

Edificación residencial de media altura con madera en España
Estrategias de diseño estructural



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID



ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE ARQUITECTURA



TRABAJO FIN DE GRADO

Carmen Urbón de la Puebla

*Edificación residencial de media altura con madera en España.
Estrategias de diseño estructural*

EDIFICACIÓN RESIDENCIAL DE MEDIA ALTURA CON MADERA EN ESPAÑA.
ESTRATEGIAS DE DISEÑO ESTRUCTURAL

Estudiante

Carmen Urbón de la Puebla

Tutor

Antonio José Lara Bocanegra
Departamento de Estructuras y Física de la Edificación

Aula TFG 5

María Barbero Liñán, *coordinador/a*
José Antonio Flores Soto, *adjunto/a*

Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Madrid
Universidad Politécnica de Madrid

Índice

RESUMEN

INTRODUCCIÓN

OBJETIVO

1. MÉTODO

1.1 Categorización

1.1.1 Productos

1.1.2 Sistemas estructurales

1.1.2.1 Sistema de transmisión de cargas verticales

1.1.2.2 Sistema de estabilización frente a cargas horizontales

1.1.2.3 Sistema de forjados

1.1.3 Organización en planta

1.1.4 Balcones

1.1.5 Estrategias de protección frente a incendios

1.2 Bases de datos consultadas

2. CASOS DE ESTUDIO

2.1 Casos en España

2.2 Casos seleccionados

3. ANÁLISIS DE RESULTADOS

3.1 Características generales de proyecto y obra

3.2 Productos

3.3 Sistemas estructurales

3.4 Organización en planta

3.5 Balcones

3.6 Estrategias de protección frente a incendios

CONCLUSIONES

ANEJO: FICHAS RESUMEN DE CASOS DE ESTUDIO

FUENTES

Bibliografía y recursos digitales

Procedencia de las tablas y figuras

Resumen

Este trabajo analiza la situación actual en España de la edificación residencial de media altura con madera poniendo el foco de atención en las diferentes estrategias de diseño estructural.

En primer lugar, se establecen diferentes parámetros determinantes en el diseño estructural de edificios residenciales de media altura con madera a partir del análisis de la bibliografía de referencia. Estos son los productos empleados, el sistema de transmisión de cargas verticales, el sistema de estabilización frente a cargas horizontales, el sistema de forjados, la organización de los elementos portantes en planta, el sistema estructural utilizado en los balcones y las estrategias de protección frente a incendios. Para cada uno de estos parámetros se definen diferentes categorías, permitiendo una clasificación sistemática de los edificios seleccionados.

En segundo lugar, se identifican todos los casos existentes en España de al menos 4 plantas de altura, de los que se recopilan sus datos principales en relación a su ubicación, construcción y diseño estructural. A continuación, se seleccionan los casos de al menos 6 plantas, analizándose según los parámetros y categorías definidos. Adicionalmente, la información gráfica más relevante disponible de cada caso, relativa tanto a la arquitectura como a la estructura, es presentada de modo sintético y sistemático a través de fichas con el objetivo de facilitar su consulta.

Los resultados del análisis indican que los casos en España presentan características similares entre ellos en cuanto a productos, sistemas estructurales y estrategia frente a incendios, de lo que se establece que el país se encuentra en un periodo de afianzamiento de las técnicas de construcción de edificios residenciales de media altura con madera industrializada. Además, la mayoría de los casos se dan en las grandes ciudades, donde el empleo de la madera industrializada permite llevar a cabo la puesta en obra de manera rápida y limpia.

PALABRAS CLAVE

Vivienda · CLT · Sistemas · Categorización · Parámetros · GLT

Introducción

Respuesta a la demanda actual: construcción con madera

En los últimos años se han hecho evidentes problemas globales como la emisión de dióxido de carbono a la atmósfera o la necesidad de un mayor número de viviendas, sobre todo en las grandes ciudades. La construcción de edificios con estructura de madera es una solución capaz de dar respuesta a más de uno de los retos a los que nos enfrentamos hoy en día.

El sector de la construcción genera el 40% de las emisiones globales anuales de CO₂. El 13% provienen de los materiales y procesos constructivos, atribuyéndose al cemento el 8% (IEA, 2019). La manera más eficaz de reducir el impacto global es mediante el uso de materiales más ecológicos, entre los que destaca la madera.

En las últimas décadas, la disminución de la demanda energética de los edificios se ha planteado aumentando el ahorro energético de las instalaciones. No obstante, el cambio más significativo es plantear la estructura con productos de madera. La construcción con madera en vez de hormigón o acero podría ahorrar de media 40 toneladas de CO₂ por hogar (Berners-Lee, 2010). Durante el crecimiento de los árboles, el carbono es retenido. Pero su capacidad de almacenamiento no termina en ese momento, sino que, durante la vida útil del edificio, este material es

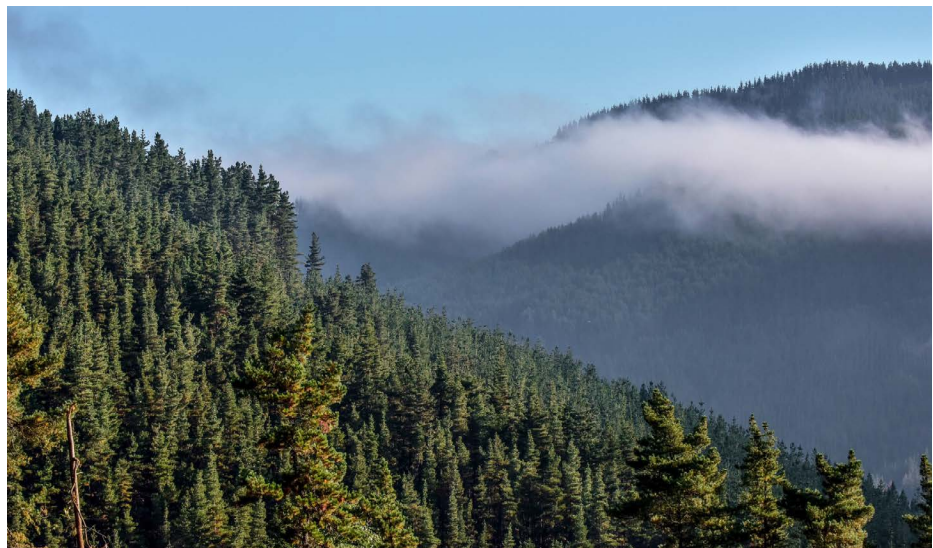


Fig. 01. Bosque de pino radiata en el País Vasco

capaz de absorber una tonelada de CO₂ por cada metro cúbico de madera (Van der Lugt, 2012). Además, la madera plantea menores emisiones que el hormigón o el acero a la hora de elaborar los productos para la construcción.

Otra de las grandes ventajas de este material es su capacidad para la industrialización. La prefabricación y la planificación previa consiguen reducir la duración de las obras de un bloque de viviendas de media altura en 13 semanas, ahorrando potencialmente ciento quince mil euros (Stora Enso, 2021), en comparación con un bloque de hormigón. Esto plantea una solución a la creciente demanda de vivienda en las ciudades, así como en escenarios de necesidad de vivienda temporal. Además, la construcción con madera resulta en menor cantidad de residuos de obra, siendo ya sólo en el proceso de puesta en obra, uno de los materiales más limpios. Mientras que la construcción de un edificio residencial de media altura con madera industrializada podría necesitar 23 camiones para el transporte de los materiales, el mismo edificio hecho con los materiales habituales necesitaría casi 10 veces más (Stora Enso, 2021). La industrialización trae consigo un aumento en la calidad y la precisión del montaje en obra, reduciendo la mano de obra necesaria, pero aumentando su calidad de trabajo.

Gracias a la eficiencia de la construcción con madera, esta solución se ve cada vez más en proyectos con poco tiempo de ejecución. Tampoco es inusual encontrar un alto nivel de industrialización en edificios como residencias. La repetitividad de módulos permite que estos vengán contruidos de fábrica, agilizando la puesta en obra, donde sólo habría que unirlos y conectar las instalaciones.

La madera es un material muy ligero. A pesar de los problemas de estabilidad que esto pueda generar, para edificios de media altura, la ligereza favorece a la cimentación, facilitando la colocación de estos edificios en diferentes terrenos, y necesitando menos masa, por lo que la cantidad de carbono emitida puede nuevamente reducirse.

Los edificios residenciales de madera cuentan con características propias del material que los convierten en unos de los mejores para ser habitados. La madera regula los niveles de humedad en el aire, absorbiendo y expulsando humedad según sea necesario. También es capaz de reducir los alérgenos y disminuye la cantidad de polvo. Además, es un aislante natural térmico y acústico. Junto a estas características, influye la percepción de los espacios en los que se deja ver el material, dando sensación de innovación, calma y concentración.

Junto a sus numerosas ventajas, existen una serie de factores no necesariamente perjudiciales, pero sí a tener en cuenta a la hora de diseñar edificios residenciales con este material. Entre ellas se



Fig. 02. Paneles prefabricados de madera contralaminada en la obra de Residencia en Azpilagaña

encuentra la necesidad de arriostrar las estructuras, debido a su ligereza, y especialmente cuanto mayor altura alcancen. La protección de las estructuras frente al fuego es un factor igualmente importante. La madera es un material que se autoprotege del fuego, ardiendo y perdiendo su grosor a una velocidad constante. No es cierto se comporte peor ante este fenómeno que otros materiales como el hormigón o el acero. De hecho, gracias al conocimiento de su comportamiento, es posible servirse de diversas estrategias a la hora de diseñar estructuras.

Posibilidad para la innovación: situación de la industria

Las características aquí mencionadas no han podido ser desarrolladas sin los avances tecnológicos de las últimas décadas en la industria de la madera. A pesar de que la construcción con este material existe desde antes que el acero o el hormigón, tan sólo ahora con el desarrollo de la tecnología necesaria, se está consiguiendo que la madera sea un digno competidor en el mercado de la edificación.



Fig. 03. La madera como material de construcción de refugios desde el inicio de la arquitectura

Esta nueva corriente surgió a finales del siglo pasado en países del norte de Europa y Norteamérica. La construcción de vivienda con madera se remonta al abandono de las cuevas, cuando se empezaron a construir chozas, que poco a poco buscaron crear espacios de mayores dimensiones, convirtiéndose en casas. Con el crecimiento de las ciudades, se comenzaron a construir edificios residenciales de mayor altura, con estructuras de madera, generalmente combinadas con otros materiales. Tras la revolución industrial y numerosos incendios en varias ciudades europeas y americanas, la construcción de edificios residenciales de madera dejó de ser tan habitual, para dar paso a nuevos materiales en los que había mayor confianza, como el acero. A pesar de esto, en países del norte de Europa y en Norteamérica se continuó con la construcción de viviendas unifamiliares, cabañas o casas de menor tamaño con madera. La cercanía a los bosques y facilidad de obtención de recursos en estos países han sido clave para que se mantengan las técnicas de construcción con entramado ligero o apilamiento de troncos de madera en este tipo de viviendas. Cuando con el boom de la tecnología la industria de la madera fue capaz de descubrir productos con los que construir edificios más grandes, no es de extrañar que estos países fueran pioneros.



Fig. 04. Viviendas sociales en Santa Cruz de Campezo, 2011. Primer edificio residencial de media altura con madera industrializada en España

En España, el primer edificio residencial de media altura con estructura de madera industrializada se completó en 2011. Hasta entonces, no es difícil encontrar construcciones de viviendas con estructuras de entramado de madera combinadas con otros materiales, como cemento o piedra. No obstante, no se encuentran ejemplos de estructuras hechas completamente de madera en edificios residenciales de media altura hasta el siglo XXI. La industria ha ido creciendo paulatinamente en el

país, hasta contar hoy en día con tres principales empresas de madera contralaminada.

Según el *Informe Mass Madera 2023-2024*, en España, la capacidad de producción de madera contralaminada es del 2,5% global, previéndose un incremento considerable en los próximos años. La producción se concentra principalmente en el norte del país. A pesar de que en 2022 el porcentaje de nuevas edificaciones realizadas en madera contralaminada fue inferior al 1%, las conclusiones sacadas en dicho informe establecen que el panorama español presenta un amplio potencial de desarrollo.



Fig. 05. Obtención de la materia prima en el País Vasco

Objetivo

El objetivo de este trabajo es analizar el estado actual de la construcción residencial de media altura con madera en España. Este análisis se desarrolla desde la perspectiva de las diferentes estrategias de diseño estructural.

En primer lugar, se establecen una serie de parámetros determinantes en el diseño estructural de edificios residenciales de media altura con madera. Para cada uno de ellos, se establece un criterio de clasificación compuesto por distintas categorías.

En segundo lugar, se identifican los casos existentes en España, y se lleva a cabo una selección de los más relevantes, de los que se obtiene información detallada. Esta información se presenta de forma sintética a través de fichas. Los casos de estudio se analizan en base a los parámetros y categorías definidas, con el fin de obtener una visión global de la situación en el país.

Finalmente, se extraen una serie de conclusiones, motivadas por los resultados del análisis realizado.

1 Método

1.1 Categorización

Con el objetivo de analizar y clasificar los casos de estudio, se establecen una serie de parámetros y categorías. Estos han sido elegidos durante la recopilación de casos, siendo el hecho de establecer estas categorías en sí una aportación de este trabajo.

Además de observando las características más interesantes estructuralmente en los casos coleccionados, se ha tenido en cuenta la clasificación que hacen importantes libros y artículos sobre el tema. Según (Salvadori, 2021) no existe una categorización oficial, sino que se dan tres corrientes:

1. Plataforma, poste y viga y modular; que da importancia al sistema estructural
2. Sistemas de paneles, de pórticos e híbridos; que recalca la existencia de sistemas híbridos
3. Un único material, composite o mixtos; que pone el interés en la relación entre materiales

En la tabla 1 se recopilan los parámetros y categorías que establecen los libros y artículos relevantes consultados. Tras el análisis de los mismos se decide establecer los siguientes parámetros en el presente trabajo:

- Productos
- Sistemas estructurales:
 - Transmisión de cargas verticales
 - Estabilización frente a esfuerzos horizontales
 - Sistemas de forjados
- Estrategias de protección frente incendios
- Sistema de balcones
- Organización en planta

A continuación, se definen las categorías estudiadas en cada uno de los parámetros establecidos.

1.1.1 Productos

Los principales productos para la construcción con madera son descritos a continuación, ordenados de menor a mayor nivel de industrialización:

	Manual of Multistorey Timber Construction	Tall Wood Buildings	Timber Typologies - Waugh Thistleton Architects	Advanced Timber Construction Industry: A review of 350 Multi-Storey Timber Projects from 2000-2021	Contemporary Strategies for the Structural Design of Multi-Story Modular Timber Buildings: A Comprehensive Review	The Development of a Tall Wood Building	Aplicación y Difusión de la Innovación para la Promoción de la Construcción en Altura con Madera en el Espacio SUDO E
Parámetros	Kaufmann et al., 2018	Green y Taggart, 2017	Waugh Thistleton Architects, 2023	Svatoš-Ražnjević et al., 2022	Tenório et al., 2024	Salvadori, 2017	Basterra et al., 2022
Productos		Madera laminada encolada, madera microlaminada, madera laminada de virutas, madera de chapas paralelas, madera contralaminada, madera laminada con clavos				Vigas de GLT, vigas de GLT y acero, columnas de GLT, columnas de GLT y acero; forjado de madera maciza, forjado de madera maciza y hormigón	Madera laminada encolada, madera contralaminada, tableros contrachapados, madera laminada de virutas y madera de chapas paralelas, otros
Sistema de transmisión de cargas verticales	Unidimensional, bidimensional, tridimensional	Sistemas de paneles, sistemas de pórticos, sistemas híbridos	Entramado ligero, módulos volumétricos, paneles de madera maciza, pilar y viga, sistemas híbridos	Pórticos, muros de carga, módulos volumétricos, combinación	Estructuras de pórticos 1D, muros de carga 2D, módulos volumétricos 3D, sistemas híbridos	Sistema de paneles, pilares y vigas, híbrido	Entramado pesado, entramado ligero, madera en masa (CLT), sistemas combinados, sistemas mixtos
Sistema de arriostramiento	Panel de madera, cruces a tracción, elementos rígidos para tracción y compresión, madera contralaminada, hormigón armado				Sistemas de marco rígido, con núcleo, con muros de arriostramiento, con marco de arriostramiento, con mega núcleos, con mega columnas	Fachada rígida, muros de arriostramiento, podio de hormigón	Pantallas de CLT, pantallas de hormigón, cruces de madera, cruces de acero, cruces de madera y acero, mixto
Sistema de forjados			Perfiles de entramado ligero, madera laminada encolada, madera contralaminada, madera microlaminada			Forjado de madera maciza, forjado de madera maciza y hormigón	Forjados de hormigón armado, paneles de CLT o vigas y viguetas, vigas y viguetas con solera de hormigón
Distribución en planta				Malla, ejes paralelos, basados en malla, radial, irregular	Malla, composición lineal, irregular		
Núcleo					Central, central dividido, atrio central, atrio central dividido, externo unido, externo separado, externo parcialmente quebrado, parcialmente periférico, periférico parcialmente quebrado, periférico completamente quebrado	De hormigón, de madera maciza	
Volumetría				Extrusiones, extrusiones con variación de altura, variaciones en planta	Regular, incremento de alturas, variaciones de forjados		
Circulaciones				En malla, lineares, centralizadas, radiales, combinación			
Modularidad					Apilamiento de módulos, unión a un exoesqueleto, unión al núcleo rígido		
Estrategia frente al fuego		Cubrición al completo, cubrición parcial, construcción sin cubrición	Cubrición al completo, exposición			Madera expuesta, cobertura de cartón-yeso, rociadores	
Fachada						De madera, de material no combustible, doble envolvente de vidrio, con balcones o galerías	

Tabla 1. Resumen de los parámetros y categorías propuestos en la bibliografía consultada

- *Madera en rollo.*

Consiste en el resultado de desramar y descortezar el tronco de un árbol, siendo el resultado un perfil circular. Sus dimensiones varían de sección a sección, siendo lo habitual unos 120 mm de diámetro. Lo más habitual son longitudes de 14 m, siendo posible así su transporte en camiones. Se emplea habitualmente en viguetas y pares en construcciones rurales.



Fig. 06. Madera aserrada en construcción tradicional en la Sierra de Francia, Salamanca

- *Madera aserrada.*

Surge del aserrado de un tronco en perfiles rectangulares, de manera que su sección y longitud quedan limitadas por las dimensiones del tronco. Se pueden encontrar en vigas y viguetas, pares y armaduras de cubiertas, o como componentes de entramado ligero o pesado. Un perfil puede ser de alrededor de 200 x 300 mm², y su longitud de unos 6 m. La resistencia característica a flexión ronda los 24 N/mm², para especies de coníferas.

- *Madera empalmada o con uniones dentadas (Konstruktionsvollholz, KVH®).*

Son perfiles de madera aserrada unidos mediante uniones dentadas en las que se aplica un adhesivo. Con estas uniones, se consigue aumentar la longitud de los perfiles hasta casi tres veces más. Se emplean para los mismos usos que la madera aserrada, cuando se necesitan longitudes mayores, siendo sus propiedades las mismas. En este caso, los perfiles tienen medidas estandarizadas, a diferencia de en la madera aserrada.

- *Madera maciza encolada*

Surgen del encolado de dos a cinco láminas de madera aserrada de entre 45 y 85 mm, siendo lo habitual dos láminas (dúos) o tres (tríos).

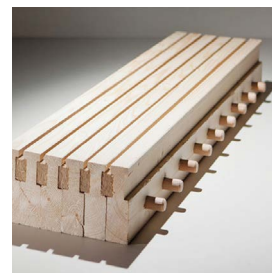
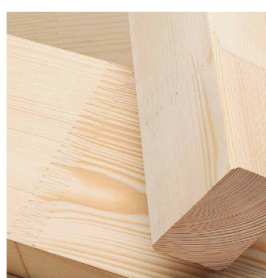


Fig. 07. Productos de madera: madera en rollo, aserrada, empalmada, maciza encolada, GLT, CLT, LVL, DLT.

Estas láminas se colocan en la dirección paralela al su eje, y la sección transversal de los perfiles no debe ser mayor de 280 mm. Se emplea para vigas y viguetas con mayores luces a las de la madera aserrada, mientras que para longitudes cortas y medianas se le da el mismo uso.

- *Madera laminada encolada (glued laminated timber, glulam, GLT)*

Al igual que la madera maciza encolada, surge del encolado de láminas colocadas en dirección paralela al eje de las fibras. No obstante, en este caso estas láminas tienen un espesor de entre 6 y 45 mm. Se emplean para luces medias y grandes, pudiéndose dar desde los 8 hasta los 40 m aproximadamente. Las dimensiones no están normalizadas, y en ocasiones se colocan dos láminas contiguas para conseguir mayores anchos. El canto puede llegar a ser alrededor de 2400 mm y pueden realizarse perfiles curvos o de sección variable.



Fig. 08. Estructura de GLT en Mjøstårnet, Noruega

- *Madera laminada mecánicamente mediante pasadores de madera (dowel laminated timber, DLT)*

Este caso surge de la unión de perfiles de madera, aunque sin la necesidad de utilizar adhesivos. Esto se consigue empleando pasadores o espigas de madera que se pueden colocar en perpendicular a las láminas o con cierta inclinación. Las láminas o perfiles que constituyen el conjunto del sistema pueden tomar diferentes secciones y maneras de unirse unas a otras. Es una solución no normalizada en la que cada empresa propone soluciones según la finalidad adoptada. Generalmente se emplea para paneles de muros o forjados, y pueden realizarse formas curvas.

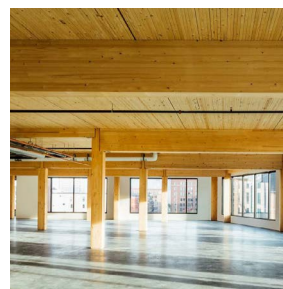


Fig. 09. DLT en T3 Minneapolis Office Building

- *Madera contralaminada (cross laminated timber, CLT)*

Se consigue con la unión de tres o más láminas de madera de entre 6 y 45 mm de espesor, siendo siempre un número impar, y componiéndolas de manera que cada una esté perpendicularmente sobre la anterior. Esto proporciona rigidez y resistencia en ambas direcciones, por lo que pueden emplearse en muros y forjados. También pueden emplearse junto a otros materiales, como el hormigón, como en el caso de forjados compuestos. El canto varía entre los 60 y 280 mm y se pueden conseguir dimensiones de panel de 2,5 x 13,5 m, donde la limitación se encuentra en su transporte y fabricación. Una de sus principales ventajas es que permite la construcción de módulos prefabricados en fábrica que son después transportados a la obra, y que agilizan el tiempo de montaje, como son bloques de escaleras o habitaciones.



Fig. 10. CLT en «Kiterasu», Maniwa, Japón

- *Madera microlaminada (laminated veneer lumber, LVL)*

Se trata de perfiles o tableros fabricados a partir del encolado de chapas de madera. Estas se colocan en el sentido de las fibras, aunque en ocasiones se alternan con alguna chapa colocada perpendicularmente. El espesor de las mismas es habitualmente de 2 o 3 mm, y de máximo 6 mm. Esta técnica

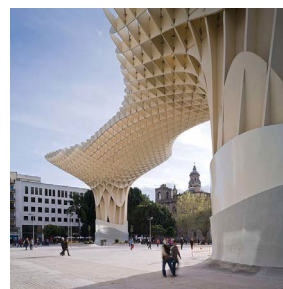


Fig. 11. Metro Parasol, Sevilla. Hecho con LVL

permite incrementar la resistencia a flexión, consiguiendo resistencias características de los 45 a los 80 N/mm², según el fabricante. Gracias a la gran resistencia, la madera microlaminada se emplea habitualmente en vigas y viguetas, celosías, o elementos compuestos y refuerzos. Las dimensiones varían según el fabricante.

1.1.2 Sistemas estructurales

A partir del estudio de la clasificación de los sistemas estructurales en los distintos documentos consultados, se proponen los parámetros y las categorías que se consideran más adecuadas para la realización de este trabajo.

Para analizar el sistema estructural, se opta por dividirlo en tres partes:

- El sistema de transmisión de cargas verticales
- El sistema de estabilización frente a cargas horizontales
- El sistema de forjados

Cada una de estas partes se toma como un parámetro, con sus respectivas categorías, tal y como se detalla a continuación.

1.1.2.1 Sistema de transmisión de cargas verticales

Los sistemas de transmisión de cargas verticales son los siguientes:

- *Entramado ligero*

En él, varios perfiles de madera aserrada, o creados a partir de esta, constituyen un marco que se rigidiza mediante un tablero de madera en una de sus caras. Existen dos alternativas en este sistema: el platform system, en el que cada forjado apoya sobre la estructura de muros inferior, interrumpiendo la continuidad; y el balloon frame system, en

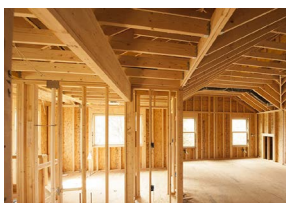


Fig. 12. Construcción de una vivienda con entramado ligero

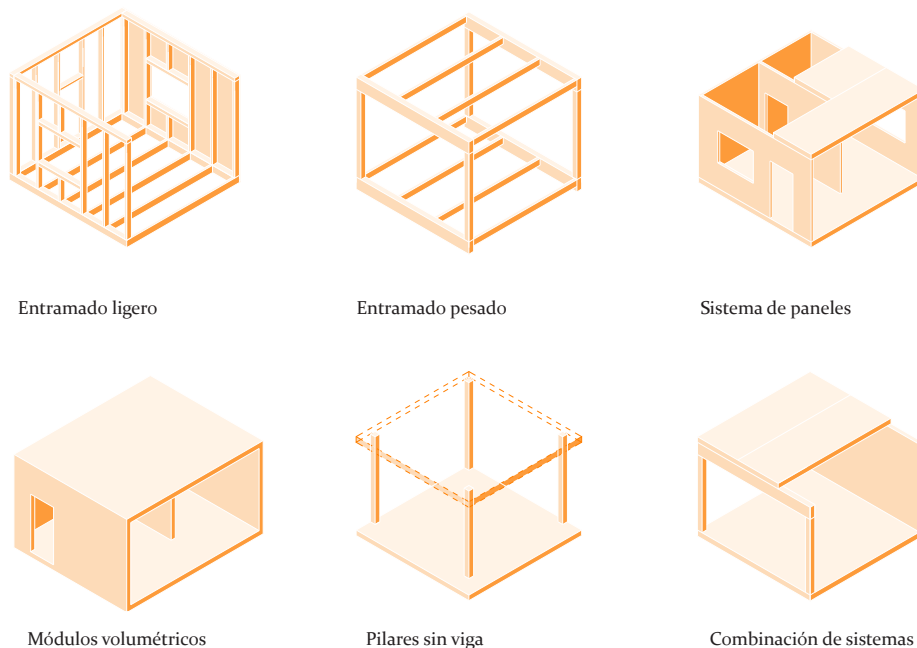


Fig. 13. Sistemas de transmisión de cargas verticales

el que la estructura vertical de paneles es continua y los forjados no interrumpen la continuidad de estos. Este sistema se da principalmente en construcciones de menor altura, como viviendas unifamiliares, debido a la ligereza de la estructura. Además, permite la prefabricación de módulos bidireccionales.

- *Entramado pesado*

Se considera entramado pesado a las estructuras de madera conformadas por pórticos de pilares y vigas. Los forjados pueden estar hechos de paneles que apoyan directamente sobre las vigas, o pueden darse viguetas o plataformas nervadas. Los materiales más comúnmente empleados en este sistema son la madera laminada encolada o la microlaminada, ya que permiten cubrir amplias luces, siendo las más rentables en cuanto a coste y material las de 6 m (Waugh Thisleton Architects, 2023). Resultan de interés las uniones entre pilares y vigas, que se resuelven generalmente mediante elementos metálicos. Este sistema permite tener una planta abierta, en la que la distribución espacial puede ser variada, por lo que es común encontrar diferentes usos. A diferencia de en el entramado ligero, el pesado constituye únicamente la estructura, y la fachada es un elemento independiente que se anexiona a ella. Este sistema no permite la estabilización frente a cargas horizontales por sí mismo, por lo que es necesario contar con un sistema de arriostramiento.

- *Sistema de paneles*

Este sistema permite agilizar la puesta en obra mediante la prefabricación de los paneles que componen la estructura, que pueden ser tanto de fachada como de forjado. Lo más habitual es que se empleen paneles de CLT, utilizándose las propiedades mecánicas de este material en ambas direcciones. Esto permite que los propios paneles sirvan tanto para soportar cargas gravitatorias como cargas horizontales, no necesitando, en principio, un sistema de arriostramiento adicional. A pesar de las ventajas que este sistema proporciona, existen limitaciones a tener en cuenta a la hora del diseño. Entre ellas se encuentra el tamaño de los paneles, limitado a las dimensiones del medio de transporte o, a la hora del cálculo estructural, el dimensionado de los paneles para resistir las cargas a las que se ve sometido al ser alzado en la grúa.

- *Sistema de módulos volumétricos*

Constituidos por paneles de entramado ligero o paneles CLT ensamblados en fábrica, creando módulos o estancias volumétricos que facilitan la obra in situ. Estos módulos pueden incluir instalaciones desde su fabricación, y lo habitual es que al llegar a la obra sólo haya que conectar las instalaciones a las del edificio y colocar la fachada. Este sistema es conveniente para edificios como residencias y hoteles, en los que hay repetitividad en las habitaciones.



Fig. 14. Edificio Wittywood, Barcelona, con estructura de entramado pesado



Fig. 15. Sistema de paneles en Dalston Works, Londres



Fig. 16. Construcción del Hotel Jakarta, en Ámsterdam, con módulos volumétricos prefabricados

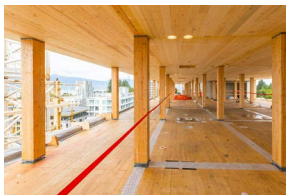


Fig. 17. Sistema sin vigas en Brock Commons, Vancouver

- Sistema de pilares sin vigas

En este sistema, se emplean paneles de forjado que apoyan directamente en los pilares, sin vigas entre ellos. Al no emplear vigas entre ambos elementos, el tablero se ve sometido a elevadas cargas puntuales, por lo que este sistema se emplea para luces pequeñas. No obstante, la amplitud de las luces puede depender del sistema de unión, normalmente mediante anclajes metálicos, como los sistemas «Spider» o «Pillar» de Rothoblaas. Este es un sistema aún poco expandido, del que apenas existen ejemplos.

- Combinación de sistemas

La combinación de elementos de los sistemas aquí descritos es hoy en día una de las prácticas más habituales. Además de permitir sacar provecho a las mejores características de cada sistema o material, combinar permite aportar soluciones novedosas e interesantes arquitectónicamente.



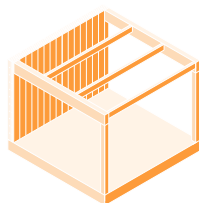
Fig. 18. Combinación de sistemas en Royd Clan's House, Victoria, Australia

1.1.2.2 Sistema de estabilización frente a cargas horizontales

En cuanto a los sistemas de estabilización frente a cargas horizontales se establecen las siguientes categorías:

- Pantallas de CLT

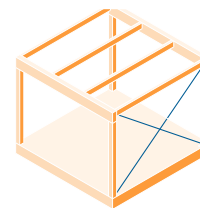
Se emplea la bidireccionalidad de los paneles de CLT para soportar tanto los esfuerzos de cargas verticales como horizontales. Normalmente se da en edificios con trama ortogonal, siendo los propios muros de carga en ambas direcciones los que soportan también los esfuerzos horizontales.



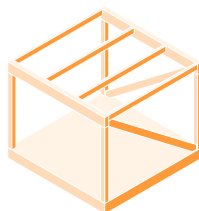
Pantallas de CLT



Pantallas de hormigón



Elementos a tracción



Elementos rígidos diagonales



Núcleo rígido de madera



Núcleo rígido de hormigón

Fig. 19. Sistemas de estabilización frente a cargas horizontales

- *Pantallas de hormigón*

Al igual que con pantallas de CLT, se puede dar el arriostramiento mediante pantallas de hormigón. Es habitual que no se empleen más de un par de pantallas de este material, ya que estas sirven principalmente como arriostramiento y el objetivo es que el resto del edificio sea de madera.



Fig. 20. Diagonales de madera en International House Sydney

- *Elementos a tracción*

Perfiles o cables de acero que trabajan a tracción, dispuestos normalmente en forma de cruces de San Andrés en recuadros verticales.

- *Elementos rígidos diagonales*

Se refiere a diagonales, cruces o triangulaciones hechas de elementos lineales de madera.

- *Núcleo rígido de madera*

Disposición de pantallas de madera formando un volumen que actúa como núcleo, generalmente de ascensor o escaleras. Es habitual que sea prefabricado, facilitando así su puesta en obra.



Fig. 21. Núcleos de hormigón en Brock Commons, Vancouver

- *Núcleo rígido de hormigón*

Este núcleo también puede estar hecho de pantallas de hormigón, e igualmente, es habitual que se trate del núcleo de comunicación del edificio.

- *Marco rígido*

En sistemas de módulos volumétricos, marco en el que se colocan los módulos y que estabiliza frente a cargas horizontales.

1.1.2.3 Sistema de forjados

Para los sistemas de forjados, las categorías son las siguientes:

- *Forjados de vigueta y tablero o entramado ligero*

Se colocan viguetas que apoyan sobre las vigas o paneles verticales, entre las que se coloca el aislamiento. Sobre ellas, algún tipo de tablero derivado de la madera, como el de virutas orientadas o el contrachapado.

- *Paneles de CLT*

Los paneles de CLT pueden colocarse actuando a flexión como forjados gracias a su bidireccionalidad. De esta manera, se puede conseguir estructuras en las que el único producto de madera empleado sea el CLT, dando lugar a la industrialización del edificio y facilitando el proceso de montaje.



Fig. 22. Forjado nervado del fabricante Stora Enso

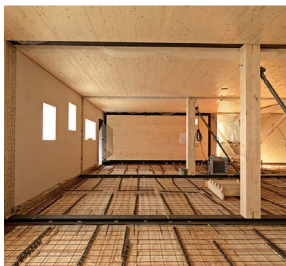


Fig. 23. Construcción de forjado de madera y hormigón en edificio residencial y de oficinas en Berlín

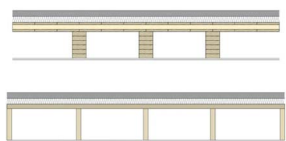


Fig. 24. Soluciones de forjado mixto nervado con CLT o LVL. Sylva Kit, Stora Enso.

- Forjados nervados o aligerados

En ellos, los paneles no tienen todo el espesor macizo, sino que vienen aligerados o nervados de fábrica, con perfiles lineales en la cara inferior y un tablero en la superior. También pueden ser forjados en cajón con tableros en ambas caras. En los huecos puede colocarse el aislamiento o las instalaciones.

- Forjados mixtos de CLT y hormigón

La combinación de los materiales da lugar a grandes resistencias. Se constituyen de un panel inferior de CLT sobre el que se coloca la armadura y se vierte el hormigón, de clase mínima C25 o C30 y con un grosor mínimo de 5 cm. Ambos materiales trabajan de modo solidario debido a la colocación de conectores.

- Forjados mixtos nervados

Es una solución similar a la anterior, pero con un tablero nervado que permite que, aunque la sección del forjado aumente, el peso se mantenga.

1.1.3 Organización en planta

La clasificación según la ordenación en planta se refiere a la disposición de los muros de carga o pilares y particiones portantes. El esquema estructural en planta va estrechamente ligado al uso del edificio o estancia, determinando el programa las luces que serán necesarias y, por lo tanto, los productos de madera que más conviene emplear. Se distinguen cinco categorías en el sistema de ordenación, siguiendo lo propuesto en *Advanced Timber Construction Industry: A Review of 350 Multi-Storey Timber Projects from 2000–2021* (Svatoš-Ražnjevic, 2022):

- Malla

Los muros de carga o elementos de transmisión de fuerzas verticales se sitúan creando ejes en dos direcciones ortogonales entre sí. Las distancias entre los ejes paralelos son similares o se dan simetrías obvias. Si se trata de muros de CLT, ellos mismos estabilizan el edificio frente a cargas horizontales. Existen edificios que superponen varias mallas, apostando por el interés arquitectónico en la complejidad compositiva.



Fig. 25. Organización en malla en Brock Commons, Vancouver

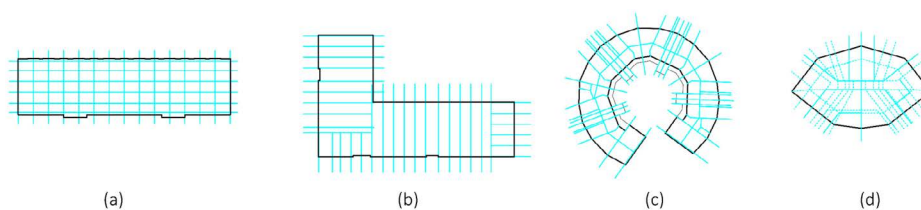


Fig. 26. Clasificación según Svatoš-Ražnjevic, 2022 «Ordering system classification: (a) grid; (b) grid-based and linear array; (c) linear; (d) irregular»

Ejes paralelos

Los elementos de transmisión de cargas se dan en ejes paralelos entre sí. La estabilización del edificio no es posible únicamente mediante la estructura vertical de transmisión de cargas gravitatorias, por lo que es necesario recurrir a una de las estrategias vistas previamente. El forjado es paralelo a la fachada más larga, apoyando sobre los ejes, que atraviesan el edificio transversalmente. Pueden darse casos en los que los ejes sigan direcciones diferentes en distintas zonas.

- Radiales

Todos o la mayoría de los ejes concurren en un punto imaginario en el centro del edificio, dándose habitualmente las comunicaciones o distribuciones desde este atrio interior. Las luces son mayores en las zonas más externas del edificio.

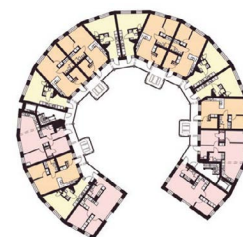


Fig. 27. Organización radial en Valla Berså, Linköping, Suecia

- Irregulares

La organización en planta no sigue una trama clara, sino que se adapta al programa previsto con total libertad. Puede basarse en las otras categorías, pero no cumple al estrictamente las características de ninguna de ellas.

1.1.4 Balcones

Muchos edificios residenciales tienen balcones o pequeñas zonas exteriores. Es interesante el estudio estructural de estos debido a las diferencias que se pueden presentar entre las soluciones adoptadas.

- Forjado en continuidad

Esta solución consiste en prolongar el forjado más allá de la fachada, creando generalmente un voladizo. No obstante, es posible encontrar soluciones que mediante diagonales apoyen en el forjado inferior.

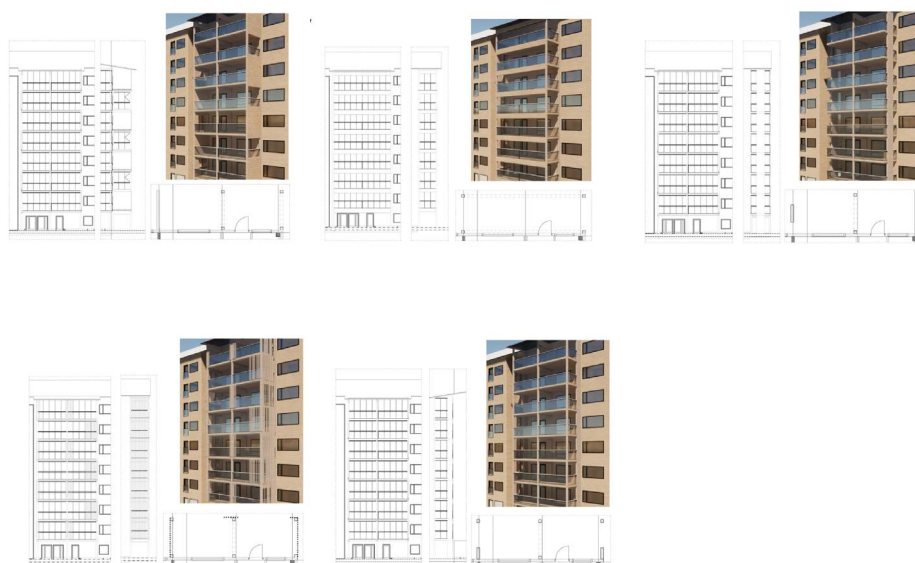


Fig. 28. Varias soluciones para balcones, propuestas por Stora Enso: pilares y panel a un lado, pilares sólo en extremos, pilares en el centro y paneles a los lados, pilares en extremos y centro, pilares y pequeños paneles

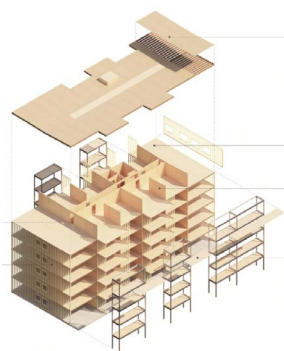


Fig. 29. Balcón estantería, propuesto por Stora Enso

- Estructura exenta y adyacente

La estructura de los balcones es independiente de la del edificio. Se crea un paquete de forjados y pilares esbelto que se anexiona a la estructura del edificio. Esta estrategia rompe la continuidad del forjado, evitando los puentes térmicos balcón-vivienda. Además, facilita los procesos de industrialización, ya que esta estructura adicional puede ser construida en fábrica casi en su totalidad, y puede incorporarse más adelante en el proyecto o puesta en obra.

- Otras soluciones

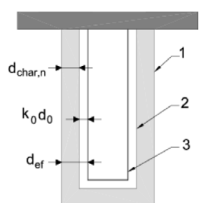
Pueden darse otras soluciones de menor interés. Por ejemplo, estructuras menores de otros materiales en voladizo sobre la estructura de madera, o forjados en continuidad que no son voladizo, sino que apoyan en el suelo, ya sea mediante elementos de madera u otros materiales.

1.1.5 Estrategias de protección frente a incendios

Las diferentes estrategias que se pueden tomar son las siguientes:

- Aumentar la sección

Añadir más sección a los productos de madera que vayan a ser expuestos al fuego es una práctica habitual. Gracias a la predictibilidad de la madera, se conoce el ritmo con el que arde, y se dimensionan los elementos aportando la sección necesaria que arderá durante el tiempo de evacuación del edificio, asegurándose así de que la estructura no pierde sus capacidades mecánicas mientras queden personas en el interior.



1 Superficie inicial del elemento
2 Límite de la sección residual
3 Límite de la sección eficaz

Fig. 30. Figura E.1 en DB SI. Cálculo según tiempo de carbonización

- Cubrir con otros elementos

Se protege la estructura mediante el revestimiento de un material con mejores prestaciones frente al fuego, habitualmente paneles de cartón-yeso. También pueden emplearse otros materiales como tableros de fibrocemento, tiras y planchas intumescentes o distintos tipos de fibras.

- Rociadores

La colocación de rociadores es una estrategia que aborda el problema desde su raíz, extinguiendo el fuego en vez de proteger la estructura. Esta estrategia permite disminuir la exigencia de resistencia al fuego de la estructura en algunos países, pero no está contemplada en el *Documento Básico de Seguridad en Caso de Incendio del Código Técnico Estructural*.

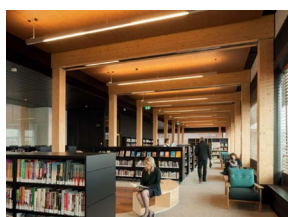


Fig. 31. Biblioteca en el Muelle, Melbourne. Se combina la estrategia de aumentar la sección de los elementos de madera con rociadores

1.2 Bases de datos consultadas

El listado de edificios estudiados se ha elaborado a partir de varias fuentes de ámbito nacional, entre las que destacan:

- El *Informe Mass Madera 2023-2024* (Bugarin et al., 2024), en el que se enumeran más de quinientos edificios construidos con madera en España, de diferentes usos y alturas.
- El informe *Aplicación y difusión de la innovación para la promoción de la construcción en altura con madera en el espacio Sudoeste. Identificación y análisis*. (Basterra et al., 2022.), en el que se identifican 100 edificios de madera alrededor del mundo, con numerosos casos en la región del suroeste de Europa.
- El «Mapa Colaborativo Interactivo» publicado en la web de Toca Madera, que recoge proyectos de construcción con madera de cualquier tipo y lugar del mundo, publicados por las personas interesadas.

Además de los procedentes de estas fuentes, se han encontrado edificios y proyectos más recientes siguiendo noticias y fuentes de información relacionadas con el ámbito.



Fig. 32. «Mapa Colaborativo Interactivo» de Toca Madera

2 Casos de estudio

2.1 Casos en España

A partir de las bases de datos consultadas, se ha llevado a cabo una recopilación de la edificación residencial de media altura con madera en España. Para ello, se ha recurrido a una serie de condiciones a cumplir.

En primer lugar, los edificios deben emplear madera como parte de su estructura. Se permite en la selección casos en los que se empleen otros materiales en la estructura, como hormigón o acero, siempre y cuando la mayoría de esta esté hecha con madera.

Además, los edificios deberán contar con 4 o más plantas, es decir, planta baja y tres plantas de piso como mínimo. De esta manera, se evita elegir pequeñas viviendas unifamiliares aisladas o similares, ya que el objetivo de este trabajo es centrarse en la edificación de media altura. En *Worldwide Structural Survey of 197 Multi-Storey Timber-Based Buildings From 5 to 24 Storeys* (Salvadori, 2021), se establece el número de plantas para edificios de media altura entre cinco y ocho. Debido a la limitada existencia de casos en España y su naturaleza (sus características son las propias de edificaciones de media altura), se ha optado por considerar un rango más amplio para el desarrollo de este trabajo.

Finalmente, se seleccionan aquellos construidos en los últimos 15 años, para poder establecer la situación actual en el país.

Los casos obtenidos se muestran en la siguiente imagen y la información recopilada sobre las características más relevantes en la correspondiente tabla.

1. RESIDENCIA EN AZPILAGAÑA
(Pamplona, en construcción. 10 plantas)
2. TERRAZAS PARA LA VIDA
(Barcelona, en construcción. 9 plantas)
3. RESIDENCIA CIRERERS
(Barcelona, 2011. 8 plantas)
4. COMUNIDAD HABITACIONAL EN GLÒRIES
(Barcelona, en construcción. 8 plantas)
5. LA BORDA
(Barcelona, 2018. 7 plantas)
6. 21 VIVIENDAS DE PROTECCIÓN OFICIAL
(Sabadell, 2022. 7 plantas)
7. APARTAMENTOS EN CAVALLERS
(Lérida, 2013. 6 plantas)
8. ARV8
(Madrid, 2019. 6 plantas)
9. BLOQUE 6X6
(Gerona, 2021. 6 plantas)
10. LA BALMA
(Barcelona, 2021. 6 plantas)
11. 85 VIVIENDAS SOCIALES
(Cornellà, 2021. 6 plantas)
12. TALCO COHOUSING
(Madrid, 2023. 6 plantas)
13. COVIVIENDA ECOLÓGICA CALLE TOMÁS BRETÓN
(Madrid, 2021. 5 plantas)
14. VIVIENDAS SOCIALES SANTA CRUZ DE CAMPEZO
(Santa Cruz de Campezo, 2011. 5 plantas)
15. EDIFICIO RESIDENCIAL EN GRÀCIA
(Barcelona, 2015. 5 plantas)
16. EDIFICIO RESIDENCIAL EN GRANADA
(Granada, 2015. 5 plantas)
17. VIVIENDAS SOCIALES EN HONDARRIBIA
(Hondarribia, 2018. 5 plantas)
18. VIVIENDAS BUENAVISTA
(Madrid, 2018. 5 plantas)
19. EDIFICIO LIGNUM
(Manresa, 2019. 5 plantas)
20. VIVIENDAS SOCIALES ENTREMULTIVAS
(Multiva, 2022. 5 plantas)
21. VIVIENDAS HIERBABUENA
(Madrid, 2023. 5 plantas)
22. 51 VIVIENDAS EN SAN JUAN DE ALICANTE
(San Juan de Alicante, 2023. 5 plantas)
23. MADRESELVA
(Burjassot, en construcción. 5 plantas)
24. ENTREPATIOS LAS CAROLINAS COHOUSING
(Madrid, 2018. 4 plantas)
25. OUR-SHELVES-HOUSES
(Madrid, 2021. 4 plantas)
26. EDIFICIO EN EL MOLINAR
(Palma, 2022. 4 plantas)

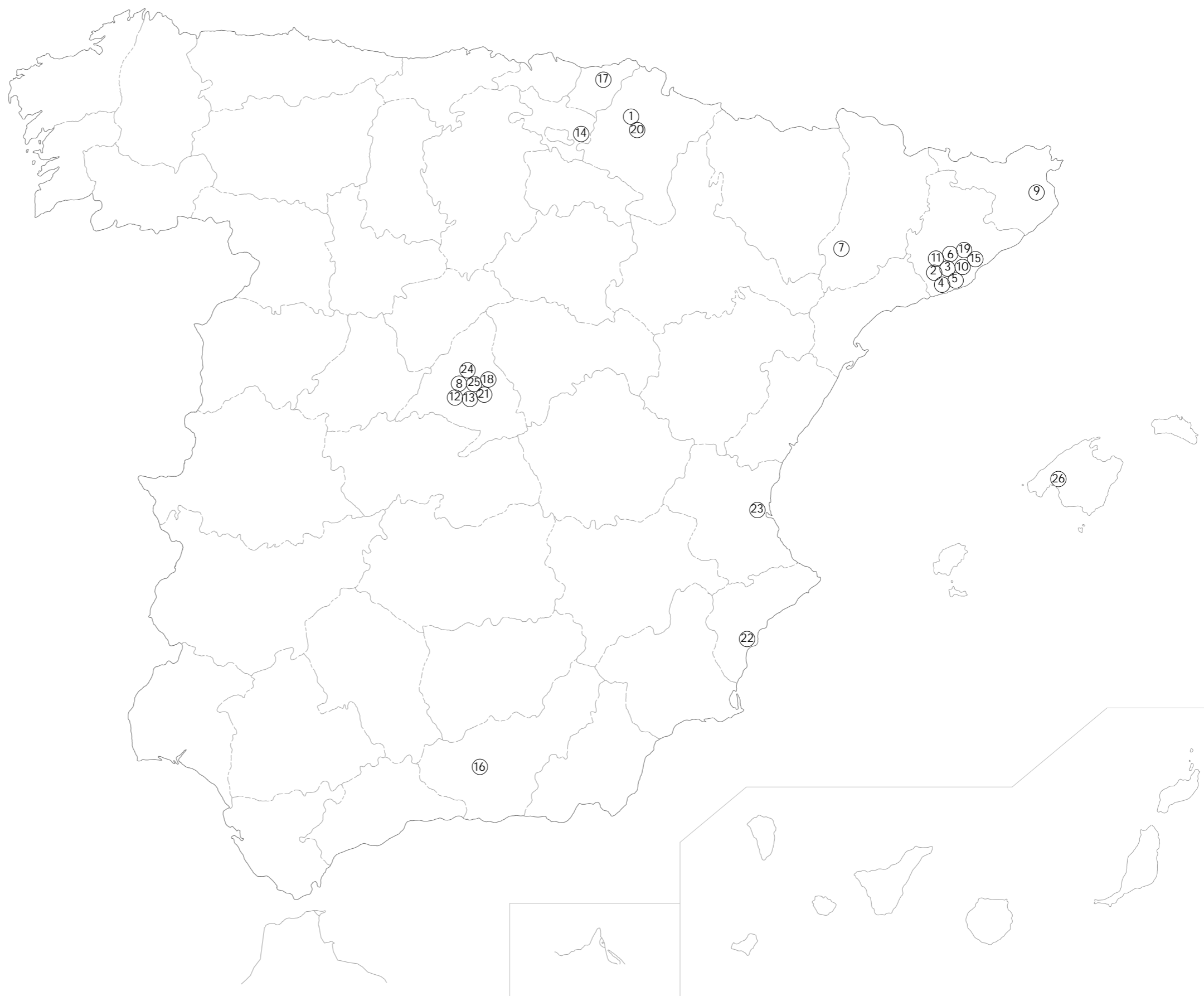


Fig. 33. Localización de los casos

nº	Nombre	Ciudad	Provincia	Año de finalización	nº de plantas	Productos		Planta baja de material distinto a madera		Sistema estructural	Proveedor de madera	Montaje de madera	Empresa de uniones	Duración de la construcción con madera
						Principal	Secundario	Sí/No	Materiales					
1	Residencia en Azpilagaña	Pamplona	Navarra	En construcción	10	CLT		Sí	Hormigón	Sistema de paneles	Stora Enso	Madergia	-	-
2	Terrazas para la vida	Barcelona	Barcelona	En construcción	9	CLT	GLT	Sí	Hormigón / Acero	Sistema de paneles	Sorigué / Finsa	-	-	4 meses
3	Residencia Cirerers	Barcelona	Barcelona	2021	8	CLT	GLT	Sí	Hormigón	Sistema de paneles	KLH	Velima System	Rothoblaas	2 meses
4	Comunidad Habitacional en Glòries	Barcelona	Barcelona	En construcción	8	CLT		Sí	Hormigón	Sistema de paneles	-	-	-	-
5	La Borda	Barcelona	Barcelona	2018	7	CLT	GLT	Sí	Hormigón	Combinación de sistemas	Egoín	Egoín	-	3 meses
6	21 viviendas Protección Oficial	Sabadell	Barcelona	2022	7	CLT	GLT	Sí	Acero	Sistema de paneles	Stora Enso	Madergia	Rothoblaas	2 meses
7	Apartamentos en Cavallers	Lérida	Lérida	2013	6	CLT		Sí	Hormigón	Sistema de paneles	KLH	AlterMATERIA	-	3 meses
8	ARV8	Madrid	Madrid	2019	6	CLT	GLT		No	Sistema de paneles	Stora Enso	Madergia	Heco/ Rothoblaas/ Madergia	2 meses
9	Bloque 6x6	Gerona	Gerona	2021	6	CLT	GLT		No	Sistema de paneles	Egoín	Egoín	-	-
10	La Balma	Barcelona	Barcelona	2021	6	CLT		Sí	Hormigón	Sistema de paneles	Piveteau	Velima System	-	2 meses
11	85 viviendas sociales	Cornellà de Llobregat	Barcelona	2021	6	CLT	GLT	Sí	Hormigón	Combinación de sistemas	Egoín	Egoín Casa Arbre	-	2 meses
12	Talco cohousing	Madrid	Madrid	Obras no empezadas	6	CLT			No	Sistema de paneles	-	-	-	-
13	Covivienda ecológica Tomás Bretón	Madrid	Madrid	En construcción	5	CLT	GLT	Sí	Hormigón	Sistema de paneles	Madergia	Madergia	-	-
14	Viviendas sociales en Santa Cruz de Campezo	Santa Cruz de Campezo	Álava	2011	5	CLT		Sí	Hormigón / Acero	Sistema de paneles	Egoín	Egoín	-	-
15	Edificio residencial en Gràcia	Barcelona	Barcelona	2015	5	GLT	Contrachapado		No	Entramado pesado (y ligero)	-	-	-	-
16	Edificio residencial en Granada	Granada	Granada	2015	5	CLT			No	Sistema de paneles	KLH	Invesia	-	2 meses
17	Viviendas sociales en Hondarribia	Hondarribia	Guipúzcoa	2018	5	CLT		Sí	Hormigón	Sistema de paneles	Egoín	Egoín	Würth	3 meses
18	Viviendas Buenavista	Madrid	Madrid	2018	5	CLT	GLT	Sí	Hormigón	Sistema de paneles	KLH	AlterMATERIA	AlterMATERIA	< 1 mes
19	Edificio Lignum	Manresa	Barcelona	2019	5	CLT			No	Sistema de paneles	Madergia	Madergia	-	-
20	Viviendas sociales Entremutilvas	Multiva	Navarra	2022	5	CLT	GLT		No	Sistema de paneles	Egoín	Egoín	-	4 meses
21	Viviendas Hierbabuena	Madrid	Madrid	2023	5	CLT	Contrachapado	Sí		Sistema de paneles	Egoín	Egoín	Egoín	< 1 mes
22	51 viviendas San Juan de Alicante	San Juan de Alicante	Alicante	2023	5	CLT			No	Sistema de paneles	Egoín	Egoín	Rothoblaas	5 meses
23	Madreselva	Burjasot	Valencia	En construcción	5	GLT	CLT	Sí	Hormigón	Entramado pesado	-	-	-	-
24	Entrepatis Las Carolinas cohousing	Madrid	Madrid	2018	4	CLT	GLT		No	Sistema de paneles	Stora Enso	Madergia	Rothoblaas	2 meses
25	Our-Shelves-Houses	Madrid	Madrid	2021	4	CLT	GLT	Sí	Hormigón	Combinación de sistemas	Stora Enso	Madergia	-	2 meses
26	Edificio en El Molinar	Palma	Baleares	2022	4	CLT			No	Sistema de paneles	Egoín	AlterMATERIA	-	< 1 mes

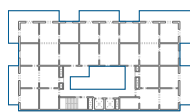
Tabla 2. Casos identificados

2.2 Casos seleccionados

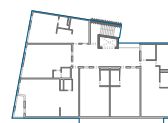
Del listado de casos hallados en España, se realiza una selección para el estudio de los parámetros mencionados previamente. Resultan de mayor interés los edificios de más plantas, ya que en ellos se dan soluciones más avanzadas en la tecnología de la madera estructural. Los casos seleccionados se muestran en dos tablas que muestran información sobre los proyectos y desarrollo de las obras y sobre las características estructurales a estudiar.



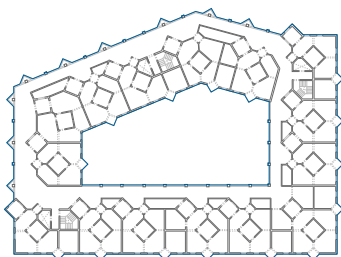
01. Residencia en Azpilagaña



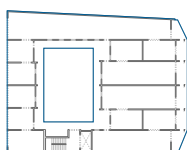
02. Terrazas para la vida



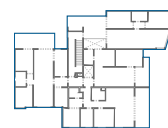
03. Residencia Cirerers



04. Comunidad Habitacional en Glòries



05. La Borda



06. 21 viviendas de Protección Oficial



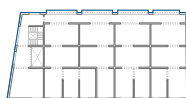
07. Apartamentos en Cavallers



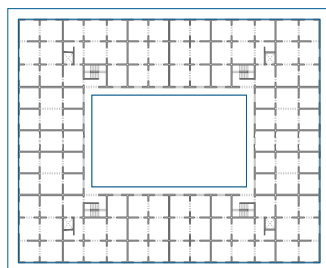
08. ARV8



09. Bloque 6x6



10. La Balma



11. 85 viviendas sociales



12. Talco Cohousing

0 1 2 5 10 20

Figura 34. Selección de casos a estudiar

nº	Nombre	Ciudad	Provincia	Año de finalización	nº de plantas	Situación en manzana	Sótano	Duración construcción con madera	Duración construcción del edificio	Proveedor de madera	Montaje de madera	Empresa de uniones
1	Residencia en Azpilagaña	Pamplona	Navarra	En construcción	10	Entre medianeras	No	-	-	Stora Enso	Madergia	-
2	Terrazas para la vida	Barcelona	Barcelona	En construcción	9	Al final de manzana	No	4 meses	-	Sorigué / Finsa	-	-
3	Residencia Cirerers	Barcelona	Barcelona	2021	8	Entre medianeras	No	2 meses	19 meses	KLH	Velima System	Rothoblaas
4	Comunidad Habitacional en Glòries	Barcelona	Barcelona	En construcción	8	Constituye una manzana	Sí	-	-	-	-	-
5	La Borda	Barcelona	Barcelona	2018	7	Entre medianeras	No	3 meses	16 meses	Egoín	Egoín	-
6	21 viviendas Protección Oficial	Sabadell	Barcelona	2022	7	Exento	Sí	2 meses	22 meses	Stora Enso	Madergia	Rothoblaas
7	Apartamentos en Cavallers	Lérida	Lérida	2013	6	Entre medianeras	Sí	3 meses	12 meses	KLH	AlterMATERIA	-
8	ARV8	Madrid	Madrid	2019	6	Entre medianeras	Sí	2 meses	14 meses	Stora Enso	Madergia	Heco/ Rothoblaas/ Madergia
9	Bloque 6x6	Gerona	Gerona	2021	6	Exento	Sí	-	-	Egoín	Egoín	-
10	La Balma	Barcelona	Barcelona	2021	6	Exento	No	2 meses	16 meses	Piveteau	Velima System	-
11	85 viviendas sociales	Cornellà de Llobregat	Barcelona	2021	6	Exento	Sí	2 meses	19 meses	Egoín	Egoín Casa Arbre	-
12	Talco cohousing	Madrid	Madrid	Obras no empezadas	6	Entre medianeras	Sí	-	-	-	-	-

Tabla 3. Selección de casos estudiados. Características generales de proyecto y obra.

nº	Nombre	Productos		Combinación con otro material en plantas de piso	Planta baja de material distinto a madera		Sistema estructural			Organización en planta		Balcón	Protección frente a incendios		
		Principal	Secundario		Sí/No	Materiales	Transmisión de cargas verticales	Estabilización frente a cargas horizontales	Sistema de forjados	Tipo	Luz máx de forjado (m)	Estrategia	Vuelo máximo (m)	Resistencia requerida	Estrategias de protección
1	Residencia en Azpilagaña	CLT		No	Sí	Hormigón	Sistema de paneles	Pantallas de CLT	Paneles de CLT	Ejes paralelos	5,05	Forjado en continuidad: voladizo	1,7	REI90	-
2	Terrazas para la vida	CLT	GLT	No	Sí	Hormigón / Acero	Sistema de paneles	Pantallas de CLT	Paneles de CLT	Malla	3,40	Estructura independiente apoyada en paneles de forjado	1,8	REI90	Cubrir con cartón yeso. Aumentar sección
3	Residencia Cirerers	CLT	GLT	Acero. Algunos pilares y balcones	Sí	Hormigón	Sistema de paneles	Núcleo rígido de hormigón	Paneles de CLT	Ejes paralelos (en dos direcciones)	6,60	Forjado en continuidad con diagonales de acero	1,6	REI90	Cubrir con cartón yeso. Aumentar sección
4	Comunidad Habitacional en Glòries	CLT		Acero. En balcones	Sí	Hormigón	Sistema de paneles	Pantallas de CLT	Paneles de CLT	Malla (superposición)	4,00	Forjado en continuidad. 2 soluciones: voladizos o pilares de acero	1,1	REI90	Cubrir con cartón yeso
5	La Borda	CLT	GLT	Acero. En balcones	Sí	Hormigón	Combinación de sistemas	Núcleo rígido de madera	Paneles de CLT	Ejes paralelos	4,85	Forjado en continuidad. 2 soluciones: voladizos o pilares de acero	1,4	REI90	Aumentar sección. Cubrir con cartón yeso
6	21 viviendas Protección Oficial	CLT	GLT	No	Sí	Acero	Sistema de paneles	Pantallas de CLT	Paneles de CLT	Ejes paralelos (en dos direcciones)	6,85	No		REI90	Cubrir con cartón yeso, aumentar sección
7	Apartamentos en Cavallers	CLT		No	Sí	Hormigón	Sistema de paneles	Núcleo rígido de madera	Paneles de CLT	Ejes paralelos (en dos direcciones)	6,00	Otros: apoyado en panel de forjado	0,45	REI90	Cubrir con cartón yeso
8	ARV8	CLT	GLT	No		No	Sistema de paneles	Pantallas de CLT	Paneles de CLT	Ejes paralelos (en dos direcciones)	6,30	No		REI90	Cubrir con cartón yeso. Aumentar sección
9	Bloque 6x6	CLT	GLT	No		No	Sistema de paneles	Pantallas de CLT	Paneles de CLT	Ejes paralelos	4,40	Forjado en continuidad: voladizo	1,90	REI90	Aumentar sección. Cubrir con cartón yeso
10	La Balma	CLT	GLT	No	Sí	Hormigón	Sistema de paneles	Pantallas de CLT	Paneles de CLT	Ejes paralelos	5,25	Otros: estructura de metal en voladizo	0,55	REI90	Cubrir con cartón yeso. Aumentar sección
11	85 viviendas sociales	CLT	GLT	No	Sí	Hormigón	Combinación de sistemas	Pantallas de CLT	Paneles de CLT	Malla	3,95	Forjado en continuidad: voladizo	1,85	REI90	Cubrir con cartón yeso. Aumentar sección
12	Talco cohousing	CLT		No		No	Sistema de paneles	Pantallas de CLT	Paneles de CLT	Ejes paralelos (en dos direcciones)	5,00	Forjado en continuidad: voladizo	0,85	REI90	Cubrir con cartón yeso. Aumentar sección

Tabla 4. Selección de casos estudiados. Categorización según parámetros estructurales analizados.

3 Análisis de resultados

3.1 Características generales de proyecto y obra

Los edificios residenciales de media altura en madera se dan principalmente en las comunidades autónomas de Cataluña y Madrid, sumando dos tercios del total. Tan sólo en las áreas metropolitanas de Barcelona y Madrid se encuentran ya la mayoría de los casos existentes en España. Las comunidades de Navarra, País Vasco y Comunidad Valenciana cuentan con dos casos cada una de ellas, y Andalucía y Baleares con uno.



Figura 35. 01. Residencia en Azpilagaña, el edificio más alto proyectado, en construcción

De los doce casos que superan las 6 plantas de altura, la mayoría se encuentran en la provincia de Barcelona.



Figura 36. 02. Terrazas para la vida, cerca de ser terminado

Entre los años 2010 y 2015 sólo se llevaron a cabo cuatro edificios, de no más de 6 plantas. Después de dos años sin ninguna obra nueva, en 2018 se finalizaron otros cuatro, uno de ellos de 7 plantas, una más alto que lo que hasta el momento se había alcanzado en el país. Tras los años 2019 y 2020, se terminaron cinco edificios en 2021, récord histórico en España en número de edificios de madera terminados en un año, y de nuevo, en número de plantas alcanzadas. Aunque en los últimos dos años no se han conseguido mayores logros, se espera que próximamente se terminen los cinco edificios que se encuentran en construcción en la actualidad, entre los que se encuentran dos edificios de 9 y 10 plantas que superarán en altura a los ya existentes. Puede observarse que, de los 26 edificios localizados, el número de plantas que predomina es 5, seguido de 6 plantas.

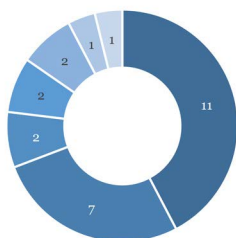


Figura 37. N° de casos según comunidad autónoma

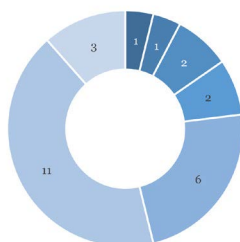


Figura 38. N° de casos según nº de plantas

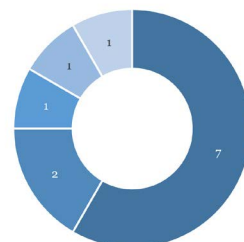


Figura 39. N° de casos estudiados según provincia

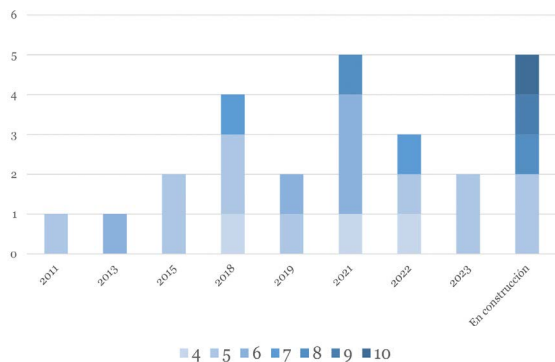


Figura 40. Nº de casos según año de finalización y nº de plantas

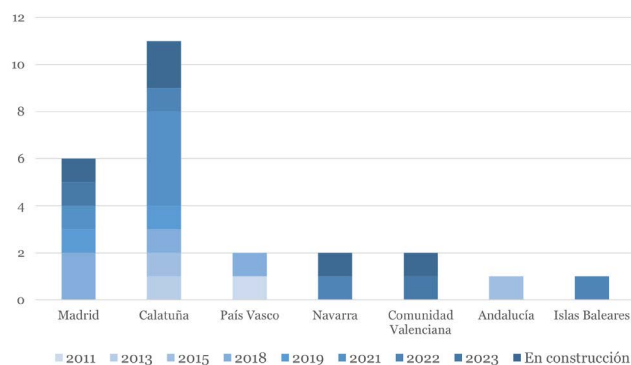


Figura 41. Nº de casos según comunidad autónoma y año de finalización

En cuanto a las empresas envueltas en estos proyectos, destacan Egoin y Madergia. Egoin es la empresa que ha provisto de productos al mayor número de casos, con un total de 9. Es seguida por las internacionales Stora Enso, con 5, y KLH con 4. Egoin también destaca en el montaje de la estructura de madera, con 7 casos, al igual que Madergia, a pesar de que esta última solo haya sido proveedora en dos de los casos.

Se obtiene que la duración de la construcción de la estructura de madera es frecuentemente de 2 meses. La media es de 9 semanas y cuanto mayor es la duración, menos habitual resulta. Para los casos de seis o más plantas, se encuentra que en casi la mitad de ellos la duración de la construcción total del edificio fueron 16 o 19 meses, resultando la media de 17 meses.

3.2 Productos

De los posibles productos para la construcción de edificios de media altura con madera, puede verse que en España se emplean casi únicamente dos. El más empleado es la madera contralaminada (CLT), dándose en 24 de los 26 casos como producto principal. En la mitad de

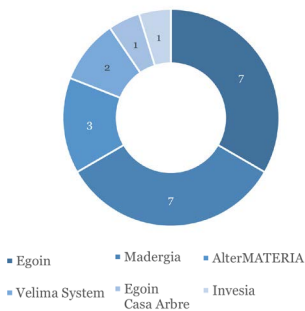


Figura 42. Nº de casos según empresa de montaje de madera

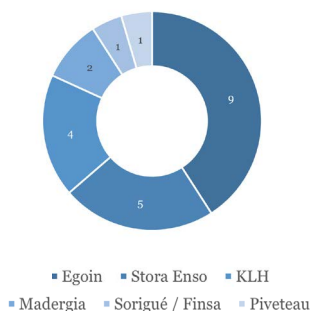


Figura 43. Nº de casos según empresa proveedora de madera

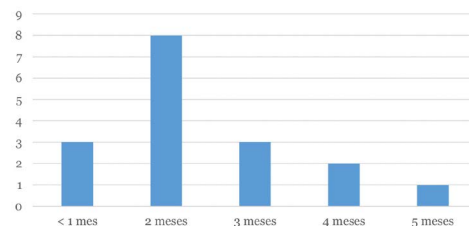


Figura 44. Nº de casos según duración de la construcción de la estructura de madera



Figura 45. Empleo de acero en galerías en 04. Comunidad Habitacional en Glòries



Figura 46. Combinación de productos en 05. La Borda

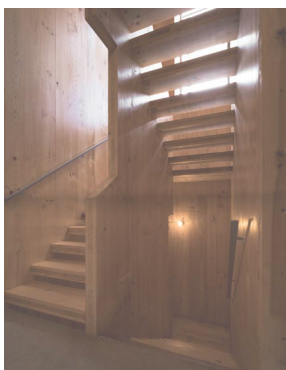


Figura 47. Núcleo de madera en 05. La Borda

estos, aparece el empleo de la madera laminada encolada (GLT) en alguna parte de la estructura. Este es además el material empleado en los casos que no se utiliza CLT como producto principal.

Productos como la madera laminada mecánicamente con pasadores (DLT) o microlaminada (LVL) no aparecen en ninguno de los casos.

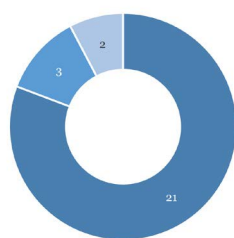
En el análisis de los doce casos seleccionados, se encuentran en tres de ellos productos de acero. Son perfiles de acero laminado que se emplean como pilares o componentes de balcones.

3.3 Sistema estructural

De los 26 casos en España, se emplean sistemas de paneles en todos, a excepción de dos, en los que la estructura está constituida por un sistema de entramado pesado. La combinación de sistemas es poco habitual o aparente, dándose únicamente en tres ocasiones en las que la combinación de paneles con entramado pesado está lo suficientemente equilibrada. El entramado ligero aparece sólo formando cerramientos y tabiquería como parte de un sistema de entramado pesado (15. Edificio residencial en Gràcia).

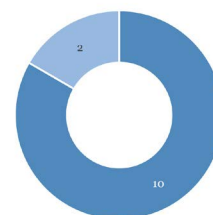
Dos de los tres casos que emplean la combinación de sistemas para la transmisión de cargas verticales cuentan con 6 o más plantas.

La estabilización frente a cargas horizontales se realiza mayoritariamente mediante paneles de CLT, como era de esperar al conocer que el sistema que más se repite es el de paneles. Le siguen las estrategias que emplean núcleos rígidos, encontrándose en dos de los doce casos seleccionados núcleos de madera (05. La Borda; 07. Apartamentos en Cavallers) y en uno, de hormigón (03. Residencia Cirerers). No se emplean estrategias con diagonales, elementos a tracción de acero ni pantallas de hormigón que formen parte del núcleo rígido de comunicaciones.



■ Sistema de paneles ■ Combinación de sistemas ■ Entramado pesado

Figura 48. Nº de casos según sistema estructural



■ Sistema de paneles ■ Combinación de sistemas

Figura 49. Nº de casos estudiados según sistema de transmisión de cargas verticales



Figura 50. Nº de casos estudiados según sistema de estabilización frente a cargas horizontales

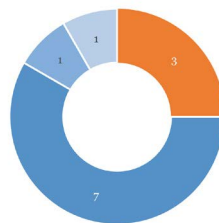


Figura 51. Nº de casos estudiados según material de planta baja

El único sistema de forjados que se da en edificios de seis o más alturas es el de paneles de CLT, no existiendo casos de viguetas y paneles aligerados, nervados o mixtos.

Un tercio de los casos existentes tienen todas sus plantas hechas de madera, mientras que, en las otras dos terceras partes de los casos, la estructura de madera se encuentra colocada casi exclusivamente sobre un podio de hormigón. Sólo existe un caso en el que la estructura de la planta baja es de pórticos de acero (06. 21 viviendas de Protección Oficial), aunque este material aparece en dos más, combinado con el hormigón (02. Terrazas para la vida; 14. Viviendas sociales en Santa Cruz de Campezo).

Cabe destacar que en ninguno de los casos localizados aparecen sistemas híbridos en los que se emplee hormigón junto a la madera. Tampoco se dan sistemas de módulos volumétricos, ni soluciones de pilar sin viga.

3.4 Organización en planta

La organización en planta de los casos estudiados es, en general, muy ortogonal y con una composición de ejes bien definidos. En el 75% de los casos, se recurren a estrategias de ejes paralelos, ya sea en una única o en dos direcciones. La ortogonalidad se hace aún más evidente en las plantas organizadas siguiendo mallas. No existen casos de organización radial ni irregular.

La luz máxima de los forjados en los edificios de seis o más plantas varía entre los 3,40 m (02. Terrazas para la vida) y los 6,85 m (06. 21 viviendas de Protección Oficial), siendo la media 5,03 m.

3.5 Balcones

La mitad de los doce casos estudiados emplean la estrategia de forjado en continuidad creando voladizos para resolver los balcones. La longitud de vuelo máximo media es 1,15 m.

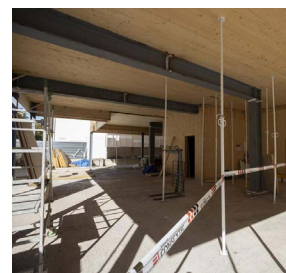
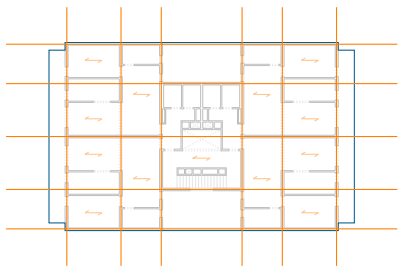


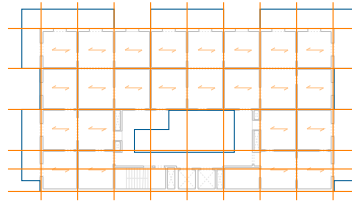
Figura 52. Pórticos de acero en planta baja del caso 06. 21 viviendas de Protección Oficial



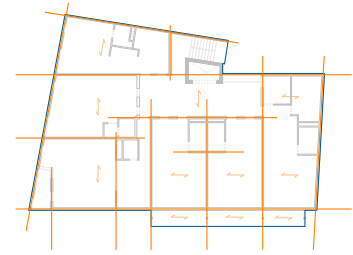
Figura 53. Organización en malla en el caso 11. 85 viviendas sociales. Maqueta



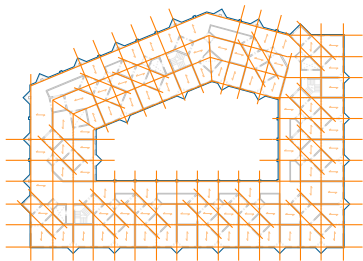
01. Residencia en Azpilagaña



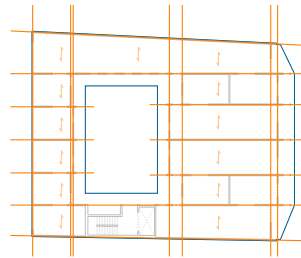
02. Terrazas para la vida



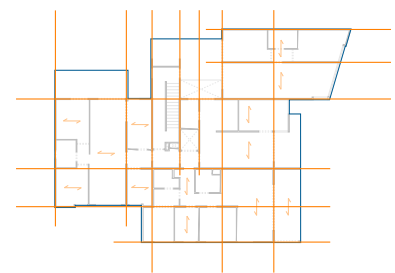
03. Residencia Cirerers



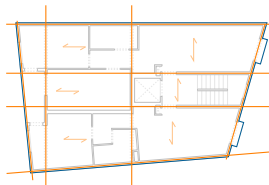
04. Comunidad Habitacional en Glòries



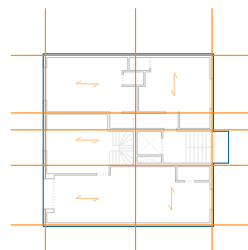
05. La Borda



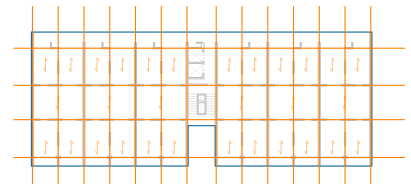
06. 21 viviendas de Protección Oficial



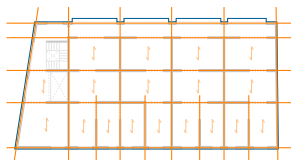
07. Apartamentos en Cavallers



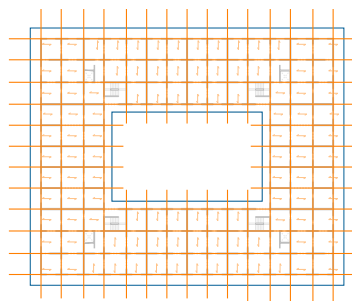
08. ARV8



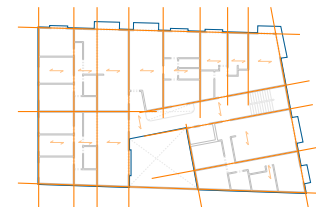
09. Bloque 6x6



10. La Balma



11. 85 viviendas sociales



12. Talco Cohousing



Figura 54. Organización en planta y luz máxima de forjado de los casos estudiados

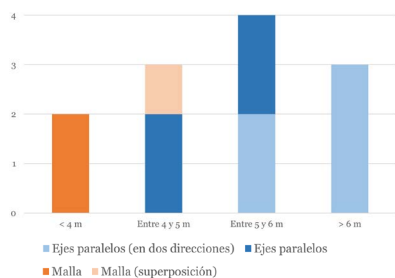


Figura 55. Nº de casos estudiados según organización en planta y luz máxima de forjado

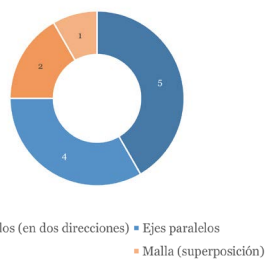


Figura 56. Nº de casos estudiados según organización en planta

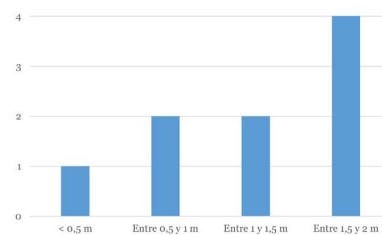


Figura 57. Nº de casos estudiados según vuelo máximo de balcón

Uno de los doce continúa el panel de forjado añadiendo diagonales que apoyan en el forjado de la planta inferior, y haciendo voladizo únicamente en la primera planta (03. Residencia Cirerers). La estrategia de continuar el forjado más allá de la fachada apoyándolo en pilares de acero se lleva a cabo en dos ocasiones (04. Comunidad Habitacional en Glòries; 05. La Borda). Otro de los casos (02. Terrazas para la vida) emplea una estructura independiente que apoya en los paneles de forjado, pero corta la continuidad de estos.

También se encuentran estrategias distintas a las estudiadas en la categorización, como estructuras de metal en voladizo. No obstante, en ningún caso aparecen estructuras menores que soporten por sí mismas los balcones y sean totalmente independientes de la estructura del edificio.

3.6 Protección frente a incendios

Debido a la condición de que los casos de estudio tengan seis o más plantas, todos ellos superan los 15 m de altura, por lo que, según el CTE DB SI, la resistencia frente al fuego requerida es de REI 90.

Las estrategias empleadas son cubrir con paneles cartón yeso y/o aumentar la sección. El uso de rociadores no se da. Por lo general, se cubren los paneles de pared con cartón yeso y se deja expuesto el forjado por su cara inferior. De esta manera, sólo se dimensionan los paneles de forjado para resistir frente al fuego. En las ocasiones en las que existen pilares y vigas de madera, suelen dejarse expuestos, aumentando su sección.



Figura 58. Estrategia de balcones: forjado en continuidad en el caso 11. 85 viviendas sociales



Figura 59. Combinación de estrategias frente a incendios dejando el techo visto. Caso 06. 21 viviendas de Protección Oficial

Conclusiones

En primer lugar, se proponen los parámetros y categorías desarrollados en este trabajo como sistema de clasificación de las estrategias estructurales para la edificación residencial de media altura con madera. Mediante ellas, se unifica el criterio establecido por otros autores.

La división de los aspectos estructurales en tres tipos de sistemas (de transmisión de cargas verticales, de estabilización frente a cargas horizontales y de forjados) resulta adecuada para analizar la edificación de media altura con madera con detalle. También permite comprender las estructuras de madera como construcciones heterogéneas, en las que los sistemas que responden a los diferentes parámetros no están necesariamente resueltos de la misma manera.

Este trabajo aporta un análisis del estado de la construcción residencial de media altura con madera en España, con la identificación de los casos más relevantes y sus estrategias estructurales categorizadas según los parámetros aquí propuestos.

Los resultados obtenidos muestran características similares en la gran mayoría de los parámetros de estudio. Los edificios residenciales de media altura con madera en España están casi sin excepciones hechos de madera contralaminada, su sistema de transmisión de cargas verticales es el sistema de paneles, y el de estabilización frente a cargas horizontales el de pantallas de CLT. En todos los casos, los forjados son de paneles de CLT. La elección de estos sistemas repercute en la organización en planta, dando lugar a organizaciones en malla o con ejes paralelos. Esto, aunque no se empleen módulos volumétricos, facilita los procesos de prefabricación.

La poca variedad en las estrategias desarrolladas es propia de un sistema constructivo que aún está iniciándose en España en cuanto a edificación residencial de media altura se refiere. Mientras que en el extranjero no es excepcional encontrar edificios resueltos con otras estrategias, como módulos tridimensionales, pilares sin vigas, o estabilización mediante elementos diagonales, la construcción en España se muestra poco experimental. A pesar de no romper con las técnicas habituales en el país, las propuestas que se encuentran son cada vez más extensas y altas, dando imagen de control y afianzamiento de los sistemas utilizados.

Las estrategias empleadas para la resolución de los balcones son diversas, mientras que la protección frente a incendios se resuelve siempre del mismo modo. Esto indica que, para los balcones, cada proyecto busca la estrategia que mejor los resuelva atendiendo a sus características de diseño. En cambio, la protección frente a incendios se lleva a cabo ocultando la madera contralaminada vertical con paneles de cartón yeso y dejando el techo, generalmente de los dormitorios y salas de estar, visto. Esto permite ocultar las instalaciones y colocar aislamiento, por lo que es lógico que se recurra a esta estrategia en edificios residenciales.

La mayoría de los casos están ubicados en las dos ciudades más grandes del país. La elección de edificar con madera en las ciudades puede estar condicionada por el avance tecnológico e innovación que se da con mayor frecuencia en ellas. Además, este material trae ventajas como la rapidez y la limpieza, importantes a tener en cuenta en obras en lugares bulliciosos.

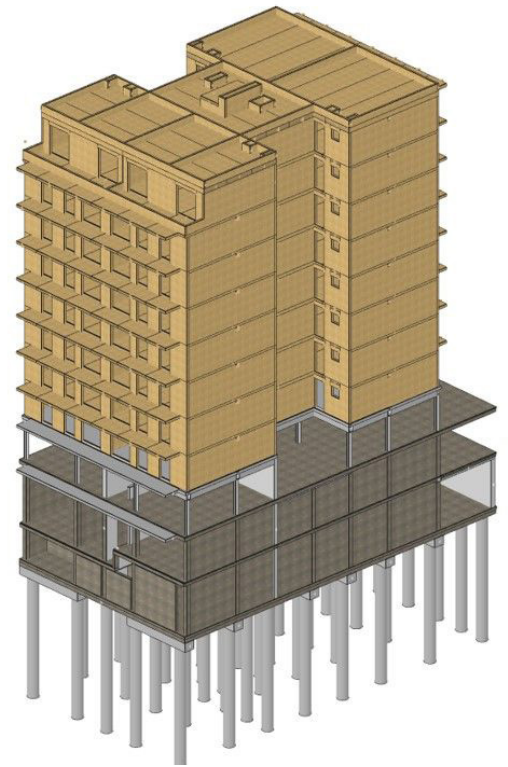
Residencia en Azpilagaña

Pamplona, en construcción

10 plantas
entre medianeras



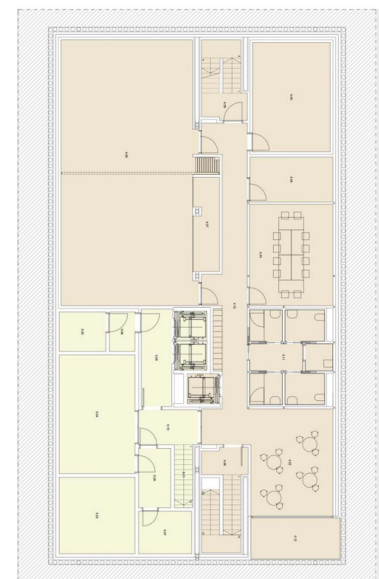
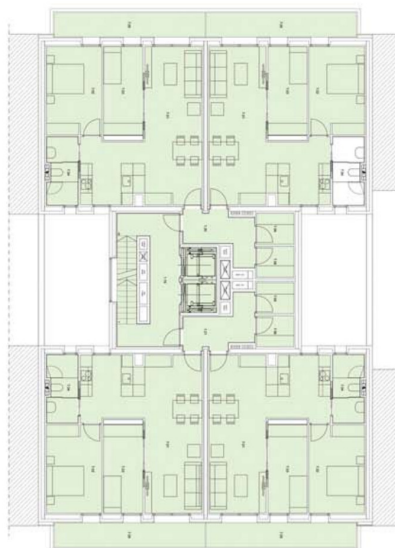
[1]



[3]



[2]



Arquitecto: Oficialdegui, J. y Velázquez, G.
Promotor: Nasuvinsa
Proveedor de madera: Stora Enso
Montaje de madera: Madergia
Empresa de uniones: -
Altura (m): 33
Nº viviendas: 32

Superficie planta baja: 459 m²
Superficie construida: 4.971 m²
Duración construcción del edificio: -
Duración construcción con madera: -
Presupuesto/m²: 1.609 €/m²
Ratio m³ madera/m² superficie: 0,28 m³/m²
Sótano: No

Sistema de paneles



[2]



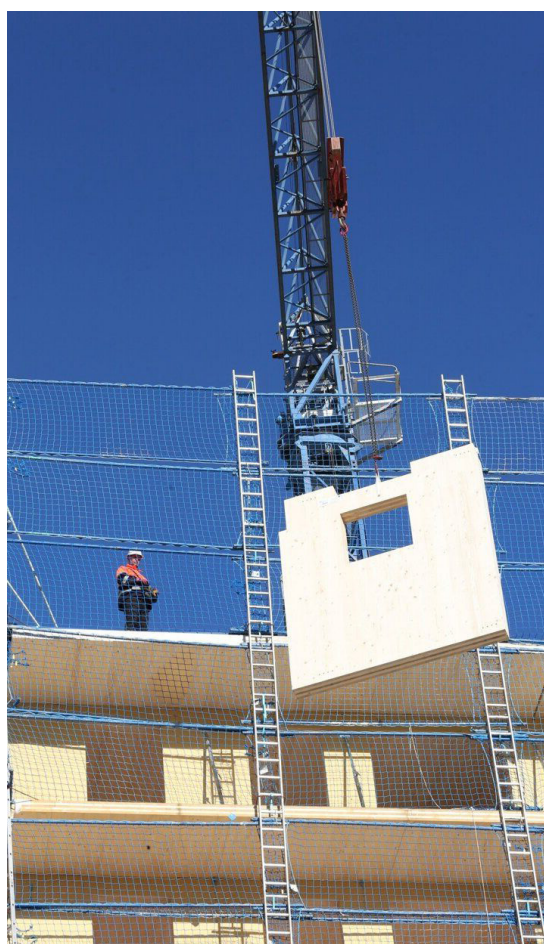
[2]



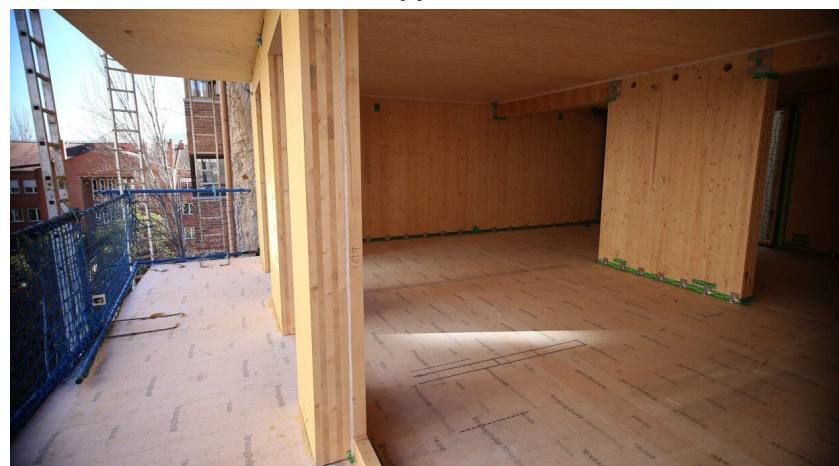
[2]



[2]



[2]



[2]

Material de planta baja: Hormigón
Productos: CLT
Combinación con otro material: No
Sistema transmisión de cargas verticales: Paneles
Sistema estabilización cargas horizontales:
Pantallas CLT
Sistema forjados: Paneles de CLT

Organización en planta: Ejes paralelos
Luz máx. de forjado (m): 5,05
Estrategia estructura de balcón: Forjado en
continuidad. Voladizo
Vuelo máximo (m): 1,70
Resistencia requerida frente a incendios: REI90
Estrategias de protección: -

Terrazas para la vida

Barcelona, en construcción

9 plantas
final de manzana



[4]



[5]



[5]

Arquitecto: Urbanitree
Promotor: -
Proveedor de madera: Sorigué / Finsa
Montaje de madera: -
Empresa de uniones: -
Altura: -
Nº viviendas: 40

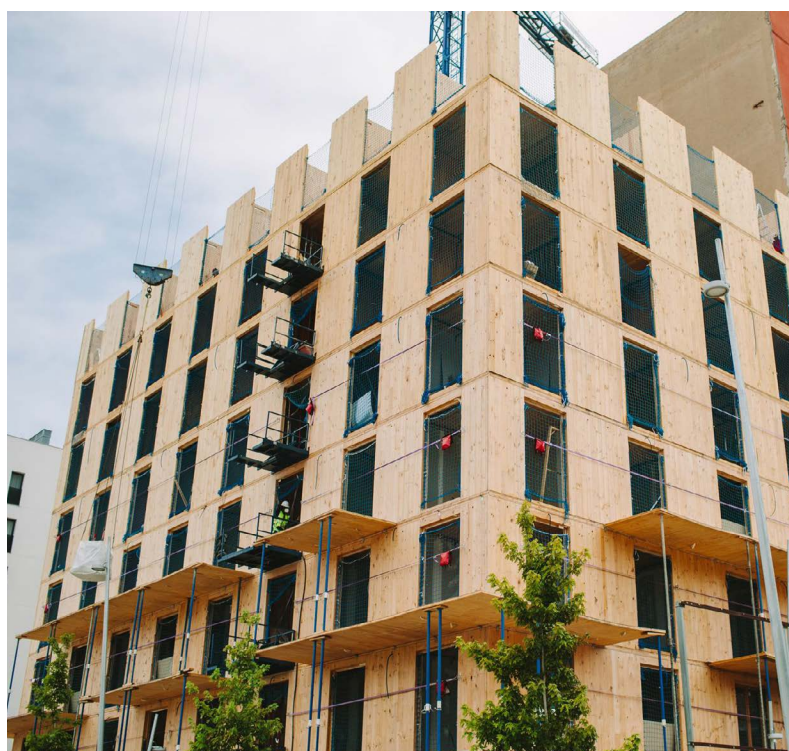
Superficie planta baja: -
Superficie construida: -
Duración construcción del edificio: -
Duración construcción con madera: 4 meses
Presupuesto/m²: -
Ratio m³ madera/m² superficie: -
Sótano: No



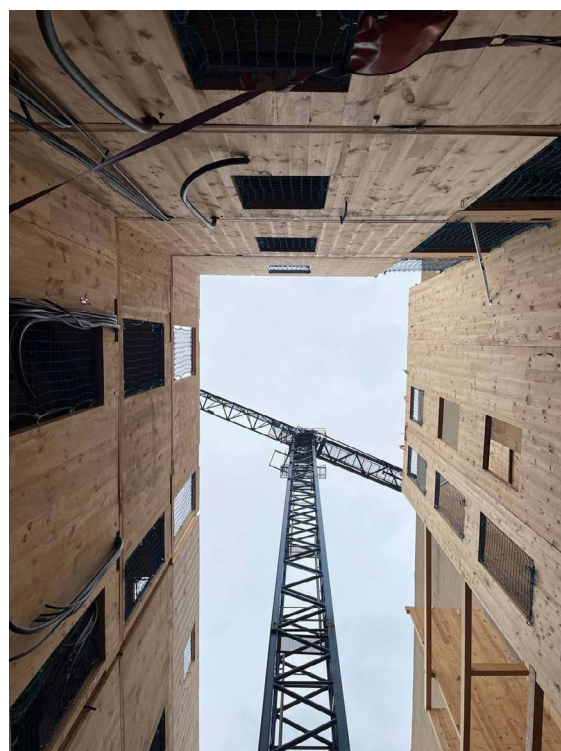
[5]



[4]



[4]



[4]

Material de planta baja: Hormigón / Acero
Productos: CLT / GLT
Combinación con otro material: No
Sistema transmisión de cargas verticales: Paneles
Sistema estabilización cargas horizontales: Pantallas CLT
Sistema forjados: Paneles de CLT

Organización en planta: Malla
Luz máx. de forjado (m): 3,40
Estrategia estructura de balcón: Estructura independiente apoyada en paneles de forjado
Vuelo máximo (m): 1,80
Resistencia requerida frente a incendios: REI90
Estrategias de protección: Cubrir y aumentar sección

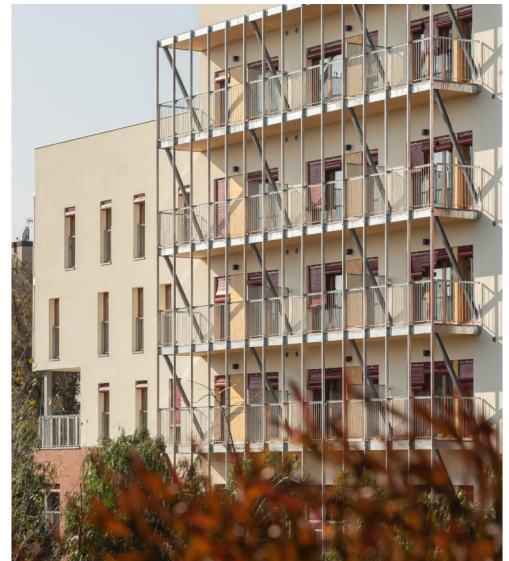
Residencia Cirerers

Barcelona, 2021

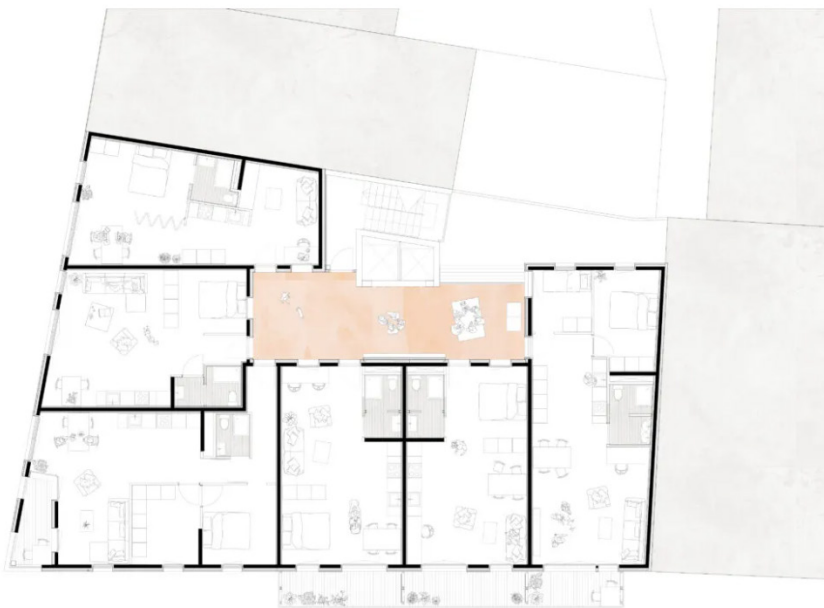
8 plantas
entre medianeras



[6]



[6]



[6]



[6]

Arquitecto: Cooperativa Celobert
Promotor: Sostre Cívic SCCL
Proveedor de madera: KLH
Montaje de madera: Velima System
Empresa de uniones: Rothoblaas
Altura (m): 27
Nº viviendas: 32

Superficie planta baja: 406 m²
Superficie construida: 2.746 m²
Duración construcción del edificio: 19 meses
Duración construcción con madera: 2 meses
Presupuesto/m²: 1.206 €/m²
Ratio m³ madera/m² superficie: 0,27 m³/m²
Sótano: No



[6]



[6]



[6]



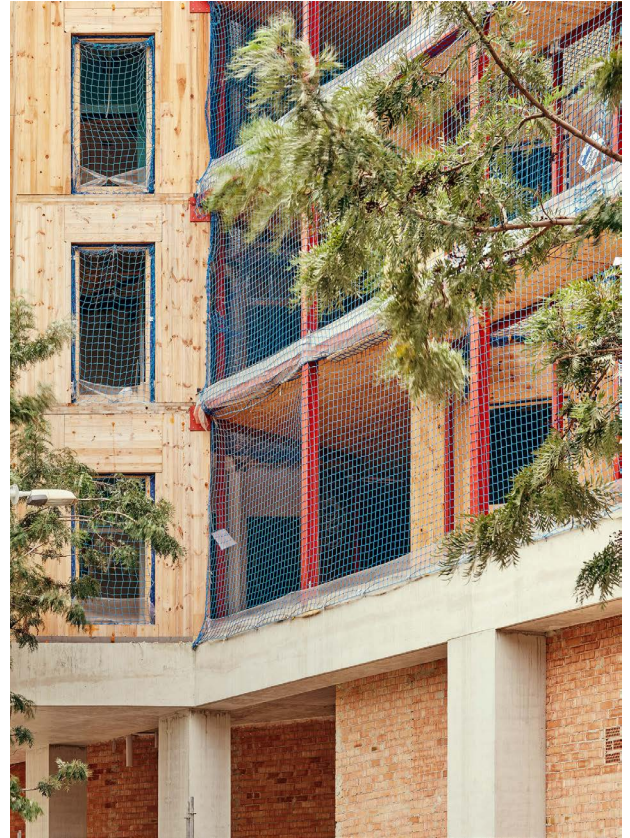
[6]

Material de planta baja: Hormigón
Productos: CLT / GLT
Combinación con otro material: Acero
Sistema transmisión de cargas verticales: Paneles
Sistema estabilización cargas horizontales: Núcleo rígido de hormigón
Sistema forjados: Paneles de CLT

Organización en planta: Ejes paralelos (2 direc.)
Luz máx. de forjado (m): 6,60
Estrategia estructura de balcón: forjado en continuidad con diagonales de acero
Vuelo máximo (m): 1,60
Resistencia requerida frente a incendios: REI90
Estrategias de protección: Cubrir y aumentar sección



[7]



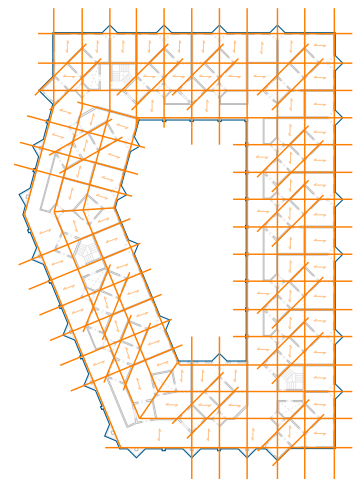
[7]



[7]



[7]



[9]

Material de planta baja: Hormigón
 Productos: CLT
 Combinación con otro material: Acero
 Sistema transmisión de cargas verticales: Paneles
 Sistema estabilización cargas horizontales:
 Pantallas de CLT
 Sistema forjados: Paneles de CLT

Organización en planta: Malla (superposición)
 Luz máx. de forjado (m): 4,00
 Estrategia estructura de balcón: forjado en
 continuidad: voladizos o pilares de acero
 Vuelo máximo (m): 1,10
 Resistencia requerida frente a incendios: REI90
 Estrategias de protección: Cubrir

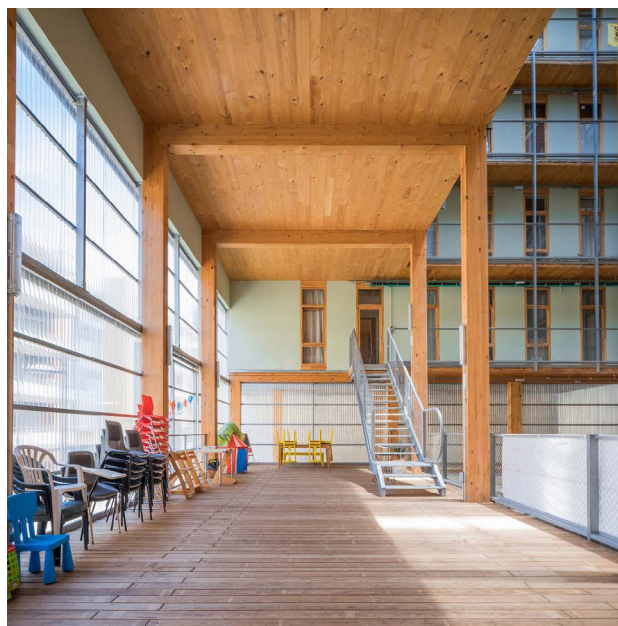
La Borda

Barcelona, 2018

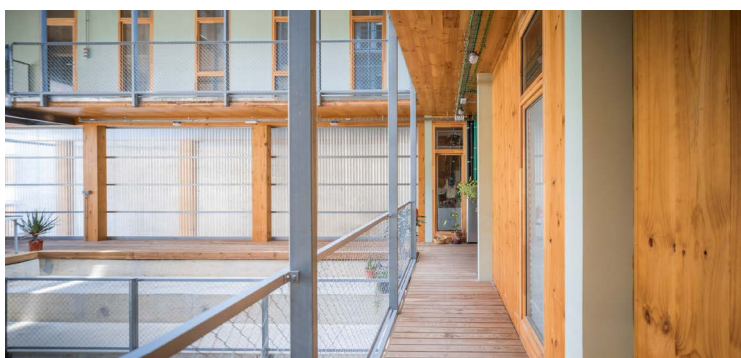
7 plantas
entre medianeras



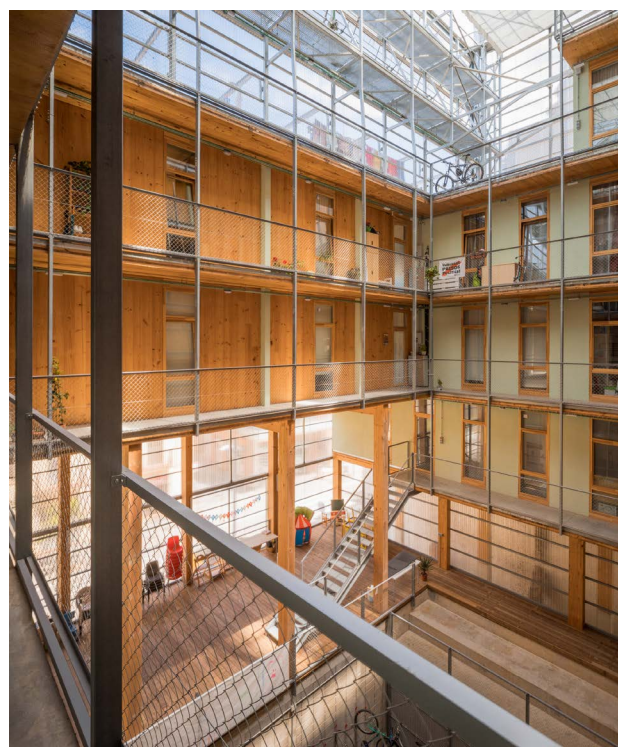
[10]



[10]



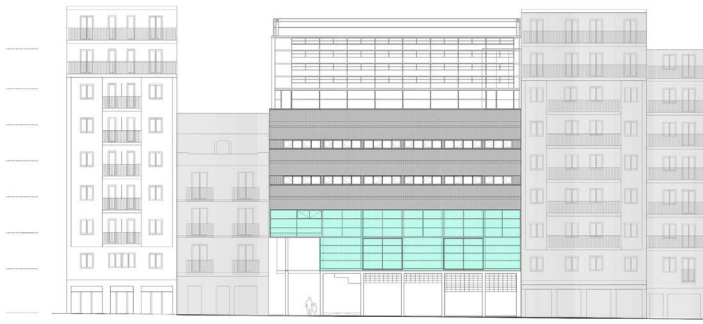
[10]



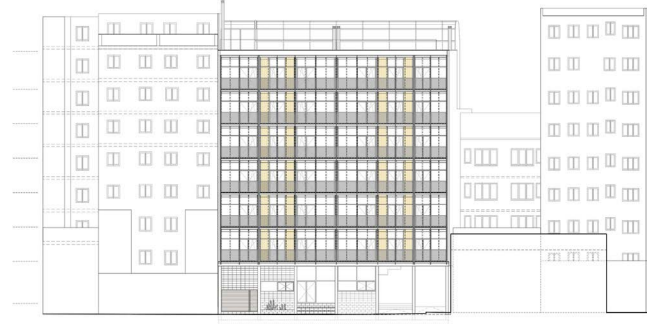
[10]

Arquitecto: Lacol SCCL
Promotor: Cooperativa La Borda
Proveedor de madera: Egoín
Montaje de madera: Egoín
Empresa de uniones: -
Altura (m): 25,5
Nº viviendas: 28

Superficie planta baja: 607 m²
Superficie construida: 3.000 m²
Duración construcción del edificio: 16 meses
Duración construcción con madera: 3 meses
Presupuesto/m²: 820 €/m²
Ratio m³ madera/m² superficie: 0,29 m³/m²
Sótano: No



[10]



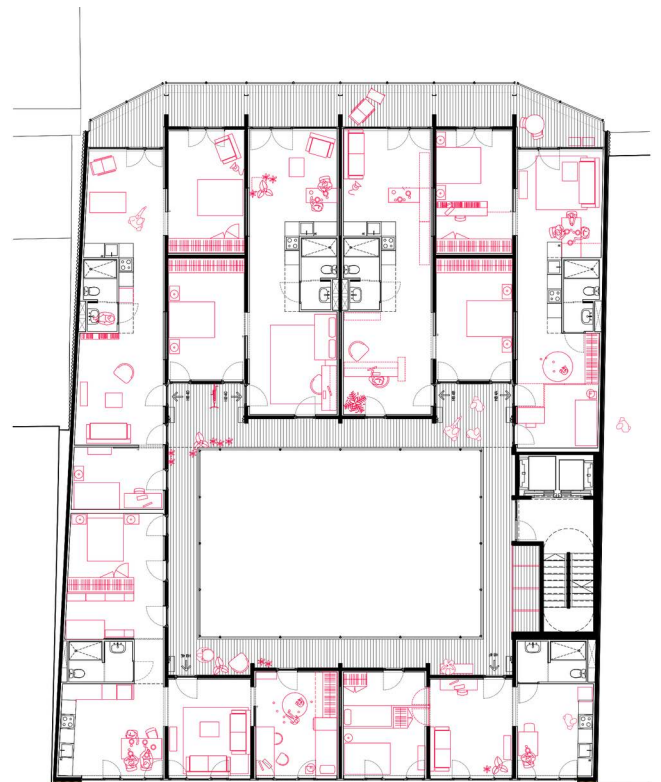
[10]



[10]



[10]



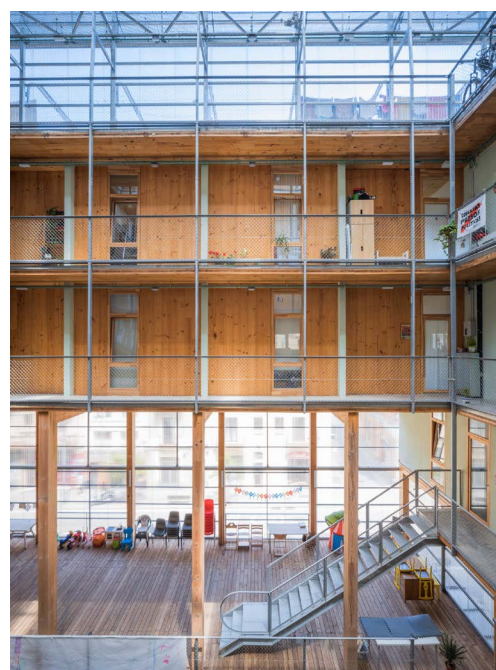
[10]



[10]



[10]



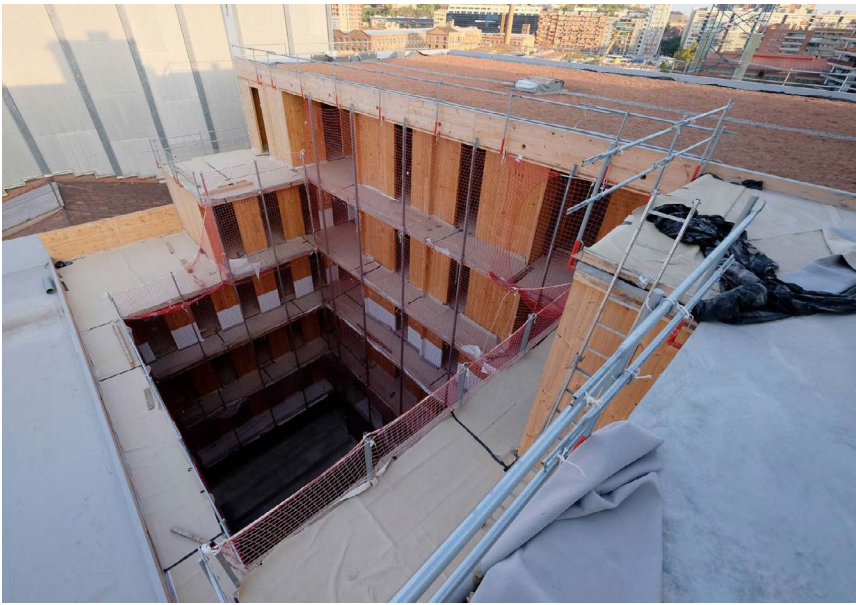
[10]

Material de planta baja: Hormigón
Productos: CLT / GLT
Combinación con otro material: Acero
Sistema transmisión cargas verticales: Combinación
Sistema estabilización cargas horizontales: Núcleo
rígido de madera
Sistema forjados: Paneles de CLT

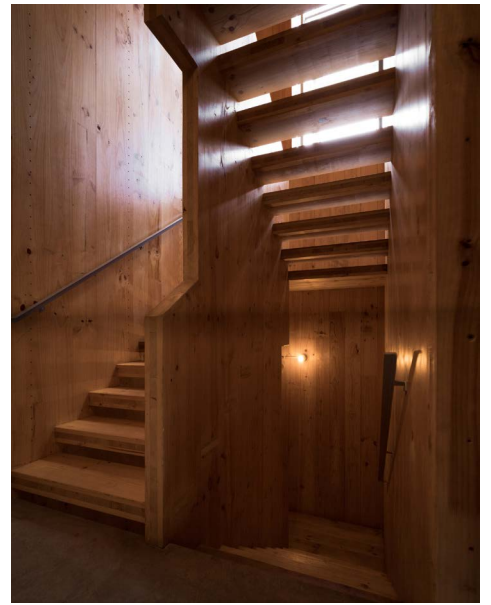
Organización en planta: Ejes paralelos
Luz máx. de forjado (m): 4,85
Estrategia estructura de balcón: forjado en
continuidad: voladizo o pilares de acero
Vuelo máximo (m): 1,40
Resistencia requerida frente a incendios: REI90
Estrategias de protección: Aumentar sección y cubrir



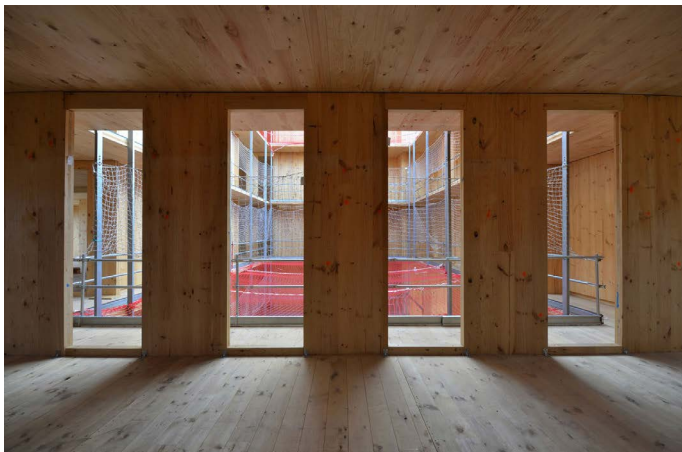
[10]



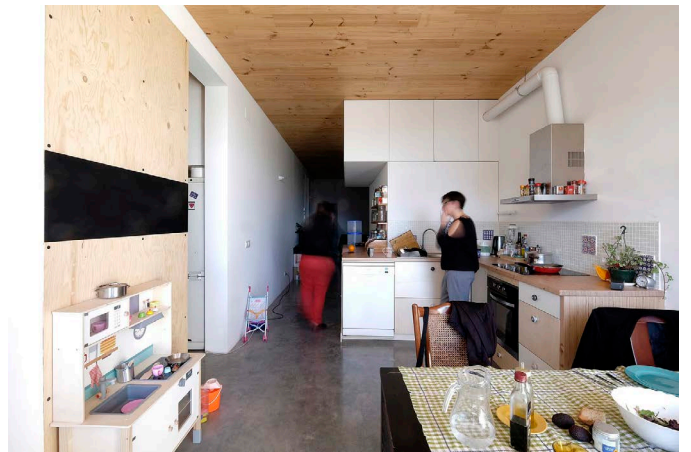
[10]



[10]



[10]



[10]

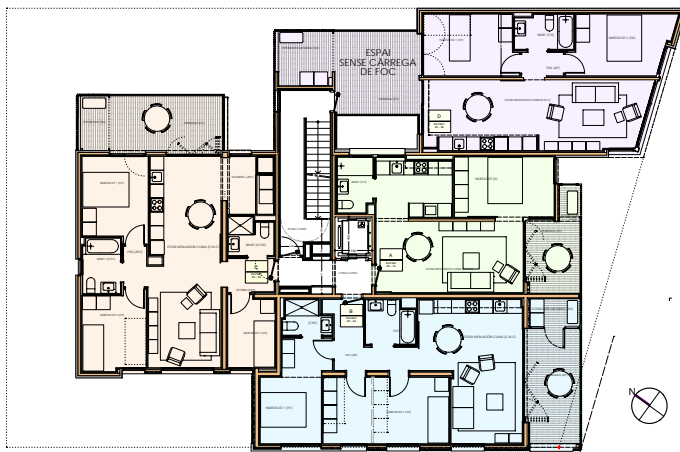
21 viviendas de protección oficial

Sabadell, 2022

7 plantas
exento

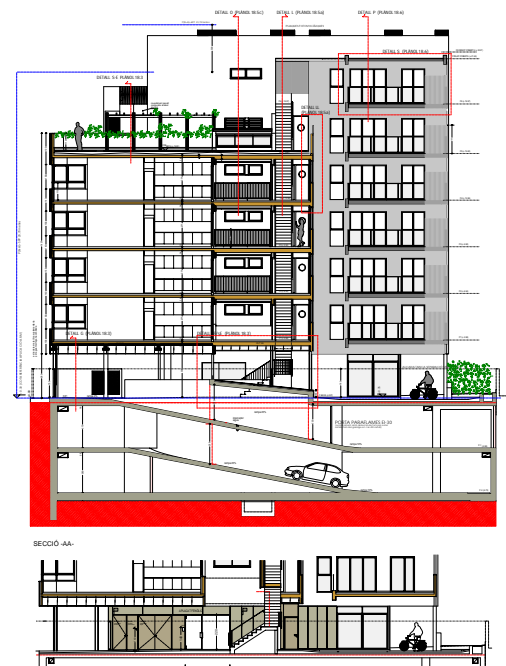


[11]



PLANTA 2a, 3a i 4a (TIPUS)
SUP. CONSTRUÏDA HABITATGES 311,90 m²
SUP. CONSTRUÏDA ESPAIS COMUNS 28,73 m²
TOTAL SUPERFÍCIE CONSTRUÏDA 340,63 m²

[11]



[11]

Arquitecto: Ayuntamiento de Sabadell

Promotor: Vimusa

Proveedor de madera: Stora Enso

Montaje de madera: Madergia

Empresa de uniones: Rothoblaas

Altura (m): 22

Nº viviendas: 21

Superficie planta baja: 206 m²

Superficie construida: 2.966 m²

Duración construcción del edificio: 22 meses

Duración construcción con madera: 2 meses

Presupuesto/m²: 1.009 €/m²

Ratio m³ madera/m² superficie: 0,23 m³/m²

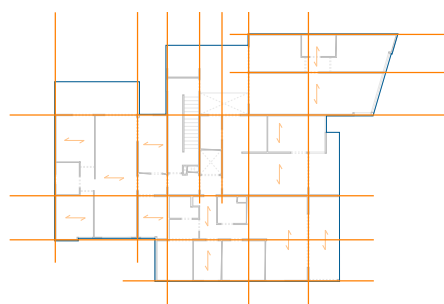
Sótano: Sí



[11]



[11]



[12]



[11]



[13]



[11]

Material de planta baja: Acero
 Productos: CLT / GLT
 Combinación con otro material: No
 Sistema transmisión de cargas verticales: Paneles
 Sistema estabilización cargas horizontales:
 Pantallas de CLT
 Sistema forjados: Paneles de CLT

Organización en planta: Ejes paralelos (2 direc.)
 Luz máx. de forjado (m): 6,85
 Estrategia estructura de balcón: -
 Vuelo máximo (m): -
 Resistencia requerida frente a incendios: REI90
 Estrategias de protección: Cubrir y aumentar sección

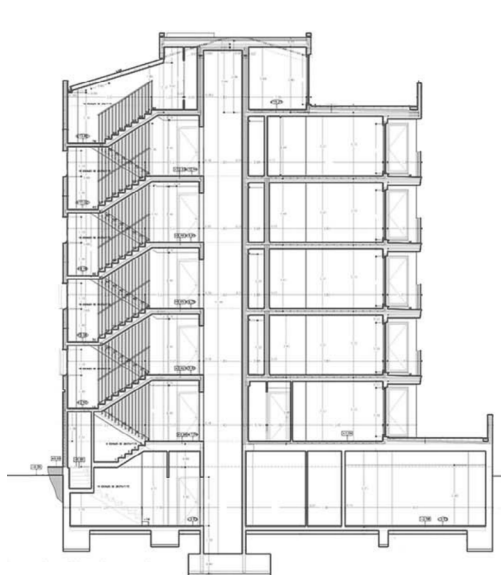
Apartamentos en Cavallers

Lérida, 2013

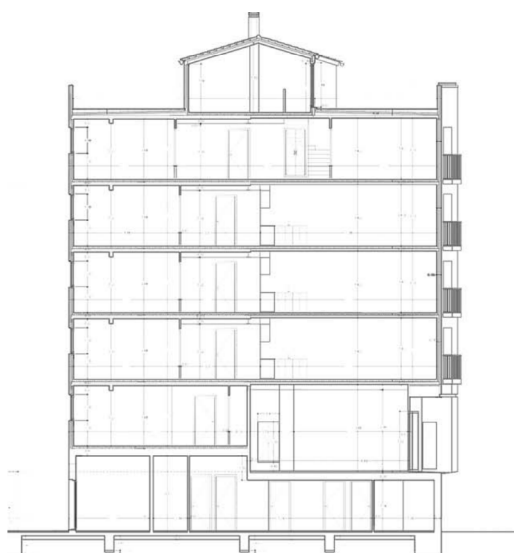
6 plantas
entre medianeras



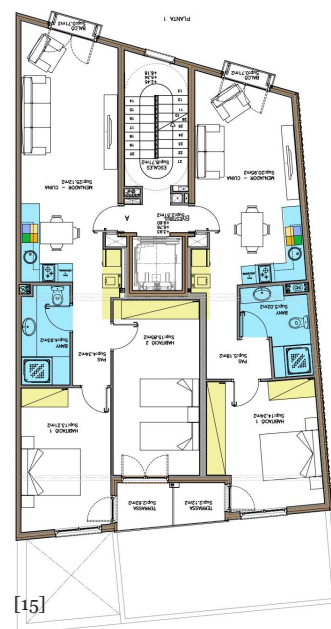
[14]



[15]



[15]



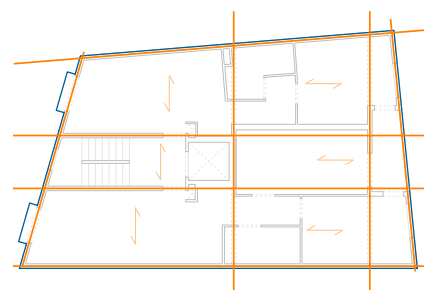
[15]

Arquitecto: Trass Arquitectura
Promotor: Arrendaments Sandiumenge SL
Proveedor de madera: KLH
Montaje de madera: AlterMATERIA
Empresa de uniones:
Altura (m): 16
Nº viviendas: 9

Superficie planta baja: 177 m²
Superficie construida: 941 m²
Duración construcción del edificio: 12 meses
Duración construcción con madera: 3 meses
Presupuesto/m²: 871 €/m²
Ratio m³ madera/m² superficie: 0,25 m³/m²
Sótano: Sí



[14]



[16]



[14]



[14]



[14]



[14]

Material de planta baja: Hormigón
 Productos: CLT
 Combinación con otro material: No
 Sistema transmisión de cargas verticales: Paneles
 Sistema estabilización cargas horizontales: Núcleo rígido de madera
 Sistema forjados: Paneles de CLT

Organización en planta: Ejes paralelos (2 direc.)
 Luz máx. de forjado (m): 6,00
 Estrategia estructura de balcón: apoyado en panel de forjado
 Vuelo máximo (m): 0,45
 Resistencia requerida frente a incendios: REI90
 Estrategias de protección: Cubrir

ARV8

Madrid, 2019

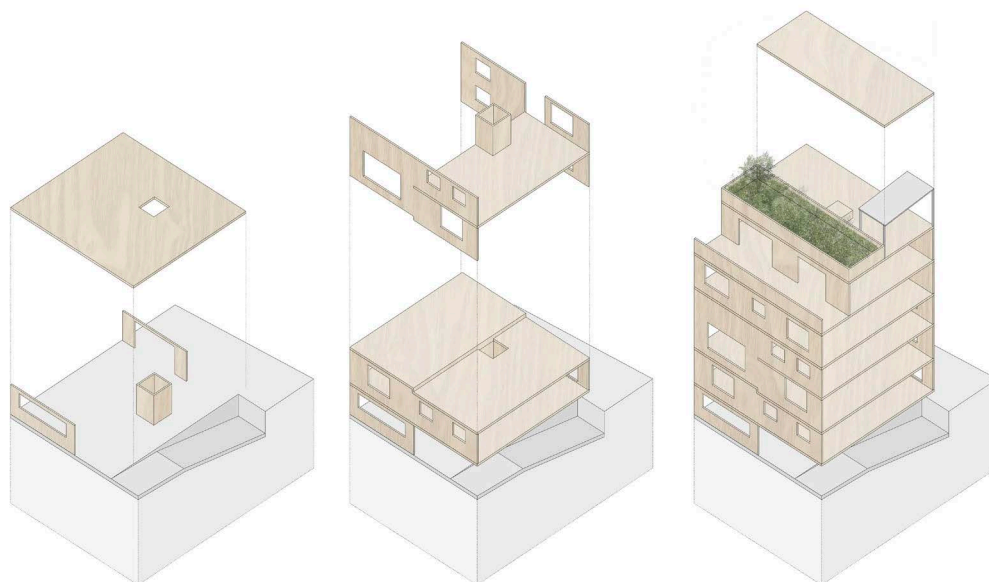
6 plantas
entre medianeras



[17]



[17]



[17]

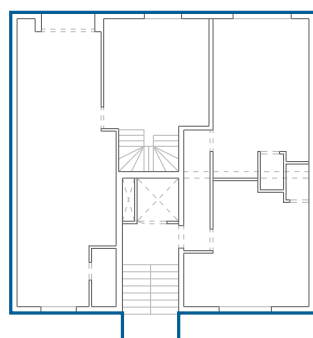
Arquitecto: Ábaton
Promotor: ABATON Construye
Proveedor de madera: Stora Enso
Montaje de madera: Madergia
Empresa de uniones: Heco/Rothoblaas/Madergia
Altura (m): 23
Nº viviendas:

Superficie planta baja: 143 m²
Superficie construida: 1.235 m²
Duración construcción del edificio: 14 meses
Duración construcción con madera: 2 meses
Presupuesto/m²: 1.134 €/m²
Ratio m³ madera/m² superficie: 0,17 m³/m²
Sótano: Sí

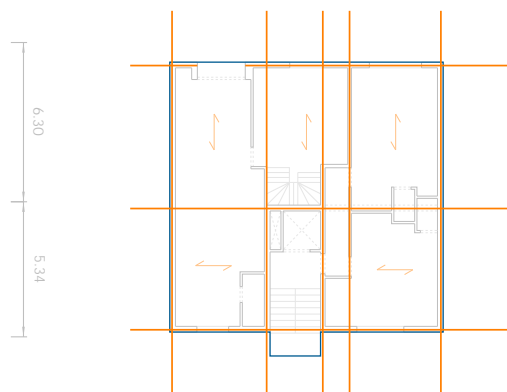
Sistema de paneles



[17]



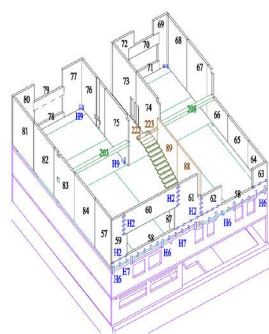
[18]



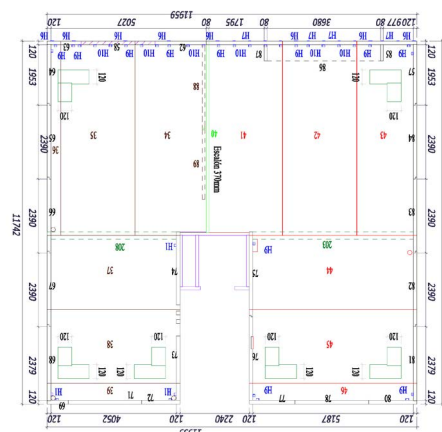
[18]



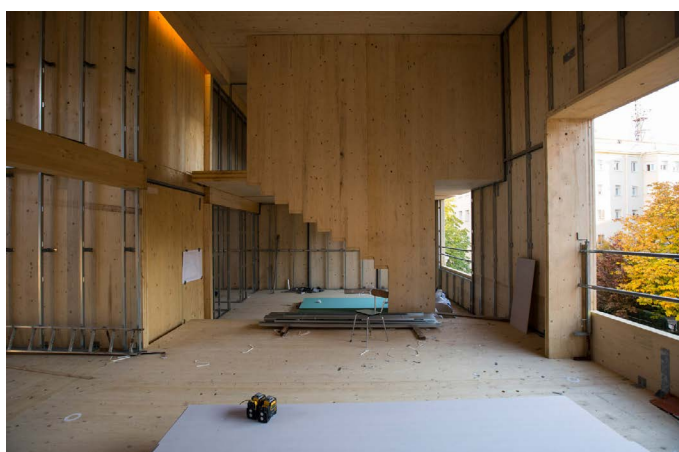
[17]



[17]



[17]



[17]



[17]

Material de planta baja: Madera
 Productos: CLT / GLT
 Combinación con otro material: No
 Sistema transmisión de cargas verticales: Paneles
 Sistema estabilización cargas horizontales:
 Pantallas de CLT
 Sistema forjados: Paneles de CLT

Organización en planta: Ejes paralelos (2 direc.)
 Luz máx. de forjado (m): 6,30
 Estrategia estructura de balcón: -
 Vuelo máximo (m): -
 Resistencia requerida frente a incendios: REI90
 Estrategias de protección: Cubrir y aumentar sección

Bloque 6x6

Gerona, 2021

6 plantas
exento



[19]



[19]



[19]

Arquitecto: Bosch Capdeferro
Promotor: Procasa SL
Proveedor de madera: Egoín
Montaje de madera: Egoín
Empresa de uniones: -
Altura (m): 22
Nº viviendas: 35

Superficie planta baja: 475 m²
Superficie construida: 4.381 m²
Duración construcción del edificio: -
Duración construcción con madera: -
Presupuesto/m²: -
Ratio m³ madera/m² superficie: 0,23 m³/m²
Sótano: Sí

Sistema de paneles

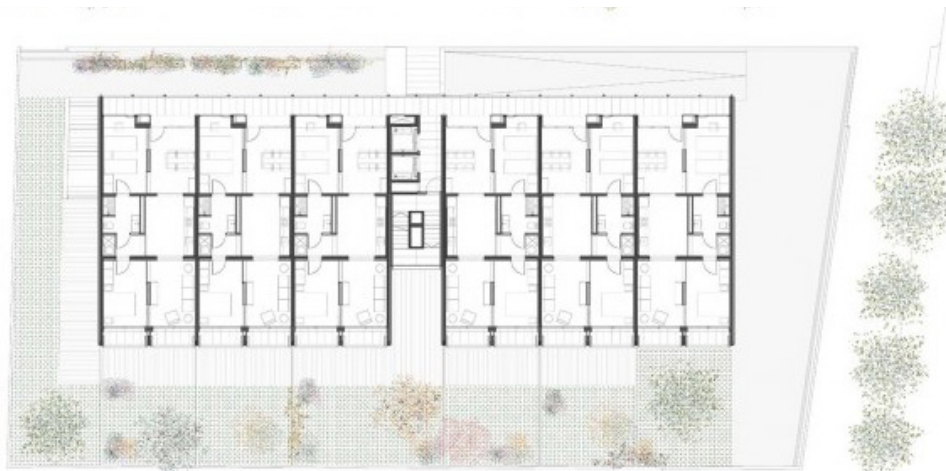


[19]



[19]

sección transversal



[19]

planta piso tipo



[19]



[19]

Material de planta baja: Madera
Productos: CLT / GLT
Combinación con otro material: No
Sistema transmisión de cargas verticales: Paneles
Sistema estabilización cargas horizontales:
Pantallas de CLT
Sistema forjados: Paneles de CLT

Organización en planta: Ejes paralelos
Luz máx. de forjado (m): 4,40
Estrategia estructura de balcón: forjado en
continuidad. Voladizo
Vuelo máximo (m): 1,90
Resistencia requerida frente a incendios: REI90
Estrategias de protección: Aumentar sección y cubrir

La Balma

Barcelona, 2021

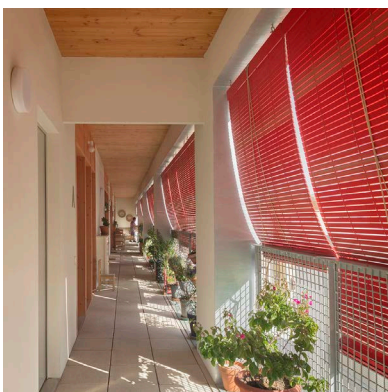
6 plantas
exento



[20]



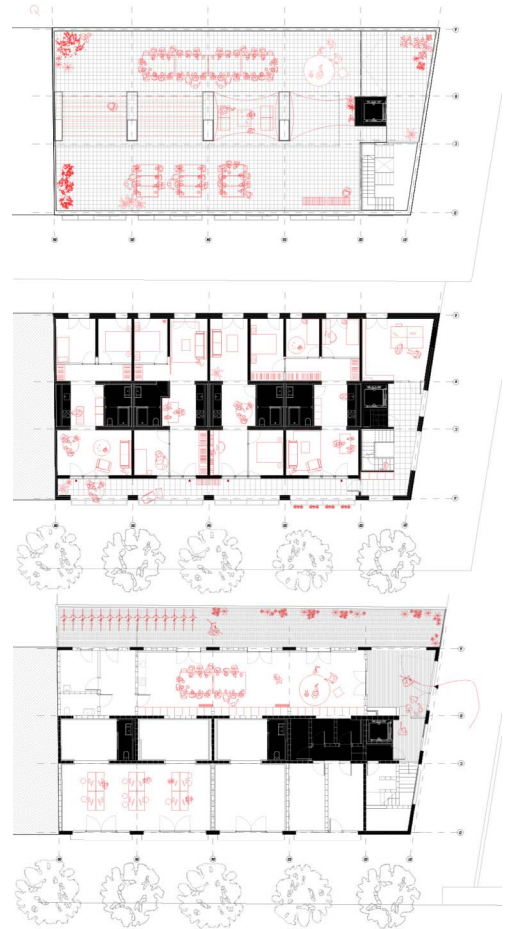
[20]



[20]



[20]



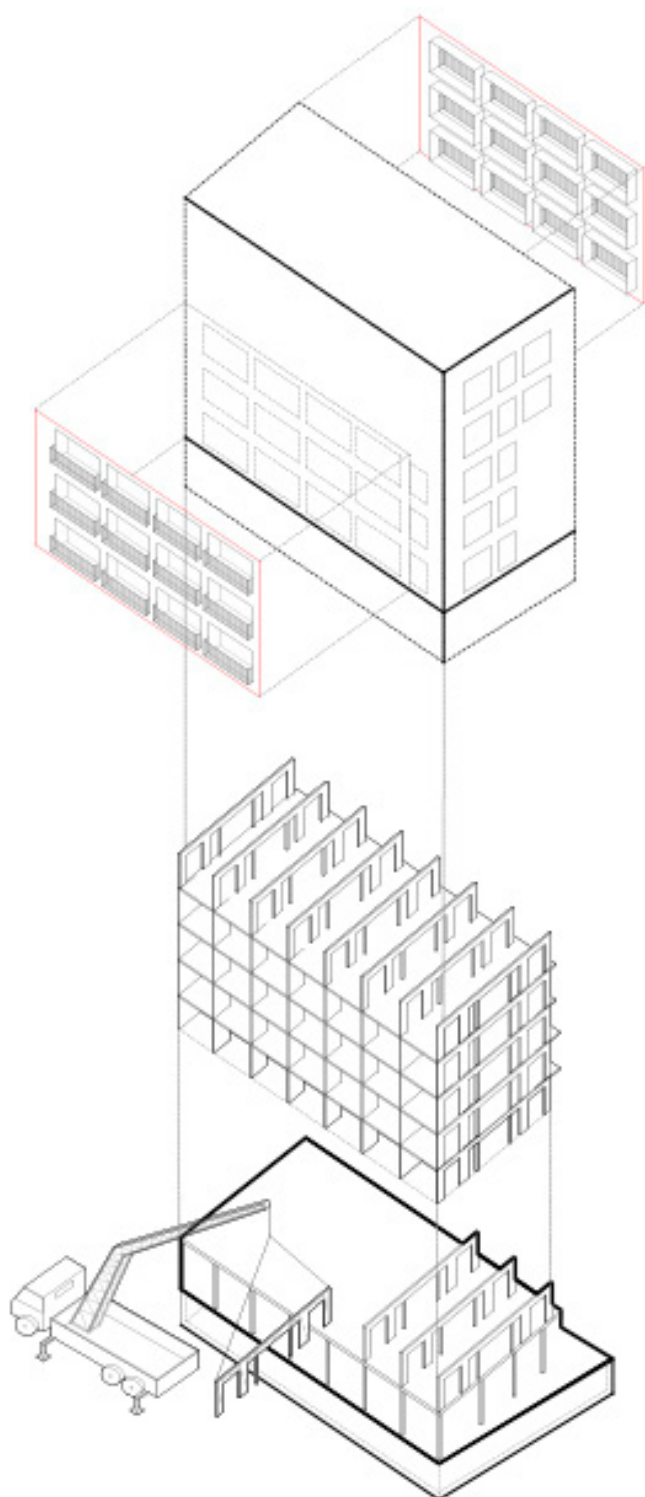
[20]



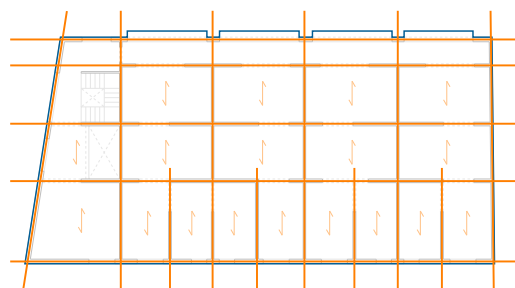
[20]

Arquitecto: La Boquería Lacol SCCL
Promotor: Sostre Cívica SCCL
Proveedor de madera: Piveteau
Montaje de madera: Velima System
Empresa de uniones: -
Altura (m): 23
Nº viviendas:

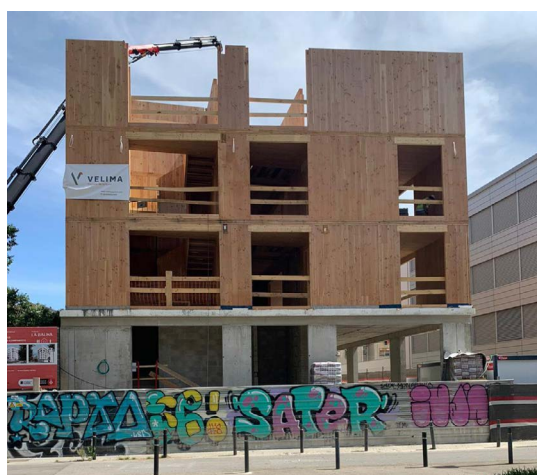
Superficie planta baja: 463 m²
Superficie construida: 2.347 m²
Duración construcción del edificio: 16 meses
Duración construcción con madera: 2 meses
Presupuesto/m²: 900 €/m²
Ratio m³ madera/m² superficie: 0,21 m³/m²
Sótano: No



[20]



[20]



[20]



[20]

Material de planta baja: Hormigón
Productos: CLT / GLT
Combinación con otro material: No
Sistema transmisión de cargas verticales: Paneles
Sistema estabilización cargas horizontales:
 Pantallas de CLT
Sistema forjados: Paneles de CLT

Organización en planta: Ejes paralelos
Luz máx. de forjado (m): 5,25
Estrategia estructura de balcón: estructura de metal en voladizo
Vuelo máximo (m): 0,55
Resistencia requerida frente a incendios: REI90
Estrategias de protección: Cubrir y aumentar sección

85 viviendas sociales

Cornellà de Llobregat, 2021

6 plantas
exento



[22]



[22]



Arquitecto: Peris+Torral Arquitectes
Promotor: AMB/IMPSOL
Proveedor de madera: Egoín
Montaje de madera: Egoín / Casa Arbre
Empresa de uniones: -
Altura (m): 21
Nº viviendas: 85

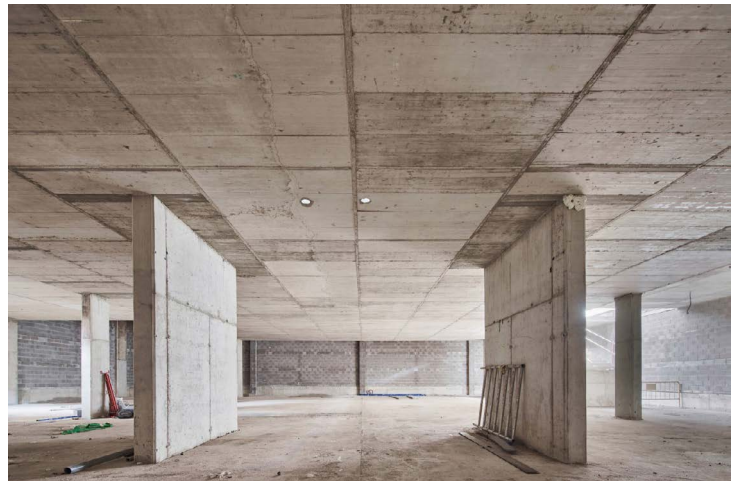
Superficie planta baja: 1.716 m²
Superficie construida: 11.250 m²
Duración construcción del edificio: 19 meses
Duración construcción con madera: 2 meses
Presupuesto/m²: 951 €/m²
Ratio m³ madera/m² superficie: 0,19 m³/m²
Sótano: Sí



[22]



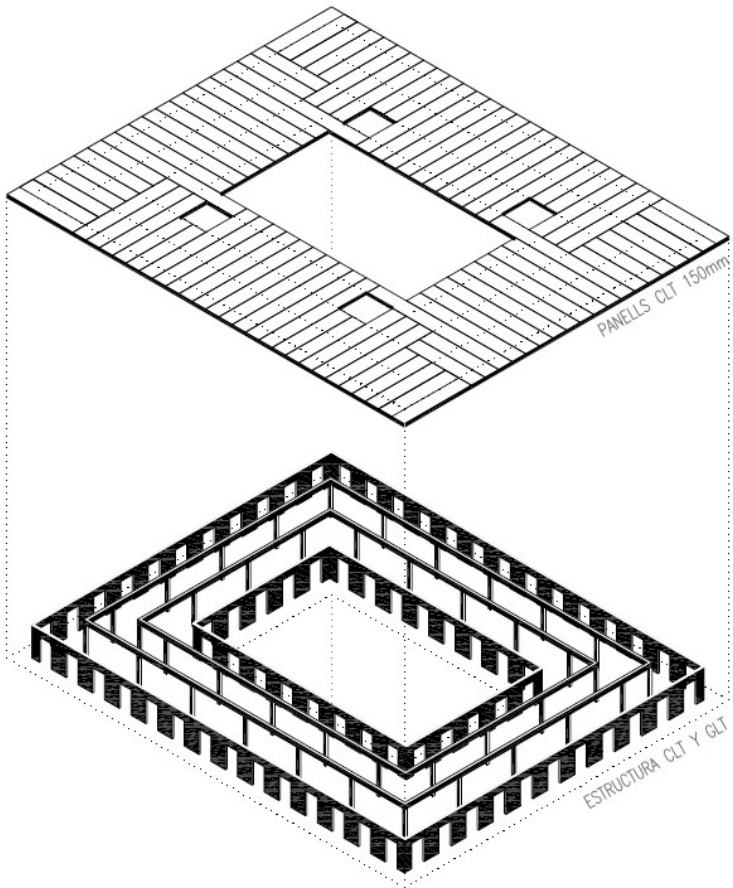
[22]



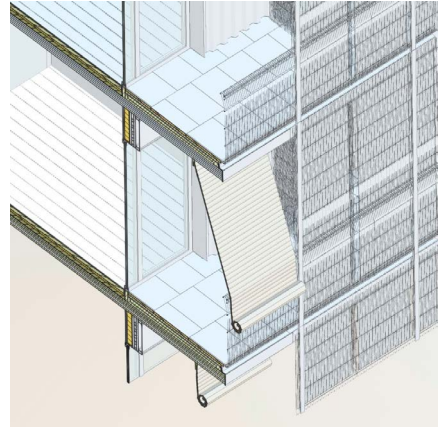
[22]

Material de planta baja: Hormigón
Productos: CLT / GLT
Combinación con otro material: No
Sistema transmisión cargas verticales: Combinación
Sistema estabilización cargas horizontales:
Pantallas de CLT
Sistema forjados: Paneles de CLT

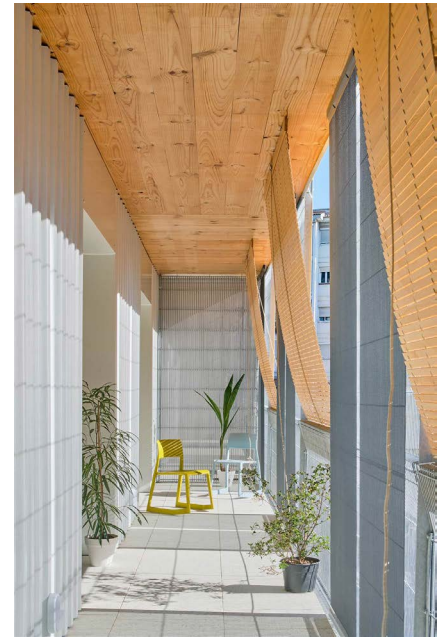
Organización en planta: Malla
Luz máx. de forjado (m): 3,95
Estrategia estructura de balcón: forjado en
continuidad. Voladizo
Vuelo máximo (m): 1,85
Resistencia requerida frente a incendios: REI90
Estrategias de protección: Cubrir y aumentar sección



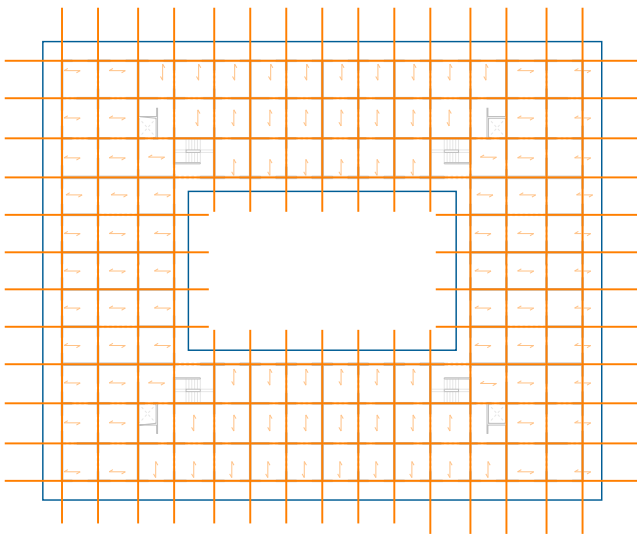
[22]



[22]



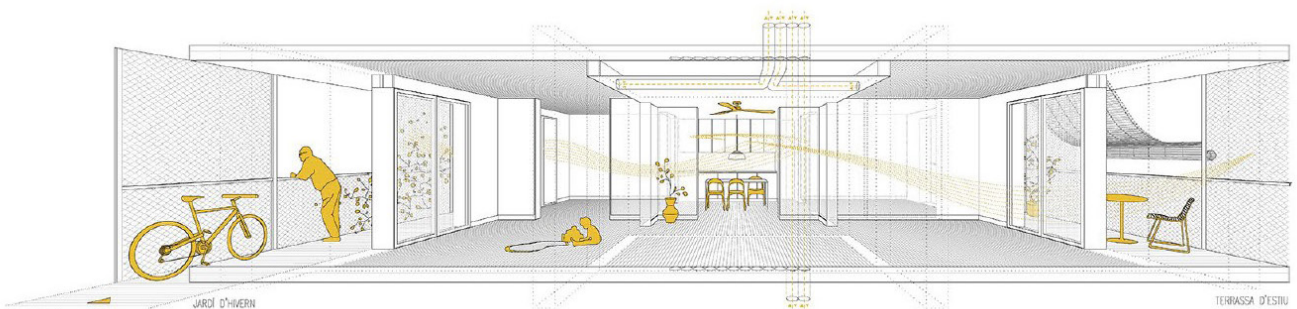
[22]



[23]



[22]



[22]

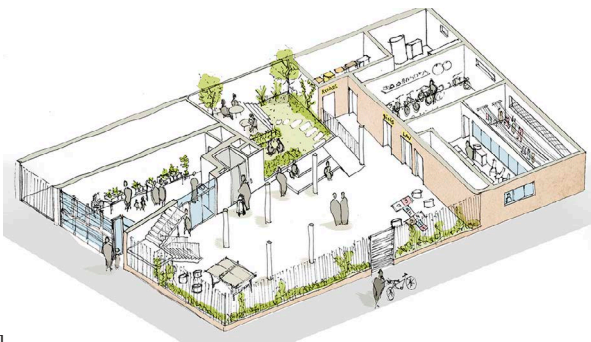
Talco cohousing

Madrid, obras no empezadas

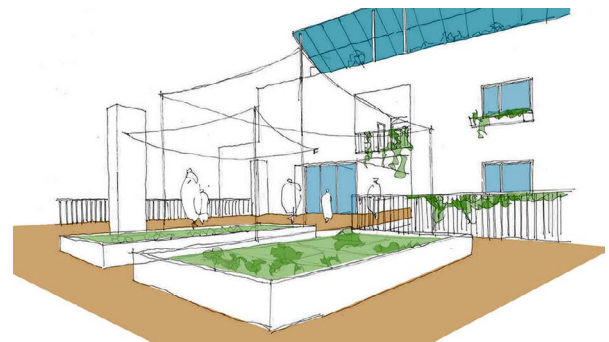
6 plantas
entre medianeras



[24]



[24]



[24]



[24]



[24]

Arquitecto: sAtt Arquitectura
Promotor: Distrito Natural. Covivienda ecológica
Proveedor de madera: -
Montaje de madera: -
Empresa de uniones: -
Altura: -
Nº viviendas: 17

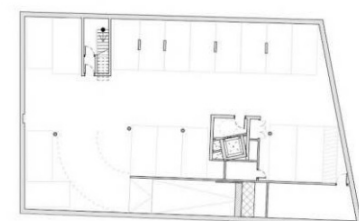
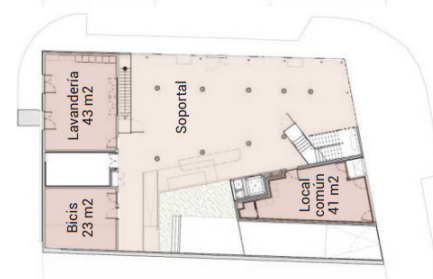
Superficie planta baja: -
Superficie construida: 2.900 m²
Duración construcción del edificio: -
Duración construcción con madera: -
Presupuesto/m²: -
Ratio m³ madera/m² superficie: -
Sótano: Sí



[25]



[25]



[26]

Material de planta baja: Madera
 Productos: CLT
 Combinación con otro material: No
 Sistema transmisión de cargas verticales: Paneles
 Sistema estabilización cargas horizontales:
 Pantallas de CLT
 Sistema forjados: Paneles de CLT

Organización en planta: Ejes paralelos (2 direc.)
 Luz máx. de forjado (m): 5,00
 Estrategia estructura de balcón: forjado en continuidad. Voladizo.
 Vuelo máximo (m): 0,85
 Resistencia requerida frente a incendios: REI90
 Estrategias de protección: Cubrir y aumentar sección

Bibliografía y recursos digitales

- Basterra, L. A., Baño, V., López, G., Cabrera, G., y Vallelado-Cordobés, P. (2023). «Identification and Trend Analysis of Multistorey Timber Buildings in the SUDOE Region». *Buildings*, 13(6). <https://doi.org/10.3390/buildings13061501>
- Basterra, L. A., Baño, V., García, I., López, G., Cabrera, G., Moltini, G. y Vallelado-Cordobés, P. (2022). Aplicación y difusión de la innovación para la promoción de la construcción en altura con madera en el espacio SUDOE: Identificación y Análisis. Universidad de Valladolid, Escuela Técnica Superior de Arquitectura
- Berners-Lee, Mike. (2010). *How Bad are Bananas? The Carbon Footprint of Everything*. London: Greystone Books.
- Bugarin, J., Correal, E., Ferrer, C., Guallart, V., Ibañez, D., Jimeno, I., Riola, F., Salka, M., y Santana, A. (2024). Informe 2023-2024 Mass Madera. IAAC. Institut d'arquitectura avançada de Catalunya.
- Green, M., y Taggart, J. (2017). *Tall Wood Buildings* (R. Stein, Ed.). Birkhäuser.
- IEA (2019), Global Status Report for Buildings and Construction 2019, IEA, Paris <https://www.iea.org/reports/global-status-report-for-buildings-and-construction-2019>
- Kaufmann, H., Krötsch, S., & Winter, S. (2018). *Manual of Multistorey Timber Construction*. München: DETAIL. <https://doi.org/10.11129/9783955533953>
- Ministerio de Fomento. (2006) Documento Básico de Seguridad en caso de incendio. <https://www.codigotecnico.org/pdf/Documentos/SI/DBSI.pdf>. Último acceso 30 de mayo de 2024.
- Premrov, M., & Žegarac Leskovar, V. (2023). Innovative Structural Systems for Timber Buildings: A Comprehensive Review of Contemporary Solutions. *Buildings* (Vol. 13, Issue 7). Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI). <https://doi.org/10.3390/buildings13071820>
- Salvadori, V. (2021). Worldwide Structural Survey of 197 Multi-Storey Timber-Based Buildings From 5 to 24 Storeys. <https://www.researchgate.net/publication/353972990>
- Salvadori, V., Marco, S. P., Co-Supervisor, T., & Winter, P. W. (2017). *The Development of a Tall Wood Building* [Tesis]. Politécnico de Milan, Universidad Técnica de Viena.
- Svatoš-Ražnjević, H., Orozco, L., & Menges, A. (2022). Advanced Timber Construction Industry: A Review of 350 Multi-Storey Timber Projects from 2000-2021. *Buildings*, 12(4). <https://doi.org/10.3390/buildings12040404>
- Tenório, M., Ferreira, R., Belafonte, V., Sousa, F., Meireis, C., Fontes, M., Vale, I., Gomes, A., Alves, R., Silva, S. M., Leitão, D., Fontes, A., Maia, C., Camões, A., & Branco, J. M. (2024). Contemporary Strategies for the Structural Design of Multi-Story Modular Timber Buildings: A Comprehensive Review. *Applied Sciences*, 14(8), 3194. <https://doi.org/10.3390/app14083194>
- Van der Lugt, P. (2012). Carbon storage utilising timber products. *Environment Industry Magazine*, (6), 76-80.

Waugh Thisleton Architects. (2023). *Timber Typologies: Understanding options for timber construction*. Timber Development UK.

Majano, M^a. A., Lara, J. A., Roi, A. (2024). *Productos* [Clase]. Asignatura Taller Experimental 2: Diseño y Fabricación Digital de Estructuras de Madera. ETSAM, UPM, Madrid, España.

SylvaTM by Stora Enso. Stora Enso. <https://www.storaenso.com/en/products/mass-timber-construction/sylva>. Último acceso 20 de mayo de 2024.

Información pormenorizada de los casos

Proyectos. Egoín Wood Group. <https://egoín.com/projects/>. Último acceso 30 de mayo de 2024.

Project listings. Stora Enso. <https://references.buildingsolutions.storaenso.com/en/projects>. Último acceso 30 de mayo de 2024.

Referencias. KLH. https://www.klh.at/es/referencias/?fwp_country=espana. Último acceso 30 de mayo de 2024.

Casos. Mass Madera. <https://massmadera.org/casos/>. Último acceso 30 de mayo de 2024.

Mapa Colaborativo. Toca Madera · Sounds Wood. <https://tocamaderablog.com/mapa-colaborativo-construccion/>. Último acceso 30 de mayo de 2024.

[alterMATERIA] (18 de septiembre de 2020). Edificio de 4 plantas en panel CLT (madera contralaminada). Palma de Mallorca. alterMATERIA. 2020 [Video]. Youtube. https://youtu.be/UDGypKGaoJM?si=Xsj_EsKX7dhBcSzk. Último acceso el 30 de mayo de 2024.

(20 de febrero de 2024). Visita a la construcción del edificio en madera más alto de Navarra, en el barrio pamplonés de Azpilagaña. *Noticias de Navarra* <https://www.noticiasdenavarra.com/sociedad/2024/02/20/visita-construccion-edificio-madera-alto-7897539.html>. Último acceso 29 de abril de 2024.

(22 de julio de 2022). El edificio ‘Terrazas para la vida’ se convertirá en el más alto de Cataluña construido con madera. *El periódico de España*. <https://www.epe.es/es/fotos/activos/edificio-terrazas-vida-convertira-alto-14143771>. Último acceso 30 de mayo de 2024.

[Madrid Design Festival] (6 de febrero de 2024). IV PREMIO MINI DE DISEÑO □ Finalista: TERRAZAS PARA LA VIDA de Urbanitree [Video]. Youtube. https://youtu.be/g_khY7K4oS4?si=Bfig-aQ2ckjxGoJa. Último acceso 30 de mayo de 2024.

Vicente Guallart. (Julio 2023). Growing “Terrazas para la vida” in Barcelona with Daniel Ibañez , that will be the tallest timber building in Spain. LinkedIn. https://www.linkedin.com/posts/vicente-guallart-49a94315_growing-terrazas-para-la-vida-in-barcelona-activity-7077513619046817792-h6O7?utm_source=share&utm_medium=member_desktop. Último acceso 30 de mayo de 2024.

(22 de abril de 2022) Edificio de viviendas sociales será la construcción en madera más alta de Cataluña. Madera 21. <https://www.madera21.cl/blog/2022/04/22/edificio-de-viviendas-sociales-sera-la-construccion-en-madera-mas-alta-de-cataluna/>. Último acceso 30 de mayo de 2024.

Cirerers, covivienda cooperativa en Roquetes. Celobert. <https://celobert.coop/es/proyectos/cirerers/>. Último acceso el 12 de mayo de 2024.

La Comunitat Habitacional. Cierto Estudio. <https://ciertoestudio.com/La-Comunitat-Habitacional>. Último acceso 20 de mayo de 2024.

(24 de febrero de 2022) Empiezan las obras de la manzana Glòries, la promoción de vivienda pública más grande de la ciudad. *www.barcelona.cat*. https://www.habitatge.barcelona/es/noticia/empiezan-las-obras-de-isla-glories-la-promocion-de-vivienda-publica-mayor-de-la-ciudad_1148591. Último acceso 20 de mayo de 2024.

Marta Armengol. (2017). La Comunitat Habitacional. Marta Armengol. <https://martarmengol.com/Glories>. Último acceso 20 de mayo de 2024.

Cooperativa de vivienda La Borda, Barcelona. Arquitectura Viva. <https://arquitecturaviva.com/obras/lacol-arquitectura-cooperativa-la-borda-28-en-barcelona-zs6o2>. Último acceso 30 de mayo de 2024.

(1 de agosto de 2019) Edificio La Borda / Lacol. ArchDaily en Español. <https://www.archdaily.cl/cl/922182/edificio-la-borda-lacol>. ISSN 0719-8914. Último acceso el 30 de mayo de 2024.

[Lacol arquitectura cooperativa] (25 de mayo de 2020). La Borda: visita arquitectónica [Video]. Youtube. <https://youtu.be/YQYTrgeT7jY?si=Ka7cUVF6brZX7q3c>. Último acceso el 30 de mayo de 2024.

(3 de mayo de 2023) Entregadas las 21 viviendas sostenibles que Eiffage Conscyttec ha construido en Sabadell. Eiffage Energía Sistemas. <https://www.eiffageenergiasistemas.com/2023/05/03/entregadas-las-21-viviendas-sostenibles-que-eiffage-conscyttec-ha-construido-en-sabadell/>. Último acceso el 30 de mayo de 2024.

Edifici de Fusta Contralaminada de 6 plantes. Trass Arquitectura. <http://arquitecturatrass.cat/cavallers.html>. Último acceso 31 de mayo de 2024.

[alterMATERIA] (24 de julio de 2013). Edificio de seis plantas con panel contralaminado - CLT. Lleida. alterMATERIA. 2013 [Video]. Youtube. <https://youtu.be/bVR7ecU1E-E?si=Y2oeFHCz6BGxLVPa>. Último acceso el 30 de mayo de 2024.

ARV8. Ábaton. <https://abatton.es/es/proyectos/arv8/>. Último acceso 20 de mayo de 2024.

David Mimbero Tectónica. (4 de mayo de 2020). Edificio ARV8 con estructura de madera CLT, por ÁBATON. Tectónica. <https://tectonica.archi/projects/viviendas-arv8/>. Último acceso 30 de mayo de 2024.

Bloque 6x6: 35 viviendas en Girona. Bosch.capdeferro.arquitectura. <https://www.boschcapdeferro.com/es/obra/bloque-6x6.html>. Último acceso 30 de mayo de 2024.

Bloque 6x6, Gerona. Arquitectura Viva. <https://arquitecturaviva.com/obras/bloque-6x6-en-gerona>. Último acceso 30 de mayo de 2024.

La Balma Habitatge Cooperatiu. Lacol. <https://www.lacol.coop/projectes/la-balma/>. Último acceso 30 de mayo de 2024.

85 viviendas sociales en Cornellà de Peris+Toral Arquitectes. Tectónica. <https://tectonica.archi/projects/85-viviendas-sociales-en-cornella-de-peris-toral-arquitectes/>. Último acceso 30 de mayo de 2024.

[Distrito Natural] (5 de febrero de 2024). Entre generaciones, vivienda social para jóvenes en colaboración con mayores [Video]. Youtube. <https://youtu.be/RbInINPBd-c?si=Xjv3WYhjkUNpeYcJ>. Último acceso 30 de mayo de 2024.

(15 de febrero de 2021) Talco, modelo pionero de covivienda ecológica en Madrid. Distrito Natural. <https://distritonatural.es/talco-modelo-pionero-de-covivienda-ecologica-en-madrid/>. Último acceso el 30 de mayo de 2024.

Covivienda Ecológica Talco. sAtt. https://satt.es/portfolio_page/covivienda-ecologica-talco/. Último acceso 31 de mayo de 2024.

Procedencia de las tablas y figuras

Tabla 1: elaboración propia.

Tabla 2: elaboración propia.

Tabla 3: elaboración propia.

Tabla 4: elaboración propia.

Figura portada: Bloque 6x6, tomada de <https://www.boschcapdeferro.com/es/obra/bloque-6x6.html>. Último acceso 30 de mayo de 2024.

Figura 01: tomada de <https://egoin.com/sobre-egoin/>. Último acceso 28 de mayo de 2024.

Figura 02: de Javier Bergasa, tomada de *Noticias de Navarra* en <https://www.noticiasdenavarra.com/sociedad/2024/02/20/visita-construccion-edificio-madera-alto-7897539.html>. Último acceso 29 de abril de 2024.

Figura 03: tomada de https://www.researchgate.net/figure/Figura-2-Grabado-de-La-Cabana-Primitiva-por-Charles-Dominique-Eisen-en-M-Laugier_fig2_351142399. Último acceso 26 de mayo de 2024.

Figura 04: tomada de <https://egoin.com/projects/santa-cruz-campezo-7-vdas/>. Último acceso 26 de mayo de 2024.

Figura 05: tomada de <https://egoin.com/sobre-egoin/>. Último acceso 28 de mayo de 2024.

Figura 06: tomada de <https://www.traveler.es/naturaleza/articulos/sierra-de-francia-salamanca-senderismo-pueblos-que-ver/19157>. Último acceso 28 de mayo de 2024.

Figura 07: elaboración propia con imágenes tomadas de la clase «Productos» de la asignatura Taller Experimental 2. Diseño y Fabricación Digital de Estructuras de Madera, de M^a Almudena Majano, Antonio José Lara y Antonio Roij en la ETSAM (UPM); y <https://www.madera21.cl/blog/2018/02/15/dlt-el-nuevo-producto-de-madera-maciza-especial-para-pisos-y-techos/>. Último acceso 27 de mayo de 2024.

Figura 08: tomada de <https://maderayconstruccion.com/torre-mjostarnet-noruega-arquitecturademadera/>. Último acceso el 29 de mayo de 2024.

Figura 09: tomada de <http://www.wooddesignandbuilding.com/dowel-laminated-timber/>. Último acceso el 29 de mayo de 2024.

Figura 10: de Ken'ichi Suzuki, tomada de <https://www.archdaily.cl/cl/892195/kiterasu-edificio-modelo-en-clt-en-la-estacion-kuse-ofa>. Último acceso el 29 de mayo de 2024.

Figura 11: de Javier Orive, tomada de <https://www.archdaily.cl/cl/722852/metropol-parasol-jurgen-mayer>. Último acceso el 29 de mayo de 2024.

Figura 12: tomada de <https://maderamen.com.ar/todo-madera/2016/12/21/advanced-framing/>. Último acceso el 29 de mayo de 2024.

Figura 13: elaboración propia.

- Figura 14: tomada de <https://madera-sostenible.com/arquitectura/aeo-asociacion-espanola-de-oficinas-premia-al-edificio-wittywood/>. Último acceso 27 de mayo de 2024.
- Figura 15: tomada de <https://www.archdaily.com/903839/worlds-largest-clt-building-provides-a-model-for-high-density-urban-housing>. Último acceso 30 de mayo de 2024.
- Figura 16: tomada de <https://www.ursem.nl/en/projects/hotel-jakarta/>. Último acceso el 29 de mayo de 2024.
- Figura 17: tomada de <https://www.thinkwood.com/construction-projects/brock-commons-tallwood-house>. Último acceso el 29 de mayo de 2024.
- Figura 18: tomada de <https://www.architectureanddesign.com.au/suppliers/xlam/xlam-timber-meets-brief-for-royd-clan-s-house>. Último acceso 30 de mayo de 2024.
- Figura 19: elaboración propia.
- Figura 20: tomada de <https://www.hess-timber.com/en/references/detail/international-house-sydney/>. Último acceso 29 de mayo de 2024.
- Figura 21: tomada de <https://sabmagazine.com/mainstreaming-mass-wood-construction/>. Último acceso 29 de mayo de 2024.
- Figura 22: de Stora Enso, en <https://buildingconcepts.storaenso.com/en/find-your-concept/multi-storey-residential---beam-and-column>. Último acceso 30 de mayo de 2024.
- Figura 23: figura B.1 10 en *Manual of Multistorey Timber Construction*.
- Figura 24: de Stora Enso, en <https://www.storaenso.com/en/products/mass-timber-construction/building-products/rib-panels>. Último acceso 27 de mayo de 2024.
- Figura 25: tomada de <https://archello.com/es/project/brock-commons-tallwood-house>. Último acceso 30 de mayo de 2024.
- Figura 26: figura 5 de *Advanced Timber Construction Industry: A Review of 350 Multi-Storey Timber Projects from 2000-2021*.
- Figura 27: tomada de <http://www.vallabersa.se/lagenheterna/>. Último acceso 27 de mayo de 2024.
- Figura 28: elaboración propia a partir de imágenes tomadas de Stora Enso, en <https://buildingconcepts.storaenso.com/en/find-your-concept/multi-storey-residential---beam-and-column>. Último acceso 22 de mayo de 2024.
- Figura 29: de Stora Enso, en <https://buildingconcepts.storaenso.com/en/find-your-concept/multi-storey-residential---beam-and-column>. Último acceso 22 de mayo de 2024.
- Figura 30: figura E.1 en el *Documento Básico de Seguridad en Caso de Incendio del Código Técnico Estructural*
- Figura 31: figura C.1 10 en *Manual of Multistorey Timber Construction*.
- Figura 32: captura de pantalla del «Mapa Colaborativo Interactivo» de Toca Madera en su web <https://tocamaderablog.com/mapa-colaborativo-construccion/>. Último acceso 30 de mayo de 2024.
- Figura 33: elaboración propia.
- Figura 34: elaboración propia.

Figura 35: de Javier Bergasa, tomada de *Noticias de Navarra* en <https://www.noticiasdenavarra.com/sociedad/2024/02/20/visita-construccion-edificio-madera-alto-7897539.html>. Último acceso 29 de abril de 2024.

Figura 36: de Daniel Ibáñez, en su publicación de LinkedIn https://www.linkedin.com/posts/daniiiibanez_masstمبر-clt-socialhousing-activity-7178639404884705280-cCjx?utm_source=share&utm_medium=member_desktop. Último acceso 30 de mayo de 2024.

Figura 37: elaboración propia.

Figura 38: elaboración propia.

Figura 39: elaboración propia.

Figura 40: elaboración propia.

Figura 41: elaboración propia.

Figura 42: elaboración propia.

Figura 43: elaboración propia.

Figura 44: elaboración propia.

Figura 45: tomada de <https://ciertoestudio.com/Illa-Glories>. Último acceso el 27 de mayo de 2024.

Figura 46: de Lluç Miralles, tomada de <https://www.lacol.coop/projectes/laborda/>. Último acceso el 26 de abril de 2024.

Figura 47: de Lluç Miralles, tomada de <https://www.archdaily.cl/cl/922182/edificio-la-borda-lacol>. Último acceso el 26 de abril de 2024.

Figura 48: elaboración propia.

Figura 49: elaboración propia.

Figura 50: elaboración propia.

Figura 51: elaboración propia.

Figura 52: de Victòria Rovira, tomada de *Diari de Sabadell* en <https://www.diaridesabadell.com/2021/11/03/estructura-edifici-fusta-carretera-barcelona-sabadell/>. Último acceso 30 de mayo de 2024.

Figura 53: tomada de <https://tectonica.archi/projects/85-viviendas-sociales-en-cornella-de-peris-toral-arquitectes/>. Último acceso el 30 de mayo de 2024.

Figura 54: elaboración propia.

Figura 55: elaboración propia.

Figura 56: elaboración propia.

Figura 57: elaboración propia.

Figura 58: de José Hevia, tomada de <https://www.metalocus.es/es/noticias/repensar-la-sostenibilidad-85-viviendas-sociales-por-peristoral-arquitectes>.

Figura 59: tomada de <https://www.eiffageenergiasistemas.com/2023/05/03/entregadas-las-21-viviendas-sostenibles-que-eiffage-conscyttec-ha-construido-en-sabadell/>. Último acceso el 30 de mayo de 2024.

Figuras en el anejo de fichas resumen de casos de estudio

[1] Cadwork Ibérica & Latinoamérica. (Febrero 2023). “El reto es tecnológico, te obliga a mayor planificación del proyecto porque cada pieza tiene que encajar a la perfección. LinkedIn. https://www.linkedin.com/posts/cadwork-ib%C3%A9rica-latinoam%C3%A9rica_cadwork-bim-3d-activity-

7166391529006088192-eiNt?utm_source=share&utm_medium=member_desktop. Último acceso 30 de mayo de 2024.

[2] (9 de junio de 2021). Navarra promueve un edificio con estructura de madera, certificación Passivhaus y uso exclusivo de energías renovables. *Innovando en la construcción*. <https://innovandoenlaconstruccion.com/navarra-promueve-un-edificio-con-estructura-de-madera-certificacion-passivhaus-y-uso-exclusivo-de-energias-renovables/>. Último acceso 30 de mayo de 2024.

[3] (20 de febrero de 2024). Visita a la construcción del edificio en madera más alto de Navarra, en el barrio pamplonés de Azpilagaña. *Noticias de Navarra* <https://www.noticiasdenavarra.com/sociedad/2024/02/20/visita-construccion-edificio-madera-alto-7897539.html>. Último acceso 29 de abril de 2024.

[4] Vicente Guallart. (Julio 2023). Growing “Terrazas para la vida” in Barcelona with Daniel Ibañez, that will be the tallest timber building in Spain. LinkedIn. https://www.linkedin.com/posts/vicente-guallart-49a94315-growing-terrazas-para-la-vida-in-barcelona-activity-7077513619046817792-h6O7?utm_source=share&utm_medium=member_desktop. Último acceso 30 de mayo de 2024.

[5] CLT para el edificio más alto de vivienda social en España. Connections by Finsa. <https://www.connectionsbyfinsa.com/clt-edificio-mas-alto-vivienda-social/>. Último acceso 30 de mayo de 2024.

[6] Cirerers, covivienda cooperativa en Roquetes. Celobert. <https://celobert.coop/es/proyectos/cirerers/>. Último acceso el 12 de mayo de 2024.

[7] La Comunitat Habitacional. Cierto Estudio. <https://ciertoestudio.com/La-Comunitat-Habitacional>. Último acceso 20 de mayo de 2024.

[8] Marta Armengol. (2017). La Comunitat Habitacional. Marta Armengol. <https://martarmengol.com/Glories>. Último acceso 20 de mayo de 2024.

[9] Elaboración propia

[10] Cooperativa de vivienda La Borda, Barcelona. Arquitectura Viva. <https://arquitecturaviva.com/obras/lacol-arquitectura-cooperativa-la-borda-28-en-barcelona-zs6o2>. Último acceso 30 de mayo de 2024.

[11] (3 de mayo de 2023) Entregadas las 21 viviendas sostenibles que Eiffage Conscytec ha construido en Sabadell. Eiffage Energía Sistemas. <https://www.eiffageenergiasistemas.com/2023/05/03/entregadas-las-21-viviendas-sostenibles-que-eiffage-conscytec-ha-construido-en-sabadell/>. Último acceso el 30 de mayo de 2024.

[12] Elaboración propia

[13] Basterra, L. A., Baño, V., López, G., Cabrera, G., y Vallelado-Cordobés, P. (2023). «Identification and Trend Analysis of Multistorey Timber Buildings in the SUDOE Region». *Buildings*, 13(6). <https://doi.org/10.3390/buildings13061501>

[14] Edifici de Fusta Contralaminada de 6 plantes. Trass Arquitectura. <http://arquitecturatrass.cat/cavallers.html>. Último acceso 31 de mayo de 2024.

[15] Basterra, L. A., Baño, V., López, G., Cabrera, G., y Vallelado-Cordobés, P. (2023). «Identification and Trend Analysis of Multistorey Timber Buildings in the SUDOE Region». *Buildings*, 13(6). <https://doi.org/10.3390/buildings13061501>

[16] Elaboración propia

[17] David Mimbero Tectónica. (4 de mayo de 2020). Edificio ARV8 con estructura de madera CLT, por ÁBATON. Tectónica. <https://tectonica.archi/projects/viviendas-arv8/>. Último acceso 30 de mayo de 2024.

[18] Elaboración propia

[19] Bloque 6x6, Gerona. Arquitectura Viva. <https://arquitecturaviva.com/obras/bloque-6x6-en-gerona>. Último acceso 30 de mayo de 2024.

[20] La Balma Habitatge Cooperatiu. Lacol. <https://www.lacol.coop/projectes/la-balma/>. Último acceso 30 de mayo de 2024.

[21] Elaboración propia

[22] 85 viviendas sociales en Cornellà de Peris+Torral Arquitectes. Tectónica. <https://tectonica.archi/projects/85-viviendas-sociales-en-cornella-de-peris-torral-arquitectes/>. Último acceso 30 de mayo de 2024.

[23] Elaboración propia

[24] Covivienda Ecológica Talco. sAtt. https://satt.es/portfolio_page/covivienda-ecologica-talco/. Último acceso 31 de mayo de 2024.[25]

[25] Elaboración propia

[26] (15 de febrero de 2021) Talco, modelo pionero de covivienda ecológica en Madrid. Distrito Natural. <https://distritonatural.es/talco-modelo-pionero-de-covivienda-ecologica-en-madrid/>. Último acceso el 30 de mayo de 2024.

