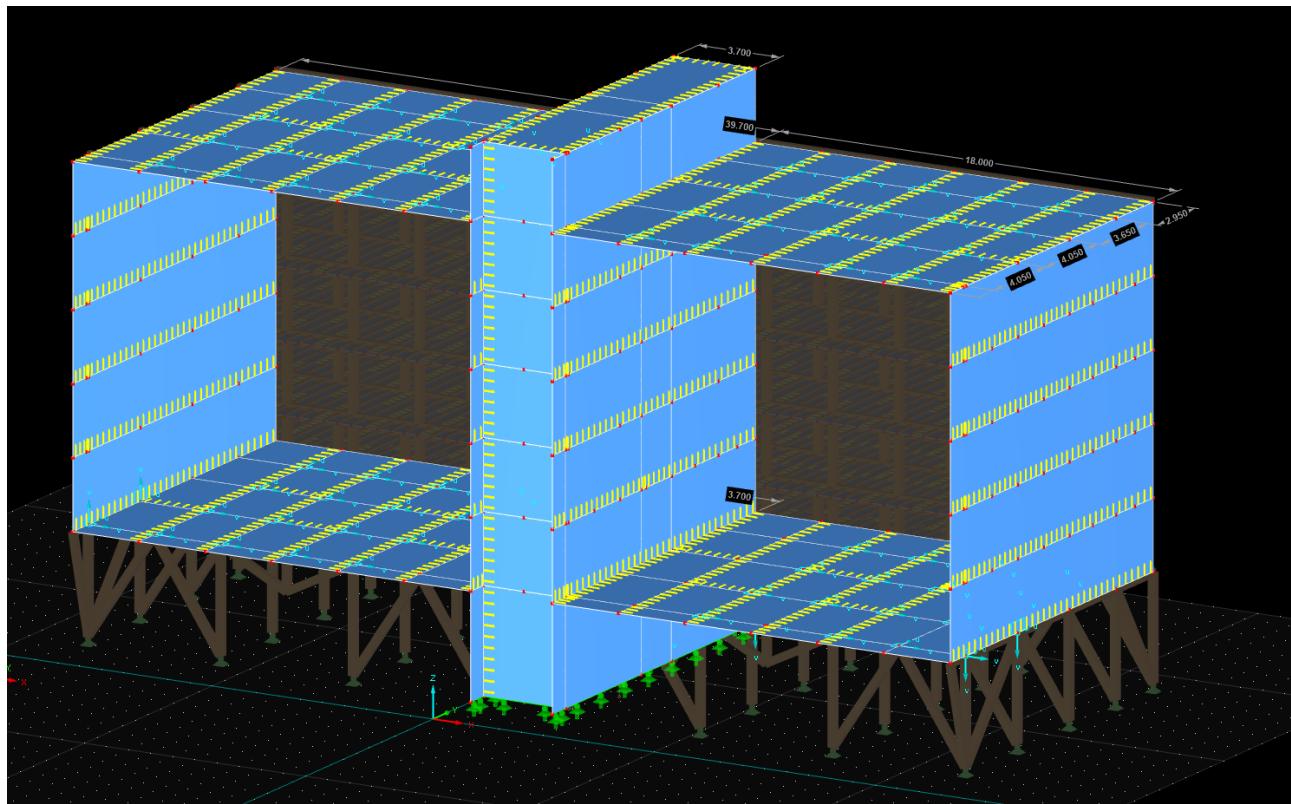
TRABAJO FIN DE MÁSTER CONSTRUCCIÓN CON MADERA - CURSO ACADÉMICO

2024-25

REDISEÑO DE EDIFICIO 6X6

23

- Los **muros de CLT** se han apoyado en continuidad sobre los forjados y la cimentación, transmitiendo cargas verticales y horizontales.
- Se han definido **articulaciones lineales** en las zonas de unión muro-forjado para reflejar las rigideces parciales de los conectores metálicos.



ALUMNOS: _____

JAIME ANDRÉS SIMÓN
BASSAM AZIZ
ANTONIO MANUEL FRONTADO

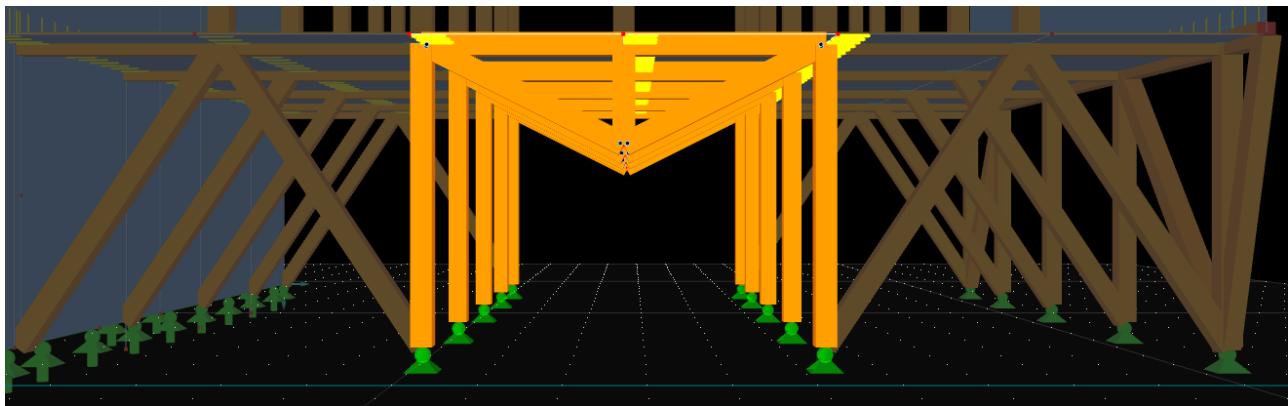
TRABAJO FIN DE MÁSTER CONSTRUCCIÓN CON MADERA - CURSO ACADÉMICO
2024-25

REDISEÑO DE EDIFICIO 6X6

24

9.3. Tipología de elementos modelados.

- **Barras:** utilizadas para modelar pilares, vigas y viguetas de madera laminada (GL24h). Se han definido con sus secciones geométricas reales y propiedades ortótropas del material.
- **Superficies:** asignadas a muros y forjados de CLT, modelados como placas ortótropas según la teoría de Mindlin, con rigideces ajustadas (D33, D44, D55, D88) para simular el comportamiento a flexión, cortante y torsión.
- **Nudos rígidos:** empleados en encuentros viga-pilar y viga-vigueta, complementados con articulaciones locales para absorber deformaciones diferenciales.
- **Forjados mixtos OSB-entrampado:** modelados como superficies de rigidez reducida, acopladas a las vigas de madera laminada.
- **Cerchas y elementos diagonales:** en el forjado del vano intermedio de la planta baja, se han empleado una cercha de vigas como un apoyo en lugar de un pilar vertical con el objetivo de crear un espacio diáfano en la planta baja. Además se han empleados pilares diagonales con el objetivo de añadir arriostramiento contra viento en 2 direcciones.



9.4. Consideraciones de análisis.

El cálculo se ha efectuado mediante **análisis de segundo orden (P-Delta)**, considerando los efectos de no linealidad geométrica relevantes para una edificación en altura. Se han aplicado las combinaciones de carga persistentes y accidentales establecidas en Eurocódigo 0 y CTE, incluyendo: cargas permanentes, sobrecargas de uso, viento y sismo.

En relación con criterios específicos:

- Se ha considerado el **efecto diafragma** de los forjados de CLT y forjados de entrampado con paneles de osb, permitiendo la transmisión de cargas horizontales hacia el núcleo central y

ALUMNOS: _____

JAIME ANDRÉS SIMÓN
BASSAM AZIZ
ANTONIO MANUEL FRONTADO

TRABAJO FIN DE MÁSTER CONSTRUCCIÓN CON MADERA - CURSO ACADÉMICO
2024-25

REDISEÑO DE EDIFICIO 6X6

25

fachadas resistentes.

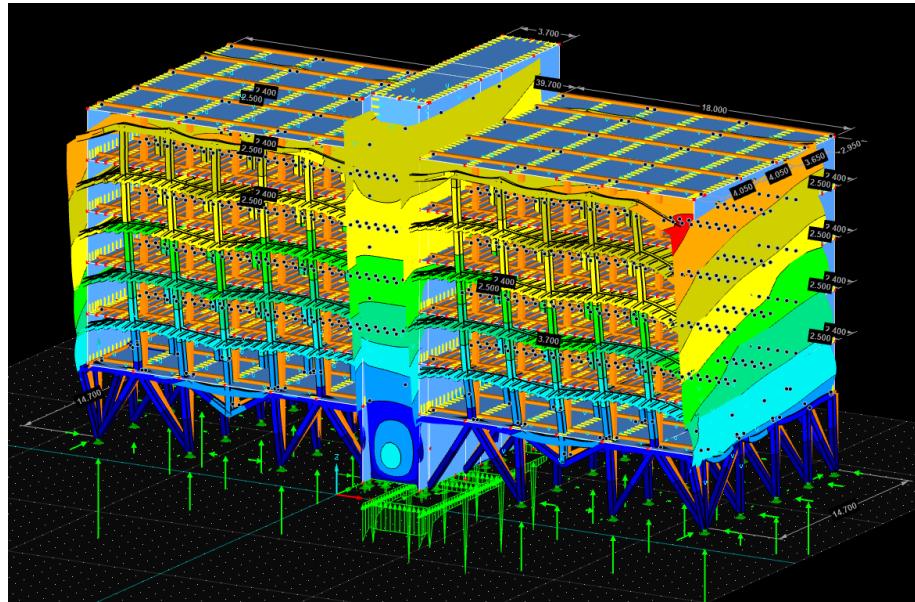
- El **pandeo de barras** se ha verificado en RF-TIMBER Pro, con longitudes eficaces calculadas en función de las alturas libres y condiciones de arriostramiento (Lcr,y y Lcr,z).
- En el caso de muros y forjados de CLT, se ha aplicado la **reducción de rigidez a cortante** (**k33, k44, k55**) para reflejar el acoplamiento entre capas y evitar sobreestimar la resistencia

9.5. Modelo de cálculo.

Se adjunta a la presente memoria el archivo correspondiente al **modelo de cálculo**, utilizado para la comprobación de la estructura diseñada y la justificación del cumplimiento de los requisitos de seguridad estructural establecidos en el **CTE**, el **Código Estructural** y el **Eurocódigo 5**.

9.6. Análisis de resultados de cálculo del modelo

- Desplomes Horizontales:
 1. Desplome horizontal máximo bajo combinación de carga: CO7 - 1.35*CC1 + 1.05*CC2 + 1.5*CC3: Donde CC3 es la carga de viento en dirección global Y: **23.7 mm**

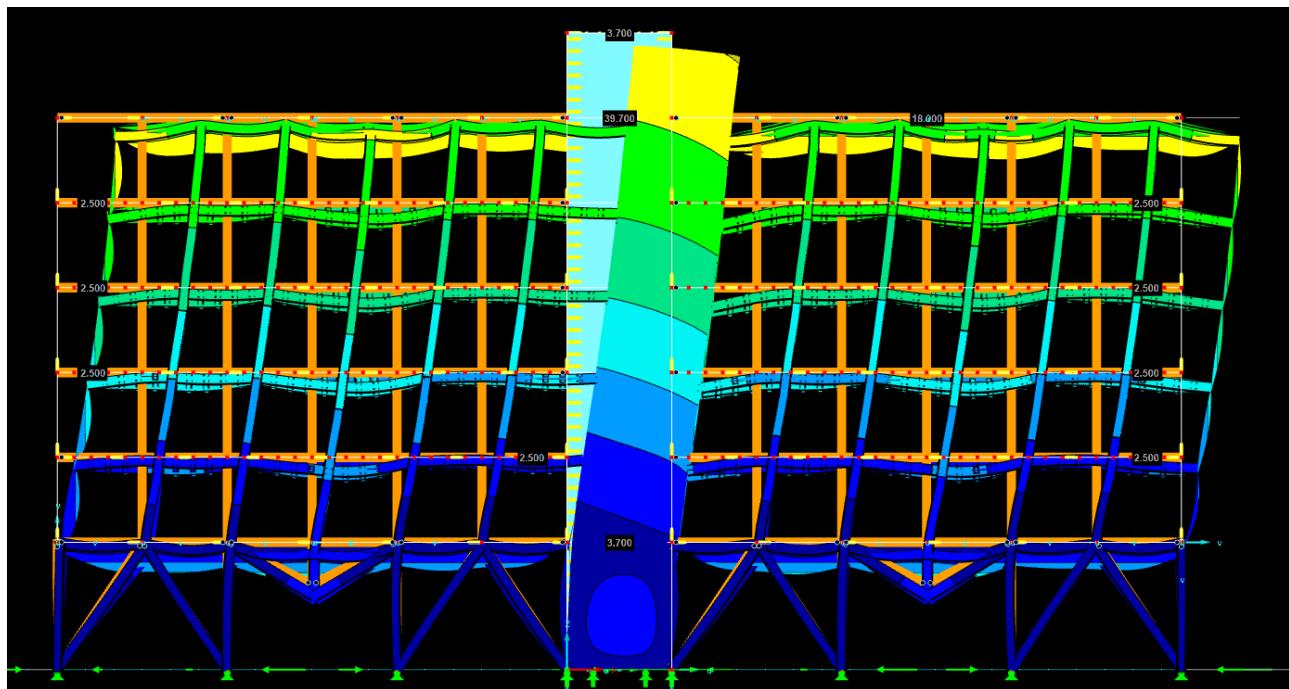


ALUMNOS:

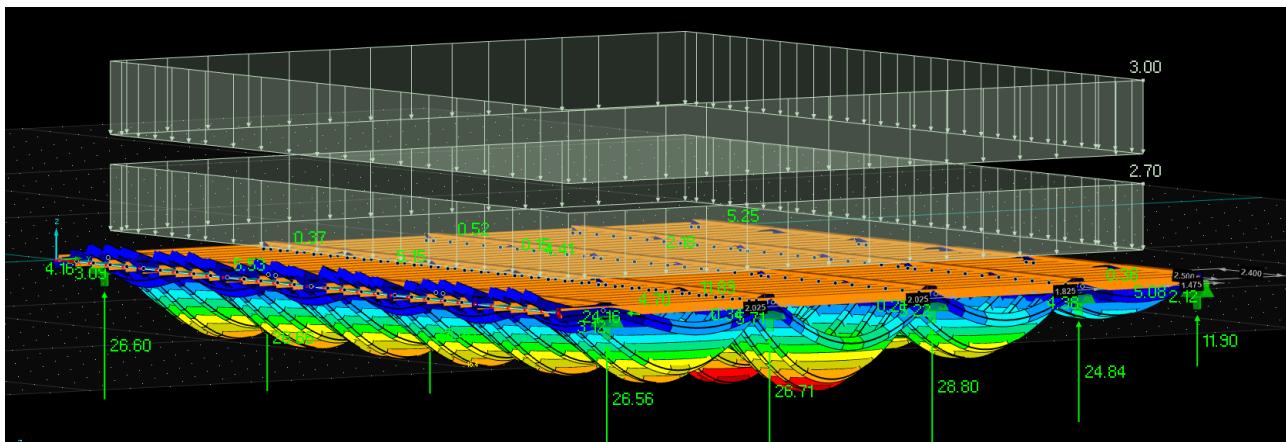
JAIME ANDRÉS SIMÓN
BASSAM AZIZ
ANTONIO MANUEL FRONTADO

TRABAJO FIN DE MÁSTER CONSTRUCCIÓN CON MADERA - CURSO ACADÉMICO
2024-25
REDISEÑO DE EDIFICIO 6X6

2. Desplome horizontal máximo bajo combinación de carga: CO8 - $1.35 \cdot CC1 + 1.05 \cdot CC2 + 1.5 \cdot CC4$: Donde CC4 es la carga de viento en dirección global X: **20.1 mm**



- Máximo desplazamiento en dirección Z en un forjado de entramado: **15.4 mm**





ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR
DE INGENIERÍA DE MONTES,
FORESTAL Y DEL MEDIO NATURAL



ALUMNOS:

JAIME ANDRÉS SIMÓN
BASSAM AZIZ
ANTONIO MANUEL FRONTADO

TRABAJO FIN DE MÁSTER CONSTRUCCIÓN CON MADERA - CURSO ACADÉMICO
2024-25

REDISEÑO DE EDIFICIO 6X6

27

9.7. Cálculo de Barras:

Modelo Entramado:

- Comportamiento de barras de un forjado entramado según combinaciones de carga de ELU, ELS, y comprobación de resistencia al fuego: agotamiento máximo en vigueta de forjado de **70%** bajo combinación de carga (CC1 + 0.5 CC2) en caso de incendio y una clase de resistencia al fuego R60

RF-TIMBER Pro - [Forjado Entramado 1.4 one surface]

Archivo Edición Configuración Ayuda

CA1 2.1 Cálculo por caso de carga

A	B	C	D	E	F	G	H
Carga	Descripción	Barra númer.	Posición x [m]	Razón	Cálculo según fórmula	Situación de pr	Clase de dur de carga
CO3	0.6*CC1	150	1.114	0.06 ≤ 1	401) Comportamiento en servicio - Situación de proyecto característica 1 según 7.2 - Van	SC1	Permanent
CR3	ELS - Característica - Conf	150	1.114	0.10 ≤ 1	402) Comportamiento en servicio - Situación de proyecto característica 2 según 7.2 - Van	SC2	Media
CO4	0.6*CC1 + 1.18*CC2	150	1.114	0.17 ≤ 1	401) Comportamiento en servicio - Situación de proyecto característica 1 según 7.2 - Van	SC1	Media
CO5	CC2	150	1.114	0.10 ≤ 1	402) Comportamiento en servicio - Situación de proyecto característica 2 según 7.2 - Van	SC2	Media
CO6	1.6*CC1	150	1.114	0.17 ≤ 1	403) Comportamiento en servicio - Situación de proyecto cuasipermanente según 7.2 - V	SQ	Permanent
CO7	1.6*CC1 + 0.48*CC2	150	1.114	0.21 ≤ 1	403) Comportamiento en servicio - Situación de proyecto cuasipermanente según 7.2 - V	SQ	Media
Comprobación de resistencia al fuego							
CO8	CC1	129	0.000	0.49 ≤ 1	833) Resistencia al fuego - Barra con flexión biaxial y compresión según 6.3.2 - Pandeo rr	PT	Permanent
CO9	CC1 + 0.5*CC2	129	0.000	0.70 ≤ 1	833) Resistencia al fuego - Barra con flexión biaxial y compresión según 6.3.2 - Pandeo rr	PT	Media

Max: 0.70 ≤ 1

Estado Límite Último

combinación de carga: $1.35*CC1 + 1.5*CC2$

Agotamiento Máximo en vigueta de forjado bajo flexión y compresión: **50%**

2.1 Cálculo por caso de carga

A	B	C	D	E	F	G	H
Carga	Descripción	Barra númer.	Posición x [m]	Razón	Cálculo según fórmula	Situación de pr	Clase de dur de carga
Comprobación en estado límite último							
CO1	1.35*CC1	148	0.000	0.35 ≤ 1	333) Barra con flexión biaxial y compresión según 6.3.2 - Pandeo respecto a ambos ejes	PT	Permanent
CO2	1.35*CC1 + 1.5*CC2	148	0.000	0.50 ≤ 1	333) Barra con flexión biaxial y compresión según 6.3.2 - Pandeo respecto a ambos ejes	PT	Media

Max: 0.50 ≤ 1



ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR
DE INGENIERÍA DE MONTES,
FORESTAL Y DEL MEDIO NATURAL



ALUMNOS:

JAIME ANDRÉS SIMÓN
BASSAM AZIZ
ANTONIO MANUEL FRONTADO

TRABAJO FIN DE MÁSTER CONSTRUCCIÓN CON MADERA - CURSO ACADÉMICO

2024-25

REDISEÑO DE EDIFICIO 6X6

Estado Límite de Servicio

combinación de carga: $1.6*CC1 + 0.48*CC2$

Agotamiento máximo en viga de forjado: 55% (Flecha límite 6.45mm)

Modelo Global:

- Comportamiento de barras del modelo global del edificio según combinaciones de carga de ELU, ELS, y comprobación de resistencia al fuego: agotamiento máximo en vigueta de forjado de **75%** bajo combinación de carga ($1.35 \cdot CC1 + 1.5 \cdot CC2$) en caso de incendio y una clase de resistencia al fuego R60

2.1 Cálculo por caso de carga										
Carga	A	B	C	D	E	F			G	H
	Descripción	Barra n.º	Posición x [m]	Razón	Cálculo según fórmula			Situ. de pr	Clase de duración	Clase de carga
Comprobación en estado límite último										
CO2	1.35*CC1 + 1.5*CC2	681	0.000	0.75 ≤ 1	111)	Resistencia de la sección - Cortante debido al esfuerzo cortante Vz según 6.1.7		PT	Media	
Comprobación en estado límite de servicio										
CO25	1.6*CC1 + 0.48*CC2	372	2.025	0.30 ≤ 1	403)	Comportamiento en servicio - Situación de proyecto cuasipermanente según 7.2 - Vano	SQ	Media		
Comprobación de resistencia al fuego										
CO27	CC1 + 0.5*CC2	681	0.000	0.49 ≤ 1	611)	Resistencia al fuego - Resistencia de la sección - Cortante debido al esfuerzo cortante			Media	
Max:						0.75 ±1				



ESCUOLA TÉCNICA SUPERIOR
DE INGENIERÍA DE MONTES,
FORESTAL Y DEL MEDIO NATURAL



ALUMNOS: _____

JAIME ANDRÉS SIMÓN
BASSAM AZIZ
ANTONIO MANUEL FRONTADO

TRABAJO FIN DE MÁSTER CONSTRUCCIÓN CON MADERA - CURSO ACADÉMICO
2024-25

REDISEÑO DE EDIFICIO 6X6

29

• Estado Límite Último

Caso de Carga: **(1.35 CC1 + 1.5 CC2)**
agotamiento máximo en Viga Principal de **75%**

2.1 Cálculo por caso de carga

Carga	Descripción	Barra núm.	Posición x [m]	E	F			G	H
					Razón	Cálculo según fórmula			Situación de pr
Comprobación en estado límite último									
CO2	1.35*CC1 + 1.5*CC2	681	0.000	0.75 ≤ 1	111) Resistencia de la sección - Cortante debido al esfuerzo cortante Vz según 6.1.7			PT	Media
CO3	1.35*CC1 + 1.5*CC2 + 0.9*	3794	1.200	0.61 ≤ 1	111) Resistencia de la sección - Cortante debido al esfuerzo cortante Vz según 6.1.7			PT	Corta
CO4	1.35*CC1 + 1.5*CC2 + 0.9*	681	0.000	0.69 ≤ 1	111) Resistencia de la sección - Cortante debido al esfuerzo cortante Vz según 6.1.7			PT	Corta
CO5	1.35*CC1 + 1.5*CC3	3794	1.200	0.64 ≤ 1	111) Resistencia de la sección - Cortante debido al esfuerzo cortante Vz según 6.1.7			PT	Corta
CO6	1.35*CC1 + 1.5*CC4	681	0.000	0.52 ≤ 1	111) Resistencia de la sección - Cortante debido al esfuerzo cortante Vz según 6.1.7			PT	Corta
CO7	1.35*CC1 + 1.05*CC2 + 1.	3794	1.200	0.72 ≤ 1	111) Resistencia de la sección - Cortante debido al esfuerzo cortante Vz según 6.1.7			PT	Corta
CO8	1.35*CC1 + 1.05*CC2 + 1.	681	0.000	0.65 ≤ 1	111) Resistencia de la sección - Cortante debido al esfuerzo cortante Vz según 6.1.7			PT	Corta
Max: 0.75 ≤ 1									
<input type="button" value=""/> > 1,0 <input type="button" value=""/>									

- Comportamiento de superficies de OSB en forjado entramado según cálculo por el módulo RF-Lamine: agotamiento máximo de **57%** bajo combinación de carga CO2: 1.35*CC1 + 1.5*CC2 de clase de duración de carga: **media**

RF-LAMINATE - [Forjado Entramado 1.4 one surface] X

Archivo Configuración Ayuda

Datos de entrada

- Datos generales
- Características del material
- Resistencias del material
- Clase de duración de carga y serv.
- Datos del comportamiento en ser
- Resultados
- Razón/tensión máx. por carga
- Razón/tensión máx. por superficie
- Razón/tensión máx. por composición
- Desplazamientos máx.
- Lista de piezas

2.1 Razón máx. de tensiones por carga

Carga	Superficie núm.	Punto núm.	Coordenadas del punto [m]			Núm.	Capa z [mm]	Lado	Tensiones [N/mm ²]		Razón Límite [·]	Gráfico en informe	
			A X	B Y	C Z				I Símbolo	J Existente			
CO1	601	963	12.000	11.125	0.000	1	0.0	Superior	σb.0	3.49	7.67	0.45	<input type="checkbox"/>
	601	384	17.400	5.250	0.000	1	0.0	Superior	σb.90	1.74	4.07	0.43	<input type="checkbox"/>
	601	978	2.400	11.125	0.000	1	0.0	Superior	σt.c.0	0.16	3.80	0.04	<input type="checkbox"/>
	601	16188	16.700	7.275	0.000	1	0.0	Superior	σt.c.90	0.08	2.73	0.03	<input type="checkbox"/>
	601	963	12.000	11.125	0.000	1	0.0	Superior	σb+t.c.0	3.46		0.46	<input type="checkbox"/>
	601	384	17.400	5.250	0.000	1	0.0	Superior	σb+t.c.90	1.74		0.43	<input type="checkbox"/>
	601	384	17.400	5.250	0.000	1	12.5	Intermed.	τx'z'	0.16	0.37	0.43	<input type="checkbox"/>
	601	963	12.000	11.125	0.000	1	12.5	Intermed.	τx'z'	-0.19	0.37	0.51	<input type="checkbox"/>
CO2	601	3432	0.100	5.250	0.000	1	0.0	Superior	τx'y'	-0.52	2.30	0.23	<input type="checkbox"/>
	601	963	12.000	11.125	0.000	1	12.5	Intermed.	int((τx'z+τx'y))			0.26	<input type="checkbox"/>
	601	16188	16.700	7.275	0.000	1	0.0	Superior	int(σt.c.90+τx'y)			0.03	<input type="checkbox"/>
	601	963	12.000	11.125	0.000	1	0.0	Superior	σb+t.c.0	6.80		0.52	<input type="checkbox"/>
<input type="radio"/> Razón máx. de tensiones			<input type="radio"/> Valor máx. de tensiones			Razón máx.: 0.57 ≤ 1			<input type="button" value=""/> <input type="button" value=""/> <input type="button" value=""/> >1 <input type="button" value=""/> <input type="button" value=""/> <input type="button" value=""/>				



ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR
DE INGENIERÍA DE MONTES,
FORESTAL Y DEL MEDIO NATURAL



ALUMNOS: _____

JAIME ANDRÉS SIMÓN
BASSAM AZIZ
ANTONIO MANUEL FRONTADO

TRABAJO FIN DE MÁSTER CONSTRUCCIÓN CON MADERA - CURSO ACADÉMICO
2024-25

REDISEÑO DE EDIFICIO 6X6

30

10. Resumen de materiales y secciones.

A continuación, se presentan los materiales estructurales empleados en el proyecto, agrupados por tipologías de elementos, junto con las secciones finales adoptadas en el dimensionado.

10.1. Materiales y secciones por grupos de elementos estructurales.

Elemento estructural	Material	Clase resistente	Dimensiones / Espesor
Pilares	Madera laminada encolada	GL24h	320 × 320 mm
Vigas principales	Madera laminada encolada	GL24h	260 × 320 mm
Viguetas secundarias	Madera laminada encolada	GL24h	200 × 220 mm
Muros de arriostramiento	CLT	C24	100 mm (30+40+30 mm)
Forjados planta baja	CLT	C24	150 mm (30+30+30+30+30 mm)
Forjado de cubierta	CLT	C24	150 mm (30+30+30+30+30 mm)
Cubierta ligera	Entramado + CLT/OSB	GL24h / OSB	Viguetas + tablero OSB 25 mm



ESCUOLA TÉCNICA SUPERIOR
DE INGENIERÍA DE MONTES,
FORESTAL Y DEL MEDIO NATURAL



ALUMNOS:

JAIME ANDRÉS SIMÓN
BASSAM AZIZ
ANTONIO MANUEL FRONTADO

TRABAJO FIN DE MÁSTER CONSTRUCCIÓN CON MADERA - CURSO ACADÉMICO
2024-25

REDISEÑO DE EDIFICIO 6X6

31

10.2. Paneles de CLT empleados

Los paneles de madera contralaminada (CLT) se proyectan para forjados y muros de arriostramiento. Se resumen sus características a continuación:

Fabricante	Uso principal	Nº de capas	Disposición de capas (mm)	Espesor total	Densidad (kg/m³)	E _{0,mean} (N/mm²)	f _{k,0,d} (N/mm²)
KLH / Stora Enso	Forjados planta baja y cubierta	5	30+30+30+30+30	150 mm	470	11.000	24
KLH / Stora Enso	Muros de arriostramiento y núcleo	3	30+40+30	100 mm	470	11.000	24

11. Detalles estructurales: Representación gráfica y explicación técnica de las soluciones adoptadas para los principales tipos de unión estructural.

Se adjunta a la presente memoria el documento correspondiente al **cálculo y representación gráfica de uniones**.

12. Detalles constructivos: Encuentros de elementos estructurales con cerramientos.

En este apartado se describen las soluciones adoptadas para los encuentros entre los distintos elementos estructurales de la edificación y los cerramientos exteriores e interiores. Dichos encuentros constituyen puntos singulares del proyecto, ya que en ellos confluyen aspectos estructurales, térmicos, acústicos y de estanqueidad que condicionan tanto la durabilidad de la madera como el comportamiento global del edificio.

El diseño de las uniones ha seguido los siguientes criterios principales:

- Compatibilidad estructural:** se han resuelto los apoyos y transiciones garantizando la correcta transmisión de cargas gravitatorias y horizontales entre la estructura de madera (forjados, paneles, vigas, pilares, etc.) y los cerramientos.
- Protección de la madera:** en todos los encuentros se ha previsto la adecuada ventilación, impermeabilización y aislamiento para minimizar el riesgo de humedad y garantizar la durabilidad según lo establecido en el **CTE DB-SE-M** y en el **Eurocódigo 5 (UNE-EN 1995-1-1)**.
- Prestaciones térmicas y acústicas:** la disposición de barreras de vapor, aislamientos y juntas estancas en los puntos de encuentro asegura el cumplimiento de las exigencias básicas del **CTE DB-HE** (ahorro de energía) y del **CTE DB-HR** (protección frente al ruido).
- Facilidad constructiva y mantenimiento:** los detalles se han desarrollado considerando



ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR
DE INGENIERÍA DE MONTES,
FORESTAL Y DEL MEDIO NATURAL



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID

ALUMNOS: _____

JAIME ANDRÉS SIMÓN
BASSAM AZIZ
ANTONIO MANUEL FRONTADO

TRABAJO FIN DE MÁSTER CONSTRUCCIÓN CON MADERA - CURSO ACADÉMICO
2024-25

REDISEÑO DE EDIFICIO 6X6

32

soluciones industrializadas y accesibles, que facilitan la ejecución en obra y posteriores intervenciones.

Entre los encuentros resueltos destacan:

- Unión de **forjado de CLT** con muro de cerramiento de fachada, con tratamiento específico de junta para evitar puentes térmicos.
- Encuentro de **cubierta inclinada de madera laminada** con los muros perimetrales, garantizando continuidad del aislamiento y protección frente a filtraciones.
- Apoyo de **pilares de madera laminada** sobre zócalos y arranques de fábrica, con interposición de barreras capilares.
- Soluciones de encuentro entre **entramados ligeros y carpinterías exteriores**, resolviendo la estanqueidad al aire y al agua.

Todos los detalles constructivos que desarrollan gráficamente las soluciones anteriores se encuentran recogidos en el **DOCUMENTO PLANOS**, donde se representan con precisión las capas, espesores, anclajes, juntas y elementos auxiliares que conforman cada solución adoptada.

13. ESTUDIO DE AHORRO ENERGÉTICO Y ACÚSTICO DEL EDIFICIO

Adjuntamos anexo ...



ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR
DE INGENIERÍA DE MONTES,
FORESTAL Y DEL MEDIO NATURAL



ALUMNOS: _____

JAIME ANDRÉS SIMÓN
BASSAM AZIZ
ANTONIO MANUEL FRONTADO

TRABAJO FIN DE MÁSTER CONSTRUCCIÓN CON MADERA - CURSO ACADÉMICO
2024-25

REDISEÑO DE EDIFICIO 6X6

33

14. VALORACIÓN ECONÓMICA DEL PROYECTO.

RESUMEN PRESUPUESTO DEL PROYECTO

1 Movimiento de tierras	16.696,83
2 Cimientos y muros.	259.487,02
3 Estructura de hormigón	103.202,31
4 Acometidas	9.400,02
5 Estructura de madera	1.038.801,92
6 Cubiertas y azoteas.	106.690,56
7 Fachadas	388.476,53
8 Divisiones interiores	170.233,92
9 Soleras interiores	2.228.419,30
10 Carpintería interior	19.625,90
11 Carpintería exterior	541.923,36
12 Barandillas, defensas y vidrios.	158.550,30
13 Revestimientos	441.640,10
14 Pérgola de madera	48.151,22
15 Instalación de Saneamiento	51.900,00
16 Instalación de Fontanería	144.954,90
17 Instalación eléctrica	213.967,50
18 Instalación Telecomunicaciones	87.714,00
19 Instalación de Ventilación	80.086,20
20 Instalación Fotovoltaica	46.200,00
21 Pintura	69.300,00
22 ASCENSOR	39.287,92
23 GESTIÓN DE RESIDUOS	65.000,00
24 CONTROL DE CALIDAD	18.500,00
25 SEGURIDAD Y SALUD	1.000,00
Total PEM	6.349.209,81
10% Beneficio Industrial ...:	6.349.20,98
Suma Total Presupuesto	6.984.130,79

Se estima que el coste de EJECUCIÓN DE LA OBRA ASCIENDE A LA CANTIDAD DE **SEIS MILLONES NOVECIENTOS OCHENTA Y CUATRO MIL CIENTO TREINTA EUROS CON SETENTA Y NUEVE CÉNTIMOS.**

El precio por ratio m² es de: 6.984.130,79 € / 4.375 m² = 1.596,37 €/m²

En el DOCUMENTO 3 “MEDICIONES Y PRESUPUESTO” se detallan de forma pormenorizada las partidas, desglosando unidades de obra, mediciones y precios aplicados.



ESCUOLA TÉCNICA SUPERIOR
DE INGENIERÍA DE MONTES,
FORESTAL Y DEL MEDIO NATURAL



CONSTRUCCIÓN CON MADERA
GRUPO DE INVESTIGACIÓN
UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID

ALUMNOS: _____

JAIME ANDRÉS SIMÓN
BASSAM AZIZ
ANTONIO MANUEL FRONTADO

TRABAJO FIN DE MÁSTER CONSTRUCCIÓN CON MADERA - CURSO ACADÉMICO
2024-25

REDISEÑO DE EDIFICIO 6X6

34

15. COMPARATIVO VOLUMEN DE MADERA PROYECTO CONSTRUDO VS PROPUESTA LAS TRES ORILLAS

VOLUMEN DE MADERA UTILIZADO EN EL PROYECTO ORIGINAL	VOLUMEN DE MADERA UTILIZADO EN EL REDISEÑO
Según datos facilitados en la página web del estudio de arquitectura Bosch.Capdeferro , se emplearon aproximadamente 1.000 m ³	Madera Estructural 893,36 m ³

La solución proyectada supone una **disminución del 11% en el volumen de madera empleado** respecto a la solución original. La optimización se ha logrado mediante un dimensionamiento más ajustado de los elementos estructurales y la integración de soluciones constructivas que permiten mantener las prestaciones mecánicas y de durabilidad, minimizando al mismo tiempo el consumo de material.

En conclusión, la propuesta "Las Tres Orillas" consigue **un uso más eficiente de la madera**, alineándose con los principios de economía de recursos, sostenibilidad y racionalidad estructural que fundamentan este rediseño.



ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR
DE INGENIERÍA DE MONTES,
FORESTAL Y DEL MEDIO NATURAL



ALUMNOS: _____

JAIME ANDRÉS SIMÓN
BASSAM AZIZ
ANTONIO MANUEL FRONTADO

TRABAJO FIN DE MÁSTER CONSTRUCCIÓN CON MADERA - CURSO ACADÉMICO
2024-25

REDISEÑO DE EDIFICIO 6X6

35

16. Comparativo Construcción del edificio con estructura de Madera vs Estructura de madera.

Hemos valorado el coste de construcción del edificio con una estructura de hormigón, de la cual exponemos a continuación la hoja resumen:

RESUMEN PRESUUESTO EDIFICIO CON ESTRUCTURA DE HORMIGÓN	
1 Movimiento de tierras	16.696,83
2 Cimientos y muros.	259.487,02
3 Estructura de hormigón	103.202,31
4 ACOMETIDAS	9.400,02
5 Estructura de hormigón	359.580,60
6 Cubiertas y azoteas.	106.690,56
7 Fachadas	388.476,53
8 Divisiones interiores	170.233,92
9 Soleras interiores	2.228.419,30
10 Carpintería interior	19.625,90
11 Carpintería exterior	541.923,36
12 Barandillas, defensas y vidrios.	158.550,30
13 Revestimientos	441.640,10
14 Pergola de madera	48.151,22
15 Instalación de Saneamiento	51.900,00
16 Instalación de Fontanería	144.954,90
17 Instalación eléctrica	213.967,50
18 Instalación Telecomunicaciones	87.714,00
19 Instalación de Ventilación	80.086,20
20 Instalación Fotovoltaica	46.200,00
21 Pintura	69.300,00
22 ASCENSOR	39.287,92
23 GESTIÓN DE RESIDUOS	65.000,00
24 CONTROL DE CALIDAD	18.500,00
25 SEGURIDAD Y SALUD	1.000,00
Total	5.669.988,49
10% Beneficio Industrial	566.998,85
Suma Total del presupuesto	6.236.987,34

Se estima que el coste de EJECUCION DE LA OBRA ASCIENDE A LA CANTIDAD DE **SEIS MILLONES DOSCIENTOS TREINTA Y SEIS MIL NOVECIENTOS OCHENTA Y Siete EUROS CON TREINTA Y CUATRO CÉNTIMOS.**

El precio por ratio m² es de: 6.236.987,34 € / 4.375 m² = 1.425,60 €/m²

Nota.- en el Anexo II presentamos la medición detallada de este proyecto con la estructura



ESCUOLA TÉCNICA SUPERIOR
DE INGENIERÍA DE MONTES,
FORESTAL Y DEL MEDIO NATURAL



ALUMNOS: _____

JAIME ANDRÉS SIMÓN
BASSAM AZIZ
ANTONIO MANUEL FRONTADO

TRABAJO FIN DE MÁSTER CONSTRUCCIÓN CON MADERA - CURSO ACADÉMICO
2024-25

REDISEÑO DE EDIFICIO 6X6

36

ejecutada con hormigón armado. En el se detallan de forma pormenorizada las partidas, desglosando unidades de obra, mediciones y precios aplicados.

17. ANÁLISIS CONSTRUCCIÓN CON MADERA VS CONSTRUCCIÓN CON HORMIGÓN.

A partir de una primera comparación económica, la construcción del presente proyecto en madera arroja un coste estimado de **747.143,45 € superior** al de una solución equivalente en hormigón armado, lo que representa aproximadamente un **12% más de inversión inicial**.

No obstante, este diferencial directo no refleja la realidad global del análisis coste-beneficio. Una comparación rigurosa debe incorporar otros factores determinantes que ponen de manifiesto la **ventaja competitiva de la construcción con madera**:

- Rapidez de ejecución: los sistemas industrializados en madera (CLT, entramado ligero, etc.) permiten reducir de forma significativa los plazos de obra, con el consiguiente ahorro en costes indirectos, financiación y gestión de obra.
- Sostenibilidad y huella de carbono: la madera es un material renovable que actúa como sumidero de CO₂ durante toda su vida útil, contribuyendo al cumplimiento de los objetivos europeos de descarbonización y mejorando la calificación ambiental del edificio.
- Eficiencia energética: los cerramientos y forjados en madera presentan mejores prestaciones térmicas, lo que se traduce en una reducción del consumo energético durante la vida útil del edificio.
- Confort y salubridad: la madera aporta propiedades higrotérmicas y acústicas que mejoran el confort de los usuarios.
- Valor añadido y mercado inmobiliario: cada vez más, los edificios en madera se valoran por su diseño sostenible e innovador, lo que incrementa su atractivo y competitividad frente a construcciones convencionales.

En consecuencia, si bien el análisis económico directo puede sugerir inicialmente un sobrecoste en torno al 12%, la incorporación de los factores mencionados demuestra que la construcción en madera no solo es competitiva frente al hormigón, sino que resulta ventajosa en términos de sostenibilidad, eficiencia y valor a largo plazo.



ESCUOLA TÉCNICA SUPERIOR
DE INGENIERÍA DE MONTES,
FORESTAL Y DEL MEDIO NATURAL



ALUMNOS: _____

JAIME ANDRÉS SIMÓN
BASSAM AZIZ
ANTONIO MANUEL FRONTADO

TRABAJO FIN DE MÁSTER CONSTRUCCIÓN CON MADERA - CURSO ACADÉMICO
2024-25

REDISEÑO DE EDIFICIO 6X6

37

18. ANÁLISIS DE LA VIABILIDAD DE CONSTRUIR ESTA PROMOCIÓN CON MADERA.

Analizamos a continuación la **viabilidad financiera del proyecto** presentado para la ejecución de edificio de viviendas y locales comerciales construidos con madera.

En primer lugar, realizamos un desglose estimado de costes en porcentajes sobre el coste total del proyecto que se establece de la siguiente forma:

- Compra del suelo _____ 20% - 30%
- Licencias e Impuestos _____ 3% - 6%
- Construcción _____ 40% - 50%
- Gastos Financieros _____ 5% - 10%
- Gastos Técnicos _____ 5% - 8%
- Gastos Bancarios _____ 1% - 2%
- Gastos notariales y registro _____ 1% - 2%

De esta forma se desprenden como notas claves:

- **Construcción** es el mayor coste individual (estructura, instalaciones, acabados)
- **Gastos Financieros** incluyen intereses de préstamos y costes asociados al crédito promotor.
- **Gastos Técnicos** incluye arquitecto, aparejador, estudio geotécnico, dirección de obra, etc,...
- **Licencias** puede incluir ICIO, tasas de Urbanismo, etc,...
- **Gastos Notariales y Bancarios** son menores pero no deben obviarse.

Analizamos estos ítems expuestos en base a los siguientes datos comparativos entre la construcción de este edificio con madera y el mismo con hormigón.

18.1. CONDICIONANTES SECTORIALES PARA LA VIABILIDAD DEL PROYECTO.

En el análisis de la viabilidad de la promoción es fundamental considerar determinados condicionantes del sector inmobiliario y financiero en España, que influyen de manera directa tanto en la planificación temporal como en la estructura económica del proyecto:

- **Financiación hipotecaria:**

El sistema bancario español permite, en general, financiar hasta el **100% de la inversión vinculada a la ejecución de la obra** (construcción, honorarios técnicos, impuestos asociados, licencias, instalaciones, etc.), quedando excluida la **compra del suelo**, que



ESCUOLA TÉCNICA SUPERIOR
DE INGENIERÍA DE MONTES,
FORESTAL Y DEL MEDIO NATURAL



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID

ALUMNOS: _____

JAIME ANDRÉS SIMÓN
BASSAM AZIZ
ANTONIO MANUEL FRONTADO

TRABAJO FIN DE MÁSTER CONSTRUCCIÓN CON MADERA - CURSO ACADÉMICO
2024-25

REDISEÑO DE EDIFICIO 6X6

38

debe ser afrontada por el promotor en su totalidad y abonada con recursos propios. Este desembolso previo constituye una de las principales barreras de entrada para nuevos desarrollos, al requerir una inversión inicial significativa.

- **Plazos administrativos:**

El **plazo medio para la obtención de una licencia de obras** en España puede situarse en torno a **12 meses**, dependiendo del municipio y la carga administrativa de los servicios de urbanismo. Este aspecto debe contemplarse en la programación financiera, ya que durante dicho periodo se genera un desfase temporal sin inicio de obras, lo que implica costes indirectos adicionales (mantenimiento del suelo, intereses de préstamos puente, gastos generales de la promotora, etc.).

- **Costes indirectos asociados al tiempo:**

Los retrasos derivados de la tramitación administrativa impactan en la rentabilidad del proyecto, tanto por el encarecimiento de materiales y mano de obra derivado de la inflación, como por la prolongación de los costes financieros previos al inicio efectivo de la obra. En este sentido, la construcción con madera puede aportar una ventaja competitiva al permitir **plazos de ejecución notablemente inferiores** a los sistemas tradicionales de hormigón, compensando parte de las ineficiencias generadas en la fase de tramitación.

- **Entorno financiero y tipos de interés:**

El tipo de interés aplicado a la financiación promotor suele fijarse en función de la solvencia del promotor, la política del banco y el riesgo del proyecto. En el contexto actual de estabilidad moderada en los tipos de interés (con valores de referencia en torno al 5%), resulta clave optimizar el calendario de ejecución y comercialización, reduciendo la exposición temporal a la financiación.

En conclusión, el éxito de la viabilidad financiera no depende únicamente del coste inicial de construcción, sino también de la **estructura de financiación**, los **plazos administrativos** y la **eficiencia en la ejecución**. Estos factores del sector, considerados de forma integrada, refuerzan la competitividad de la construcción con madera frente a alternativas tradicionales.

18.2. IMPORTE A FINACIAR.

Dado que la **compra del suelo** debe ser asumida íntegramente por el promotor y no es objeto de financiación hipotecaria, el importe de la hipoteca se calcula sobre el resto de conceptos del proyecto (construcción, licencias, gastos técnicos, financieros, etc.).



ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR
DE INGENIERÍA DE MONTES,
FORESTAL Y DEL MEDIO NATURAL



ALUMNOS: _____

JAIME ANDRÉS SIMÓN
BASSAM AZIZ
ANTONIO MANUEL FRONTADO

TRABAJO FIN DE MÁSTER CONSTRUCCIÓN CON MADERA - CURSO ACADÉMICO
2024-25

REDISEÑO DE EDIFICIO 6X6

39

En base a los costes de ejecución analizados, los resultados son los siguientes:

- **Si la estructura es de hormigón** (coste total: **6.236.987,34 €**):
 - **Importe total de la inversión: 13.859.971,87 €**
 - **Hipoteca máxima (sin coste del suelo): 9.701.980,31 €**
- **Si la estructura es de madera** (coste total: **6.984.130,79 €**):
 - **Importe total de la inversión: 15.520.290,64 €**
 - **Hipoteca máxima (sin coste del suelo): 10.864.203,45 €**

La construcción en **madera** requiere una financiación aproximada de **10,86 M€**, frente a **9,70 M€** en el caso del **hormigón**.

La diferencia en el importe a financiar se sitúa en torno a **1,16 M€ adicionales** en la alternativa de madera.

CONCEPTO	HORMIGÓN	MADERA
IMPORTE DEL PRÉSTAMO	9.701.980,31€	10.864.203,45 €
PLAZO TOTAL DEL PRÉSTAMO	5 años (60 meses)	3 años (36 meses)
TIPO DE INTERÉS ANUAL	5% (fijo)	5%
PERÍODO DE CARENCIA	3 años (solo intereses)	2 años
AMORTIZACIÓN DEL CAPITAL (amortización lineal)	2 años	2 años

De esta forma, y analizando los costes financieros puedo observarse lo siguiente en relación al cálculo de costes financieros:

Hormigón (9.701.980,31€ a 5 años):

Etapa 1 Carencia (años 1 a 3):

Solo se pagan intereses:



ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR
DE INGENIERÍA DE MONTES,
FORESTAL Y DEL MEDIO NATURAL



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID

ALUMNOS: _____

JAIME ANDRÉS SIMÓN
BASSAM AZIZ
ANTONIO MANUEL FRONTADO

TRABAJO FIN DE MÁSTER CONSTRUCCIÓN CON MADERA - CURSO ACADÉMICO
2024-25

REDISEÑO DE EDIFICIO 6X6

40

Intereses por año = $9.701.980,31 \text{ €} \times 5\% = 485.099,05 \text{ €}$

Intereses en 3 años = $485.099,05 \text{ €} \times 3 = 1.455.297,05 \text{ €}$

Etapa 2 Amortización (Años 4 y 5)

Amortización lineal → Capital amortizado por año = $9.701.980,31 / 2 = 4.850.990,16 \text{ €}$

- **Año 4:**

- Capital pendiente inicio: $9.701.980,31 \text{ €}$
- Interés = $9.701.980,31 \times 5\% = 485.099,02 \text{ €}$

- **Año 5:**

- Capital pendiente inicio: $4.850.990,16 \text{ €}$
- Interés = $4.850.990,16 \times 5\% = 242.549,51 \text{ €}$

Intereses en años 4 y 5 = $485.099,02 \text{ €} + 242.549,51 \text{ €} = 727.648,52 \text{ €}$

Total intereses estimados: 2.182.945,57 €



ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR
DE INGENIERÍA DE MONTES,
FORESTAL Y DEL MEDIO NATURAL



ALUMNOS: _____

JAIME ANDRÉS SIMÓN
BASSAM AZIZ
ANTONIO MANUEL FRONTADO

TRABAJO FIN DE MÁSTER CONSTRUCCIÓN CON MADERA - CURSO ACADÉMICO
2024-25

REDISEÑO DE EDIFICIO 6X6

41

Madera (10.864.203,45 € a 3 años)

Etapa 1 Carencia (años 1 y 2):

Solo se pagan intereses:

- Intereses anuales: $10.864.203,45 \text{ €} \times 5\% = 543.210,17 \text{ €}$
- Intereses en 2 años = $543.210,17 \text{ €} \times 2 = 1.086.420,35 \text{ €}$

Etapa 2 amortización (Año 3)

- Capital pendiente inicio: 10.864.203,45 €
- Interés = $10.864.203,45 \text{ €} \times 5\% = 543.210,17 \text{ €}$
- Amortización de capital: 10.864.203,45 € (pago íntegro al final del año)

Total intereses estimados: 1.629.630,52 €

18.3. Comparativa financiera: construcción en hormigón vs. madera

La elección del sistema estructural (hormigón o madera) no solo influye en los costes directos de construcción, sino también en la **estructura financiera** del proyecto. A continuación, se presenta una comparativa considerando el importe a financiar, los plazos de carencia y amortización, así como los intereses totales:

Concepto	Hormigón	Madera
Importe a financiar	9.701.980,31 €	10.864.203,45 €
Plazo total de financiación	5 años	3 años
Carencia (solo intereses)	3 años	2 años
Amortización de capital	Lineal en 2 años (años 4 y 5)	Pago íntegro en 1 año (año 3)
Intereses en carencia	1.455.297,05 €	1.086.420,35 €
Intereses en amortización	727.648,52 €	543.210,17 €
Intereses totales	2.182.945,57 €	1.629.630,52 €
Diferencia en intereses	–	–553.315,05 € (ahorro)

Aunque la construcción en **madera** exige un importe inicial a financiar superior ($\approx 1,16 \text{ M€}$



ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR
DE INGENIERÍA DE MONTES,
FORESTAL Y DEL MEDIO NATURAL



CONSTRUCCIÓN CON MADERA
GRUPO DE INVESTIGACIÓN
UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID

ALUMNOS: _____

JAIME ANDRÉS SIMÓN
BASSAM AZIZ
ANTONIO MANUEL FRONTADO

TRABAJO FIN DE MÁSTER CONSTRUCCIÓN CON MADERA - CURSO ACADÉMICO
2024-25

REDISEÑO DE EDIFICIO 6X6

42

más que el hormigón), el **menor plazo de ejecución y financiación** permite reducir de manera significativa los **costes financieros**, generando un **ahorro de más de 550.000 € en intereses** respecto a la opción en hormigón.

Este efecto, unido al adelanto de la puesta en explotación del inmueble (venta, alquiler o uso comercial), refuerza la viabilidad y rentabilidad de la opción en madera desde una perspectiva financiera global.

19. CONCLUSIÓN.

Con la documentación desarrollada en la presente memoria, el lector dispone de una visión completa y rigurosa de las obras e instalaciones que conforman el proyecto. El trabajo se acompaña de planos, cálculos estructurales, pliego de condiciones, mediciones y presupuesto, lo que permite disponer de toda la información necesaria para su comprensión y eventual ejecución.

El proyecto se presenta ante el **Tribunal del Máster** para su valoración y aprobación, en el marco de los objetivos académicos propuestos. Los autores quedan a disposición del tribunal para atender cuantas aclaraciones, ampliaciones o consultas se consideren oportunas respecto a cualquiera de los aspectos técnicos o constructivos abordados en este trabajo.

Madrid 11 de septiembre de 2025.

Fdo.- Jaime Andrés Simón

Fdo.- Bassam Aziz

Fdo.- Antonio Manuel Frontado Acuaviva



ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR
DE INGENIERÍA DE MONTES,
FORESTAL Y DEL MEDIO NATURAL



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID

ALUMNOS: _____

JAIME ANDRÉS SIMÓN
BASSAM AZIZ
ANTONIO MANUEL FRONTADO

TRABAJO FIN DE MÁSTER CONSTRUCCIÓN CON MADERA - CURSO ACADÉMICO
2024-25

REDISEÑO DE EDIFICIO 6X6

43

20. Anexos.

- a. Documento 1.- PLIEGO DE CONDICIONES**
- b. Documento 2.- PLANOS**
- c. Documento 3.- UNIONES**
- d. Documento 4.- MEDICIONES Y PRESUPUESTO**
- e. Documento 5.- MODELO DE CÁLCULO GLOBAL DEL EDIFICIO.**
- f. Documento 6.- MODELO DE CÁLCULO DE FORJADO ENTRAMADO.**
- g. Documento 7.- INFORME DE JUSTIFICACIÓN DE EFICIENCIA ENERGÉTICA**
- h. Documento 8.- INFORME DE JUSTIFICACIÓN ACÚSTICA**
- i. Documento 9.- ELEMENTOS CONSTRUCTIVOS**