



ETSAVA  
ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE ARQUITECTURA  
UNIVERSIDAD DE VALLADOLID

Isabel García Arranz

# ESTRUCTURAS DE **MADERA** PARA EDIFICIOS DE MEDIA Y GRAN **ALTURA**

Evolución y estado actual  
en el panorama internacional







“La madera es el material de construcción más noble que se conoce, ya que, junto a su innata belleza, ofrece la máxima facilidad de trabajo, pequeña densidad y gran resistencia, siendo, por consiguiente, la materia prima por excelencia para que el hombre pueda plasmar en ella las más varias concepciones del arte”.

Fernando Nájera y Ángulo









Universidad de Valladolid

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE ARQUITECTURA  
Grado en Fundamentos de la Arquitectura

# **ESTRUCTURAS DE MADERA PARA EDIFICIOS DE MEDIA Y GRAN ALTURA**

**EVOLUCIÓN Y ESTADO ACTUAL EN EL PANORAMA INTERNACIONAL**

TRABAJO DE FIN DE GRADO

Julio 2021

Autor: ISABEL GARCÍA ARRANZ

Tutor: LUIS-ALFONSO BASTERRA OTERO | Dr. Arq. (UVa)

Cotutor: VANESA BAÑO GÓMEZ | Dr. Ing. (Cesefor)



## Agradecimientos

A mi tutor, el profesor Dr. Luis-Alfonso Basterra Otero, que, como guía de este trabajo, me ha orientado, apoyado y corregido en la labor de investigación, aportando su conocimiento y acompañamiento a lo largo de todo el proceso.

A mis compañeros del Grupo de Investigación Reconocido en Estructuras y Tecnología de la Madera de la UVA, centro que me abrió sus puertas, me ofreció su conocimiento y toda la ayuda necesaria; un lugar del que me llevo grandes profesores y amigos.

Al profesor Gamaliel López, que desde el principio me ha guiado en este “viaje”, aportando su tiempo y dedicación y a Patricia, por su cercanía y por hacer de esta experiencia algo inolvidable.

Al equipo de CESEFOR, y en especial a Vanesa, cotutora de este trabajo, por compartir su conocimiento y por la motivación y fuerza transmitida.

Por último, y no por ello menos importante, me gustaría agradecer a todas las personas que me acompañan en mi vida personal y que en todo momento me han mostrado su apoyo y han creído en mí. A mi familia y a todos los que me aprecian y me lo demuestran día a día.

GRACIAS.

## Resumen / abstract

**Resumen** Este trabajo analiza la situación actual de la construcción de edificios de media y gran altura con estructura de madera en el panorama internacional. Para ello, comienza con una revisión del recorrido histórico que ha seguido la madera estructural desde sus orígenes, alcanzando diferentes alturas hasta llegar a las asombrosas cotas actuales. También muestra la evolución técnica que ha seguido la madera desde su primigenia versión aserrada maciza hasta los innovadores productos industrializados actuales, reflejados en un estudio de casos ejemplares en todo el mundo y, más concretamente, en el suroeste europeo. Debido a estos avances, la madera se presenta hoy como el material del siglo XXI, un material en continuo desarrollo capaz de dar respuesta a la demanda de materiales de construcción eficiente y sostenible; un material que abre paso a un posible cambio de paradigma en las construcciones de las ciudades futuras.

**Palabras clave:** madera, estructura, edificio en altura, madera laminada, CLT, sostenibilidad.

**Abstract** This work analyses the current situation of the construction of medium- and high-rise buildings with a timber structure on the international scene. To do so, it begins with a review of the historical path that structural timber has followed from its origins, growing from different heights to the astonishing heights of today. It also shows the technical evolution of wood from its original solid sawn version to today's innovative industrialized products, reflected in several case studies around the world and, more specifically, in south-western Europe. Due to these advances, timber is presented today as the material of the 21st century, a material under continuous development that is able to respond to the demand for efficient and sustainable building; a resource that can lead the way to a possible paradigm shift in the constructions of the future cities.

**Key words:** timber, structure, high-rise building, laminated timber, CLT, sustainability.



# Índice

|  |           |
|--|-----------|
| Agradecimientos.....   | 6         |
| Resumen / abstract .....                                       | 7         |
| <br>   |           |
| <b>Capítulo 0. Introducción, objetivos y metodología .....</b> | <b>11</b> |
| Introducción .....   | 12        |
| Objetivos.....   | 13        |
| Metodología de trabajo .....                                   | 14        |
| <br>   |           |
| <b>Capítulo 1. Antecedentes.....</b>                           | <b>17</b> |
| <b>1 Evolución de las técnicas constructivas.....</b>          | <b>18</b> |
| 1.1 Entramado pesado.....                                      | 21        |
| 1.1.1 Sistema de barras apiladas .....                         | 21        |
| 1.1.2 Sistema de pórticos: pilares y vigas .....               | 22        |
| 1.1.3 Sistemas cuajados: rellenos.....                         | 23        |
| 1.2 Entramado ligero .....                                     | 25        |
| 1.2.1 Sistema de globo .....                                   | 25        |
| 1.2.2 Sistema de plataformas .....                             | 26        |
| 1.3 Armaduras de cubierta .....                                | 28        |
| 1.3.1 Cerchas .....  | 29        |
| 1.3.2 Bóvedas .....  | 30        |
| 1.3.3 Soluciones híbridas .....                                | 33        |
| 1.3.4 Chapiteles.....  | 33        |
| <b>2 Construcciones de madera en altura .....</b>              | <b>36</b> |
| 2.1 Oriente.....   | 37        |
| 2.1.1 Monasterio colgante de Datong .....                      | 37        |
| 2.1.2 La pagoda.....   | 37        |
| 2.1.3 Castillo de Himeji.....                                  | 38        |
| 2.2 Occidente.....   | 39        |
| 2.2.1 Casas medievales con entramado de madera .....           | 39        |
| 2.2.2 La iglesia de Heddal.....                                | 40        |
| 2.2.3 Iglesias de Rumanía .....                                | 40        |
| 2.2.4 The House Mill .....                                     | 41        |
| <b>3 Los nuevos materiales .....</b>                           | <b>42</b> |
| 3.1 Debilidades de la madera.....                              | 42        |
| 3.2 Los nuevos materiales .....                                | 45        |
| 3.2.1 Acero.....   | 45        |
| 3.2.2 Hormigón armado .....                                    | 46        |
| 3.3 Primeros rascacielos .....                                 | 48        |

|  |            |
|--|------------|
| <b>Capítulo 2. Madera estructural .....</b>                      | <b>51</b>  |
| <b>4 Industria de la madera .....</b>                            | <b>52</b>  |
| 4.1 Madera laminada encolada .....                               | 52         |
| 4.1.1 Madera laminada .....                                      | 52         |
| 4.1.2 Madera laminada encolada .....                             | 54         |
| 4.2 Adhesivos y uniones .....                                    | 57         |
| 4.2.1 Adhesivo de caseína.....                                   | 57         |
| 4.2.2 Adhesivo de formaldehído .....                             | 57         |
| 4.2.3 Adhesivo epoxi y otros .....                               | 58         |
| 4.2.4 Uniones dentadas ( <i>finger joints</i> ) .....            | 58         |
| <b>5 Productos de madera estructural .....</b>                   | <b>60</b>  |
| 5.1 Madera Laminada Encolada (GLT) .....                         | 62         |
| 5.2 Madera Laminada Cruzada (CLT) .....                          | 63         |
| 5.3 Madera Microlaminada (LVL) .....                             | 65         |
| 5.4 Madera Laminada de Virutas (LSL).....                        | 66         |
| 5.5 Madera de Chapas Paralelas (PSL).....                        | 67         |
| 5.6 Paneles Celulares Ecológicos (ETC) .....                     | 68         |
| 5.7 Paneles de madera-madera (TTP) .....                         | 69         |
| <b>6 Tipologías estructurales para edificios en altura .....</b> | <b>70</b>  |
| 6.1 Entramado pesado (poste y viga).....                         | 71         |
| 6.2 Entramado ligero .....                                       | 72         |
| 6.3 Madera en masa (CLT).....                                    | 73         |
| 6.4 Sistemas combinados .....                                    | 74         |
| 6.5 Sistemas mixtos .....  | 74         |
| <br>   |            |
| <b>Capítulo 3. Casos de estudio.....</b>                         | <b>77</b>  |
| <b>7 Edificios de media y gran altura .....</b>                  | <b>78</b>  |
| <br>   |            |
| <b>Capítulo 4. Consideraciones finales.....</b>                  | <b>115</b> |
| <b>8 Consideraciones finales .....</b>                           | <b>116</b> |
| <br>   |            |
| <b>Bibliografía .....</b>  | <b>123</b> |



Capítulo 0

## **Introducción, objetivos y metodología**

---

## Introducción

Desde los orígenes de la madera como material de construcción, su evolución y desarrollo han estado estrechamente ligados y condicionados por el progreso de las técnicas para su manipulación y labra. A su vez, los avances de la arquitectura aparecen como el motor que ha llevado a la madera maciza hasta los productos industrializados actuales y las investigaciones en desarrollo. A su vez, la disponibilidad del material, así como la tradición local y cultural, juegan también un papel fundamental en su evolución.

El recorrido histórico de las construcciones en madera y las construcciones en altura no han seguido la misma trayectoria a lo largo de los años. Sin embargo, la evolución de las técnicas constructivas de madera, en la que juega un papel fundamental el CLT, han permitido dirigir ambos criterios, madera y altura, hacia un mismo camino: dar respuesta a la tipología edificatoria demandada por las ciudades sostenibles.

Los siguientes apartados muestran la evolución que ha seguido la madera desde su primer uso como cubrición de pequeños espacios hasta su incorporación como elemento estructural en las construcciones en altura de la actualidad.

La evolución del material, en sus primeros siglos, daba respuesta a los avances de la arquitectura, una arquitectura desarrollada principalmente en una o pocas plantas. El gran salto a las construcciones en altura se dio con la incorporación del acero y el hormigón, y no es hasta las últimas décadas cuando la madera da este gran salto hacia las construcciones en altura. No obstante, aunque no puede hablarse de una tipología concreta en altura ni un intento por crecer en vertical, a lo largo de la historia se tiene constancia de algunas edificaciones que, en diferentes épocas y lugares, han alcanzado grandes logros. En la actualidad, el panorama de las construcciones en altura con estructura de madera a nivel mundial alcanza los 100 m, con visiones de futuro de hasta 350 m; es el caso del proyecto del rascacielos de madera mas alto de el mundo, cuya construcción en Japón se prevé para el año 2041.



## Objetivos

Esta investigación tiene como finalidad principal estudiar las posibilidades actuales de la madera estructural para construcciones de media y gran altura. A estos efectos, se lleva a cabo una recopilación de datos exhaustiva, a partir de la cual se ponga en evidencia el valor de la madera para construir las estructuras que hagan posible tales edificios.

Como objetivos específicos de este trabajo de fin de grado se plantean los siguientes: por un lado, estudiar la trayectoria de estas construcciones a lo largo de la historia y, por otro, identificar los productos innovadores de madera estructural y las tipologías empleadas en las construcciones en altura en la actualidad. Además, se propone realizar un estudio de casos ejemplarizantes en el que se analicen aspectos técnicos y de sostenibilidad, que sirva como punto de partida para continuar una futura investigación más exhaustiva y detallada.

Finalmente, en base al proceso de investigación realizado, se busca exponer y dar una visión de futuro del posicionamiento de las construcciones en altura a nivel mundial, y más concretamente en el territorio del suroeste europeo. Para ello, se propone mostrar y dar respuesta a los obstáculos técnicos y normativos encontrados con el fin de promover el uso de la madera y contribuir al reto global de la lucha contra el cambio climático.

## Metodología de trabajo

La estrategia utilizada para conseguir los objetivos planteados en el presente trabajo utiliza como punto de partida un análisis de la bibliografía existente además de las indicaciones aportadas por el tutor.

Atendiendo al procedimiento de búsqueda e investigación, este trabajo se lleva a cabo en tres partes. En primer lugar, se procede a contextualizar la investigación desde el punto de vista abordado con el fin de conocer sus antecedentes y la problemática que se le asocia. A continuación, se lleva a cabo un estudio de los últimos avances y técnicas desarrolladas sobre la materia para pasar después a un análisis detallado de casos de estudio. Por último, en base a los datos obtenidos, se ofrece una conclusión final a modo de crítica, análisis y reflexión, que trata de dar respuesta a los objetivos planteados.

Con el fin de aportar veracidad en el documento, se procede a un análisis riguroso de la información encontrada en las diferentes fuentes de información tanto físicas como digitales a las que se ha tenido acceso. Además, con el fin de ampliar la documentación bibliográfica encontrada, se incluyen los datos obtenidos en encuestas y artículos contrastados. Cabe destacar que la labor de búsqueda, investigación y reflexión, ha sido dirigida por los tutores, que desde principio han aportado sus conocimientos y correcciones.





Capítulo 1

**Antecedentes**

---



# 1 Evolución de las técnicas constructivas

Desde sus orígenes en la Prehistoria, la madera ya era uno de los primeros materiales empleados en construcción que, sin necesidad de una técnica sofisticada de manipulación, ofrecía cobijo y protección.

“La madera es uno de los materiales que el hombre usó más pronto, dada su abundancia, ligereza, sus excelentes cualidades y facilidad de transformación o talla, su resistencia y sus propiedades aislantes térmicas y acústicas. Además de su intrínseca belleza natural” (Basterra, 2012, p. 13).

Efectivamente, es uno de los materiales más antiguos utilizados y a su llegada se debe el abandono de las cuevas naturales y el paso a las chozas al aire libre, surgiendo así las primeras aldeas. Éstas nacientes arquitecturas evolucionarán durante los primeros años con el fin de crear espacios de mayores dimensiones. Dada su configuración formal, la obtención de una mayor superficie en planta se consigue como resultado del incremento de su altura. Tanto es así que se tiene constancia de la existencia de grandes casas prehistóricas de hasta seis metros de altura (Fig. 01).

La aparición de los metales mejora las técnicas de elaboración de las construcciones de madera al facilitar su labra y la ejecución de ensamblajes complejos. Por primera vez y gracias al empleo de ramas y troncos de los árboles de mayor dimensión, se podría hablar de un sistema estructural de vigas y soportes de madera en el que cerramiento y cubrición aparecen como sistemas independientes (Fig. 02).

A pesar de la habitual identificación de las civilizaciones griegas, romanas, egipcias y persas con suntuosos



Fig. 01. Reconstrucción de choza prehistórica en Japón. Fuente: <https://www.historiando.org/edad-de-piedra/>



Fig. 02. Reconstrucción de la cabaña prehistórica tras la aparición de los metales. Fuente: <http://paleorama.es/blog/como-construir-una-cabana-prehistorica/>

edificios de ladrillo, piedra o mármol, en realidad en las grandes ciudades de la antigüedad abundaban, sobre todo, viviendas familiares construidas con madera. Concretamente, en Grecia destaca la labor de los carpinteros que se dedicaban al diseño y construcción de estructuras de madera prestando especial atención a las uniones, ensambles y sus resistencias, es decir, al sistema de entramado. Las soluciones constructivas de la carpintería de armar griega permitieron configurar sistemas complejos de entramados de vigas y pilares, forjados y, sobre todo, armaduras de cubierta que permitieron alcanzar distancias considerables entre apoyos. Desde entonces, y hasta la actualidad, la historia de la madera como material de construcción ha vivido grandes periodos en los que su técnica se ha desarrollado significativamente.

Los tratados son una fuente de información de primer orden para conocer las soluciones constructivas empleadas a lo largo de la historia, especialmente en el caso de la carpintería de armar, cuya obra construida se ha perdido en buena parte. El tratado más antiguo sobre construcción que ha llegado hasta nuestros días, escrito por Marco Vitruvio, data del 25 a.C.

“Marco Vitruvio, arquitecto e ingeniero romano, escribió un extenso tratado sobre arquitectura y técnicas de construcción en Roma. Su título *De architectura* se lo dedicó a Augusto. Este libro además de contener comentarios sobre astronomía, relojes de sol, técnicas de construcción y materiales recoge las primeras descripciones sobre la composición, cualidades y usos de la madera” (García, 1999, p. 69).

La documentación sobre los sistemas constructivos utilizados durante la Edad Media es prácticamente inexistente. Según afirma Gómez, en su libro “Las estructuras de madera en los Tratados de Arquitectura (1500-1810)”, se asocia la falta de tratados anteriores al siglo XVI “al carácter gremial de la construcción medieval y al secretismo profesional: los

conocimientos se transmitían oralmente entre los miembros de cada gremio” (Gómez, 2006, p. 19). De acuerdo con su labor de investigación, los primeros tratados “intentaban ser lo más amplios posible, abarcando todos los aspectos de la arquitectura, pero pronto pasaron a especializarse, encontrando así manuales sobre albañilería o construcciones en madera” (Gómez, 2006, p. 19). En base a estos documentos se pueden clasificar las estructuras de edificación en tres grandes grupos: forjados, entramados verticales y armaduras de cubierta. En ocasiones, los tratados incluyen también estructuras auxiliares (como cimbras, apuntalamientos y apeos o andamios), obras civiles (generalmente puentes), herramienta y maquinaria.

En el “Manual de construcción de madera” elaborado por Herzog, Naterer, Schwitzer, Volz y Winter en 2004 se encuentra la descripción de un mástil transmisor de radio (Fig. 03) inaugurado en torno a 1932 en Baviera, Alemania. La estructura de madera, cuya imagen parece recordar a la parisina torre Eiffel, alcanzó en un primer momento los 115 m de altura. Posteriormente esta se vio incrementada “agregando una subestructura de 39 m de altura y extendiendo la punta para alcanzar una altura total de 165 m” (Herzog, et al., 2004, p. 269). Otra estructura de madera, esta vez de una altura inferior pero aun así de interés, es la plataforma de observación construida en 1976 (Fig. 04); una torre de base “cuadrada de 18 m de altura, configurada mediante cuatro columnas con arriostramiento en K” (Herzog, et al., 2004, p. 268).

A pesar de las múltiples aplicaciones del material, en los apartados siguientes se procede al estudio exclusivo de la madera como material estructural en edificación, abordando los primeros sistemas de entramado y las armaduras de cubierta. Cabe destacar que, además, se enfoca en la evolución referida, geográfica y culturalmente, al ámbito occidental, dejando en segundo plano las culturas orientales cuyo evidente dominio de la

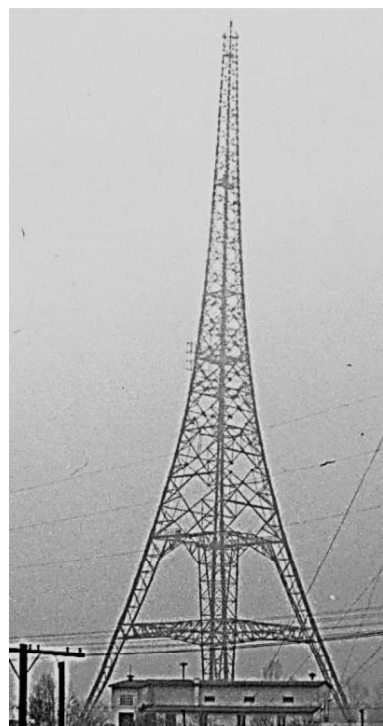


Fig. 03. Mástil transmisor de radio a mitad del siglo XX en Baviera, Alemania. Fuente: <https://cutt.ly/tmzdUBs>

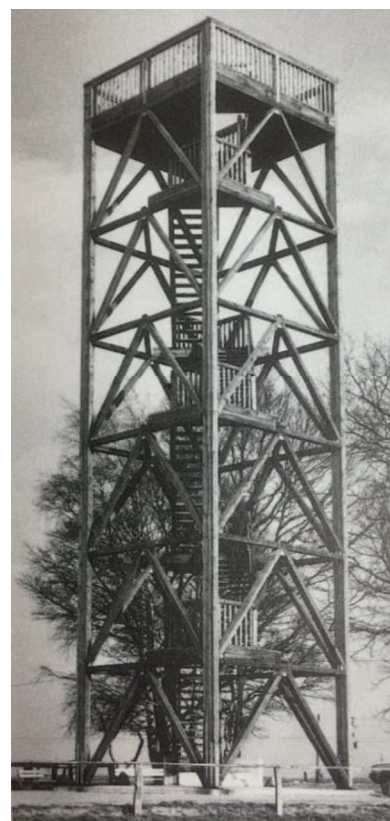


Fig. 04. Plataforma de observación construida en 1976. Fuente: (Herzog, et al., 2004, p. 268).

técnica carpintera a lo largo de los tiempos fue en ocasiones por delante de aquella.

## 1.1 Entramado pesado

El entramado pesado, traducido en inglés como *timber frame*, representa el sistema de construcción de madera más antiguo empleado en la historia de la humanidad. A él pertenecen todas las estructuras basadas en elementos lineales tales como pies derechos, jácenas o riostras, de grandes escuadrías, con separaciones de cierta dimensión que, en determinadas situaciones requieren de paredes rígidas o triangulaciones para su estabilización. Este tipo de construcciones tuvieron su apogeo durante la época medieval a partir de sistemas denominado *post and truss* (pie derecho y armazón) originario de la Europa central y Gran Bretaña, pero extendido por todo el continente, así como en América del Norte. Son sus principales variantes los sistemas de barras apiladas, los sistemas de pórticos (pilares y vigas) y los sistemas cuajados (rellenos) que describimos a continuación.

### 1.1.1 Sistema de barras apiladas

La cabaña de troncos de madera tiene su origen en el norte de Europa y Rusia, aunque es cierto que el sistema se conocía ya en la Edad de Bronce, según se muestra en la evolución de la cabaña prehistórica de la imagen (Fig. 05). El sistema de barras apiladas fue especialmente adecuado para Escandinavia y el norte de Europa dada la disponibilidad de árboles rectos y altos (pinos y abetos) además de que, con las herramientas adecuadas, una familia podía levantar su propia cabaña desde cero, haciendo frecuente su empleo en viviendas residenciales. A pesar de ser una tipológica nacida en Europa, a principios del siglo XVIII el sistema era también conocido en Norteamérica. Probablemente, una de las casas de troncos más antiguas que se mantiene en pie es la

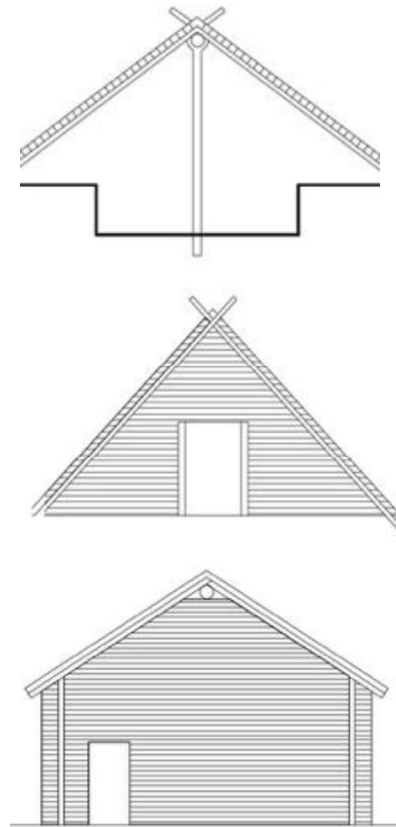


Fig. 05. Evolución de la cabaña prehistórica. Fuente: empre: Impregnaciones y Montajes S.L.



Fig. 06. Cabaña de troncos de 1640 de Nueva Jersey. Fuente: fotografía actualizada de Wikipedia.



*Nothnagle Log House* (Fig. 06), de 1640, levantada en dos alturas en el estado de Nueva Jersey.

En lo que se refiere a la ejecución del sistema, los troncos de madera, ensamblados en sus esquinas, se disponen en dirección horizontal y actúan como muro de carga y cerramiento de la vivienda. Inicialmente lograban el ensamblado mediante el tallado de concavidades (Fig. 07) en los troncos, algo que evolucionaría con la llegada de los primeros aserraderos de madera hacia formas escuadradas que, al lograr mayor superficie de apoyo, mejoraban su estabilidad (Fig. 08).

Este sistema adquiría la estabilidad necesaria gracias al trabado de sus esquinas, así como al arriostramiento aportado por la disposición de muros transversos, en su caso. No obstante, la madera trabajaba deficientemente desde varios puntos de vista. Por una parte, debido al difícil enlace entre las piezas de madera, sensible a los efectos del secado de la madera capaz de originar grandes deformaciones. Por otra, la colocación de los troncos apilados en horizontal implica una compresión perpendicular a la fibra cuando entra en carga. Quizá es por ello es que, con el paso de los años, a pesar de que el sistema no ha desaparecido, su uso está relegado a pequeñas construcciones en baja altura, debiéndose en gran parte al consumo de madera y masividad del sistema. Al tratarse de un modelo de entramado muy elemental, el crecimiento de sus luces y dimensiones está muy limitado. A pesar de todo, es posible encontrar su aplicación en grades edificaciones como es el caso del hotel canadiense Fairmont Le Château Montebello (Fig. 09), el alojamiento de barras apiladas más grande del mundo, de hasta cuatro plantas en algunos espacios.

### 1.1.2 Sistema de pórticos: pilares y vigas

Con origen en Europa Central y Gran Bretaña, el sistema de entramado de pórticos es probablemente uno de los más antiguos modelos estructurales de la historia. Tan simple como formar pórticos a través de postes y vigas de



Fig. 07. Detalle de la junta de la cabaña de troncos. Fuente: <https://cutt.ly/vmIIA3z>



Fig. 08. Detalle de la junta de esquina del sistema de barras apiladas. Fuente: <https://cutt.ly/rmII0IR>



Fig. 09. Hotel Fairmont *Le Château Montebello* en Canadá. Fuente: <https://www.fairmont.mx/22oints22ogi/>



madera que disocian la estructura portante y el cerramiento. Para garantizar su estabilidad, el sistema se rigidiza con elementos diagonales (jabalcones) y transversales (estribos), o bien con paredes de mampostería. A su vez, el empleo del cerramiento de mampostería garantizaba la durabilidad de la fachada, algo que con la madera no podían conseguir al ser propenso a la degradación por acción de la humedad. Algunos indicios se encuentran en la cabaña primitiva utilizada como frontispicio del *Essai sur l'architecture* en el famoso grabado de Charles-Dominique-Joseph Eisen (Fig. 10).



Fig. 10. Frontispicio del “*Essai sur l'architecture*”, segunda edición, (1755) grabado por Charles-Dominique-Joseph Eisen (1720–1778). Fuente: Grabado DOME / MIT Library collections.

La aplicación del sistema de pórticos en construcciones de varias plantas, encuentra su auge en la ciudad romana del siglo III a.C. A pesar de la imagen que evoca una roma pétreo, de ladrillo o de mármol, la madera configuraba la mayoría de los edificios que respondían a un tipo de viviendas populares denominadas ínsulas (Fig. 11) -en latín *insulae*-. Las ínsulas eran un equivalente, en disposición, a los bloques de viviendas que ocupan las manzanas actuales, pero dispuestas de manera irregular. Como solución al problema de la sobre población de la ciudad romana, las ínsulas crecen en altura con el fin de albergar un mayor número de personas y ocupar menor superficie en planta.

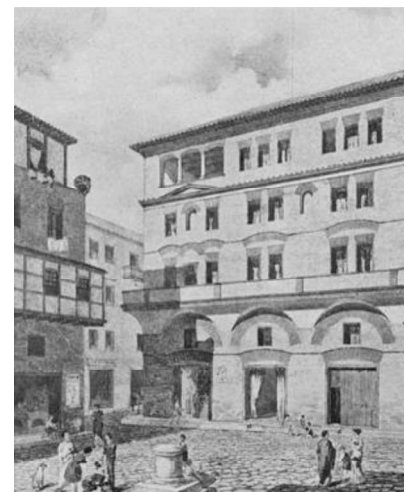


Fig. 11. Dibujo de las Ínsulas romanas vistas desde la calle. Fuente: Ilustración realizada por Italo Gismondi.

### 1.1.3 Sistemas cuajados: rellenos

La construcción entramada cuajada se encuentra a lo largo de la historia en gran cantidad de países. A pesar de su aparente similitud, los sistemas de pórticos expuestos anteriormente no se forman por pies derechos de madera tan próximos como lo hacen los entramados cuajados, siendo por ello aquí las secciones más modestas. Las estructuras de entramado cuajado de madera se caracterizan por la integración de tres materiales: “la madera en lo que se denomina armadura, la fabrica de materiales pesados, que se denomina cuajado, y el revestimiento de los entramados denominados

guarnecidos” (García, 2006, p. 10). La madera asume la función resistente en muros al igual que en forjados y cubierta, mientras que la fábrica le confiere la estabilidad requerida y asume la función de cerramiento. De manera tradicional, los vanos entre los elementos de madera se solían rellenar de mampostería de piedra, material cerámico, adobes, cascotes, arcilla o yeso. Respecto a los revestimientos exteriores, estos protegen a la estructura leñosa y la fábrica de los efectos de la intemperie.

La necesaria existencia de guarnecidos de protección hace que, en la mayoría de las construcciones urbanas, la armadura se presente a la vista solamente en los entramados colindantes con edificios derribados. No obstante, en la arquitectura popular es fácil encontrar abundantes ejemplos de muros entramados que dejan a la intemperie las armaduras de madera. Esta desnudez puede atribuirse a la falta de voluntad o de medios de quien lo construyó para rematar su obra o, incluso, a una falsa interpretación de los sistemas originales que ha fomentado la rehabilitación de edificaciones dejando vista su estructura (García, 2006, p. 14). En la imagen que acompaña este apartado (Fig. 12), se puede apreciar los diferentes niveles de la edificación de forma que se demuestra su aptitud y frecuente empleo en las construcciones de media altura de la época.



Fig. 12. Muro entramado en Madrid.  
Fuente: (García, 2006, p. 17).

## 1.2 Entramado ligero

Frente al descrito sistema de entramado pesado, el entramado ligero se introduce como una construcción de mayor ligereza, lograda mediante el empleo de listones más finos y numerosos, además de manejables. Lo fundamental de este sistema es la posibilidad de proceder al montaje sin necesidad de acarreos o elevaciones de elementos muy pesados, pudiendo así construirse fácilmente, con herramientas convencionales y entre pocas personas.

El sistema *light frame* tiene sus orígenes en las construcciones de las tribus nómadas, que requerían construcciones ligeras para ser transportadas en sus caravanas. Algunos ejemplos de estas primeras arquitecturas son las cabañas tuareg (Fig. 13) y los tipis indios (Fig. 14).<sup>1</sup>

Como consecuencia de los procesos de industrialización del siglo XIX, las uniones de una estructura de madera se realizan con el clavo fabricado en serie, que aparece en esa época, “reemplazando la tradicional espiga de madera al clavo forjado a mano, simplificando notablemente el proceso constructivo tradicional, ya que, por sus propiedades mecánicas, costos y disponibilidad, desplaza ventajosamente a los otros sistemas de unión en uso, posibilitando estructuras más livianas y rápidas” (Leser, 2000, p. 18).

Como resultado del desarrollo histórico-constructivo de la madera, y en respuesta a los requerimientos de la época, surge en Estados Unidos el primer sistema de entramado ligero reconocido: el sistema de globo (*balloon frame*), que posteriormente será reemplazado por el sistema de plataformas (*platform frame*).

### 1.2.1 Sistema de globo

La estructura de globo (Fig. 15) fue descrita por primera vez en la publicación de Gervase Wheeler en 1855 “*Homes for people*” [hogares para personas]. No obstante, el



Fig. 13. Cabaña tuareg.  
Fuente: <https://cutt.ly/mmzslgx>



Fig. 14. Tipi indio.  
Fuente: <https://cutt.ly/tmzsDPL>

modelo de globo se había aplicado ya en 1833 en la Iglesia de Santa María de Chicago (Fig. 16), construida por Agustine Taylor y considerada la primera construcción en emplear el armazón en globo.

Como resultado, el sistema estructural, supuestamente creado por George Washington Snow (1797-1870), consiste en una serie de piezas de madera ligeras, próximas y equidistantes, que forman paredes, forjados y cubiertas (Fig. 17) estructura posteriormente revestida por ambos lados con tablas que buscan limitar las deformaciones y arriostrar el conjunto en su plano. Una de las particularidades del armazón, además de su delgada esquadria, es la “reducida distancia existente entre las piezas, que suele variar entre los 0,40 y 0,60 m” (Leser, 2000, p. 18).

Frente a las estructuras tradicionales de madera, el sistema *balloon* descrito presenta ventajas especiales y posibilita el uso masivo y proyección de este material más allá de los beneficios y cualidades propias del mismo. Además, “marca el inicio de los procesos de industrialización en madera: pre-corte, racionalización, prefabricación e industrialización y montaje en serie a pie de obra” (Leser, 2000, p. 19), en la actualidad se encuentra en desuso por sus limitaciones frente al sistema de plataforma con entramado ligero de madera, sobretodo en cuanto a las restricciones del número de plantas.

### 1.2.2 Sistema de plataformas

El sistema de plataformas *–platform frame–* (Fig. 18) con entramado ligero de madera es posterior al sistema de globo, con la diferencia fundamental en su empleo de montantes discontinuos y construcción de la estructura planta por planta. El motivo principal de este cambio se debe a la dificultad que suponía encontrar listones de madera suficientemente largos como para abarcar las dos

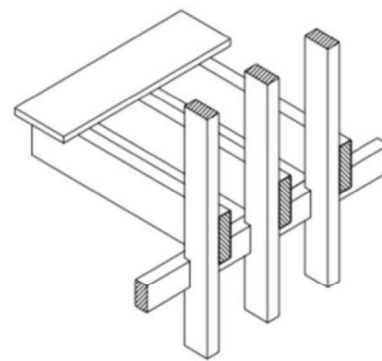


Fig. 15. Detalle del encuentro del muro con el forjado en el sistema globo. Fuente: (García, 2006, p. 15).

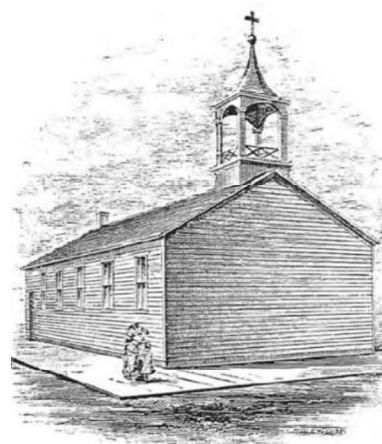


Fig. 16. Iglesia de Santa María, Chicago, 1833. Fuente: (Turan, 2009, p. 179).



Fig. 17. Montaje de la estructura ligera según el sistema de globo en Estados Unidos. Fuente: <https://cutt.ly/BmzdVlv>

<sup>1</sup> El término tipi (del inglés *teepee*) se puede definir como “para vivir” y representa la vivienda nómada de las primeras tribus indias que habitaron Norteamérica.



primeras plantas. Al introducir la plataforma, la independización de las plantas aporta beneficios especiales que le hacen más competitivo frente al *balloon frame*. Por un lado, presenta un mejor diseño frente a la propagación de incendios ya que el forjado intermedio interrumpe el paso de la llama a los pisos superiores y, por otro, es de más fácil ejecución además de que no se encuentra limitado a las dos alturas. El sistema incluso se presta más a la prefabricación como consecuencia de la menor altura de los montantes, que no encuentra limitaciones en el transporte desde la fábrica hasta la obra.

Mientras en Europa la tradición del sistema de entramado pesado perdía terreno como consecuencia de la llegada del acero y posteriormente, el hormigón armado, en EEUU el entramado ligero de madera cogía cada vez más fuerza hasta convertirse en el siglo XX en un negocio de grandes empresas. Se empezaron a construir entonces las viviendas prefabricadas de Norte América que hoy encontramos, e incluso pueblos enteros como Carlinville (Fig. 19), en Illinois. Tras la Segunda Guerra Mundial, se introdujo el sistema de casas prefabricadas de madera en Europa y, desde entonces, su empleo ha evolucionado en altura y se ha extendido por todo el mundo.

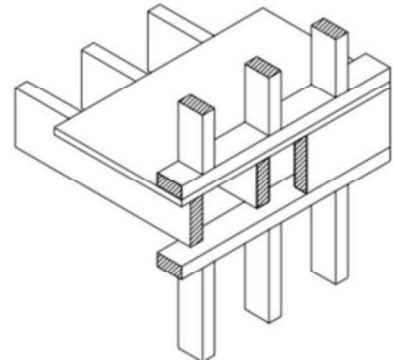


Fig. 18. Detalle del encuentro del muro con el forjado en el sistema de plataforma. Fuente: (García, 2006, p. 15).



Fig. 19. Casa prefabricada con estructura ligera en Carlinville, Illinois. Fuente: <https://cutt.ly/emzd7KI>



### 1.3 Armaduras de cubierta

Enrique Nuere, arquitecto y carpintero español, en su libro “La carpintería de armar española”, distingue dos tipologías básicas de armaduras de cubierta: “las que colocan sus elementos sustentantes inclinados y concurrentes en la cumbrera, y las que, mediante unos elementos auxiliares generalmente triangulados, como cerchas, permiten la colocación de otros grupos de elementos horizontalmente, es decir, paralelos a los muros de edificio” (Nuere, 2000, p. 93).

La primera de ellas se denomina armadura de pares por la disposición de los elementos sustentantes inclinados que concurren en la cumbrera enfrentados dos a dos, colocados en paralelo a la línea de máxima pendiente y relativamente próximos; también se caracteriza por la necesidad de organizar una estructura horizontal auxiliar en la base de los muros de los que arrancan para garantizar su equilibrio. La segunda utiliza cerchas trianguladas, perpendiculares a los muros o apoyada en soportes puntuales, a distancias considerablemente mayores que los anteriores y que sirven de apoyo a las correas horizontales y paralelas al alero. Volveremos sobre ellas más adelante por su protagonismo en la evolución de las estructuras de madera para la cubrición de grandes luces por sus ventajas evidentes:

“Desde el punto de vista estructural, el empleo de cerchas trianguladas ofrece ventajas frente a la de pares. La triangulación hace que las maderas trabajen sobre todo a tracción y compresión. Al mismo tiempo, el empleo de piezas intermedias tales como pendolones y tornapuntas permite acortar la luz de las piezas principales, disminuye su trabajo a flexión, facilita el empleo de escuadrías menores y posibilita cubrir mayores luces. Otra gran ventaja es la no transmisión de esfuerzos horizontales a los muros sobre los que apoyan” (Estepa, 2015, p. 17).

Además de estos dos grupos de armaduras, existen otras soluciones híbridas que parcialmente responden a los

esquemas descritos, presentándose muchas veces ocultas sobre bóvedas.

### 1.3.1 Cerchas

Desde la cubrición de la primera choza prehistórica, la luz de los espacios estaba limitada por la longitud efectiva obtenida directamente del árbol. El desarrollo de los sistemas de cubierta responde a la aspiración por salvar luces de mayor distancia, así como al interés por optimizar el aprovechamiento de árboles de mucho menor porte que las distancias a salvar. Como consecuencia se creó la cercha; una ingeniosa solución constructiva basada en la triangulación, sistema que aportó desde el momento de su origen grandes prestaciones a la construcción y el diseño de los edificios más importantes.

Las primeras cerchas, caso particular de celosía reticulada de envolvente triangular, estaban formadas por piezas de madera maciza aserrada unidas entre sí, alcanzando grandes luces con piezas de madera de longitud relativamente moderada. Como expone García (2009), estas cubiertas “se organizan por triangulación de nudos articulados, lo que impide el funcionamiento de las barras a flexión, asumiendo, por lo tanto, únicamente esfuerzos axiales de tracción o compresión”. Y sigue: “Al evitar la flexión, la sección de madera necesaria es mucho menor” (García, 2009, p. 28), es decir, era posible no solo un ahorro del material, sino también el aprovechamiento de los árboles más pequeños. Además, este mismo autor plantea la siguiente reflexión sobre el origen de las cerchas:

“La cercha es la culminación de un proceso histórico, responsabilidad de maestros y carpinteros a lo largo de cientos de años que, en un momento difícil de datar con exactitud, permite su aparición. Este proceso está apoyado en sucesivos intentos, sus correspondientes errores y la solución aportada en cada caso, es decir, en la evolución de los tipos de estructura de cubierta históricamente construidos” (García, 2009, p. 9).

No obstante, a pesar de no poder datarse con exactitud su creación, está comúnmente aceptado que el gran impulso a su desarrollo fue la cubrición de las basílicas romanas, si bien es clara la influencia de la construcción y carpintería de armar griega, época en la que se desarrollaron las herramientas precisas para ello. La “Basílica Porcia” puede ser considerada como una de las primeras basílicas de la cultura romana, construida en el año 184 a.C. (Pedreño, 2007, p. 143). La tipología de la basílica surge del interés en configurar un modelo de edificio destinado a la actividad pública que fuese capaz de albergar a un gran número de personas en espacios diáfanos, bien ventilados e iluminados, algo que se logra materializar gracias al empleo de las armaduras trianguladas.

Posteriormente, tras el edicto de Milán (313 d.C.), el Imperio Romano acepta oficialmente la religión cristiana, momento a partir del cual las autoridades eclesiásticas escogieron la tipología arquitectónica basilical para la construcción de los nuevos templos. Una de las más conocidas es la Basílica de San Pedro (Fig. 20), con sus 30 m de altura. Es cierto que, frente a las pequeñas construcciones residenciales, las basílicas crecen en altura, y el mérito de este salto de escala hacia la verticalidad es atribuible a la piedra y el ladrillo. Pero no es menos cierto que los 13 m salvados por la cercha de madera en la nave central consiguen generar el gran espacio interior diáfano que se observa en la imagen (Fig. 21).

### 1.3.2 Bóvedas

Continuando con el estudio de la madera como material para cubrir grandes luces se puede observar cómo, desde la antigüedad, también la ejecución de bóvedas de madera fue una preocupación constante de los constructores. La primera referencia escrita sobre bóvedas de madera se encuentra en “Los Diez Libros de Arquitectura” de Marco Vitrubio, arquitecto e ingeniero romano:

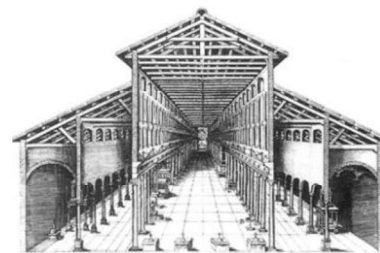


Fig. 20. Sección de la Basílica de San Pedro, Roma.

Fuente: <https://cutt.ly/9meXKQE>



Fig. 21. Ilustración del interior de la Basílica de San Pedro, Roma.

Fuente: <https://cutt.ly/9meXKQE>

“Cuando las circunstancias exijan formar techos abovedados, procédase del siguiente modo: se colocarán unos listones -o pequeñas vigas- rectos que guarden entre sí una distancia no mayor de dos pies; preferiblemente serán de ciprés, pues si son de abeto rápidamente se corrompen por la carcoma y por el paso de los años” (Vitrubio, 1995, p. 267).

El texto de Vitrubio plantea también su reflexión sobre el futuro de la construcción de bóvedas con madera: “una técnica conocida desde épocas antiguas y que continuará durante la Edad Media” (Hurtado, 2009, p. 2). Y, efectivamente, se tiene constancia de la existencia de cúpulas de madera en la arquitectura medieval, por ejemplo, la cúpula de la Iglesia de San Marcos en Venecia, de 1231 (Fig. 22), construida sobre una estructura de fábrica. En 1590 Rusconi interpreta gráficamente el sistema constructivo descrito por Vitruvio (Fig. 23), “siendo compartido aún en tiempos actuales por Howe” (Fig. 24) (Hurtado, 2009, p. 2).

A lo largo del siglo XVI se agrava el problema de la escasez de madera de grandes longitudes, situación que impulsará el desarrollo de sistemas constructivos formados por piezas de menor longitud que la luz a salvar, igual que sucedía con las cerchas de madera. Dentro de esta corriente predominante, dos tratadistas abordarán por primera vez en un documento escrito no solo el método de construir sino el de poder ejecutarlos a partir de piezas más pequeñas: Serlio en Italia y Philbert de l’Orme en Francia. Mientras Serlio planteaba soluciones teóricas representadas de forma gráfica, pero sin los detalles constructivos necesarios para comprender y conocer la forma de ejecutarlos, De l’Orme se dedicó a realizar un modelo totalmente innovador. Este último aplica a la madera las técnicas constructivas empleadas en las construcciones de piedra: “la forma en arco, que permite tener en todo punto de la pieza secciones casi totalmente comprimidas, salvando grandes luces, con la ayuda de estructuras de piedra constituidas por elementos cortos” (Somoza, 1986, p. 41). Con ello aplica a la carpintería de

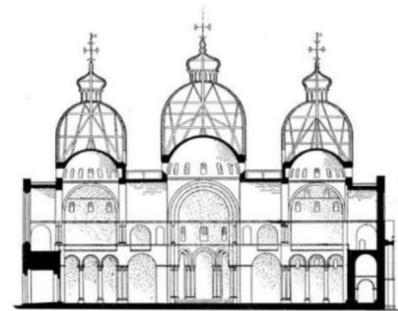


Fig. 22. Sección longitudinal de la Basílica de San Marcos de Venecia. Fuente: <https://n9.cl/p0t3d>

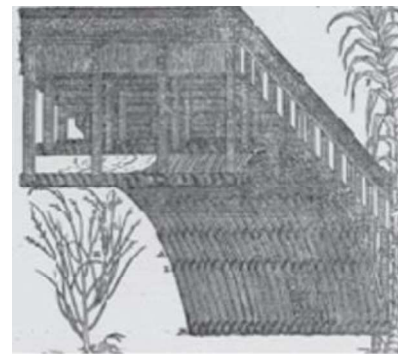


Fig. 23. Interpretación de Rusconi de la bóveda de madera descrita por Vitruvio. Fuente: (Hurtado, 2009, p. 2).

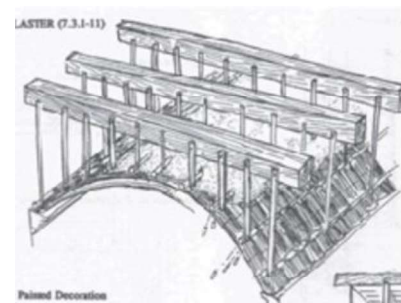
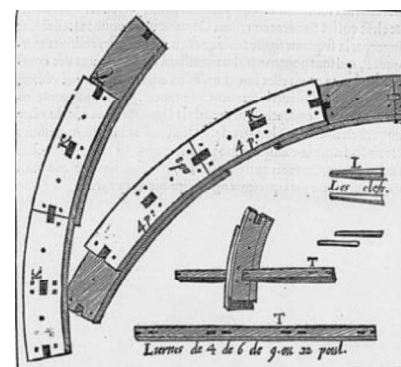


Fig. 24. Interpretación moderna de Howe de la bóveda de madera descrita por Vitruvio. Fuente: (Vitrubio, 1995, p. 271).



madera la misma forma de trabajo del arco, a través de piedras de menor tamaño dispuestas con la forma adecuada con el fin de salvar mayores luces. El modelo propuesto (Fig. 25) por De l'Orme se conoce como método de bóvedas encamionadas, y es descrito por Hurtado (2009) de la siguiente forma:

“Las bóvedas encamionadas se realizaban con tablas de madera (camones) que se solapaban entre sí para formar arcos (cerchas), los cuales definían la forma que tendrían las bóvedas, y eran estabilizados lateralmente mediante correas. Sobre los arcos y correas se colocaba un cerramiento que podía ser un entablado, unos listones de madera o simplemente un tendido a base de cañas” (Hurtado, 2009, p. 3).

El sistema era de gran sencillez, y consistía “en la construcción de arcos a base de tablas recortadas en forma de camones” (Sevilla, 2018, p. 12). Estas tablas se clavaban contrapeándose hasta alcanzar una sección lo suficientemente rígida como para salvar la luz necesaria. Con este sistema, generaban arcos de gran luz (Fig. 26) dirigidos a la formación de cubiertas y bóvedas que por lo general no debiesen soportar grandes cargas. Tal y como afirma Sevilla (2018), “este tipo de diseño permitía solucionar cerchas de intradós curvo y trasdós apuntado, o bien definir auténticas bóvedas de madera” (Sevilla, 2018, p. 12). La técnica planteada por de l'Orme tenía como objetivo la obtención de piezas de gran longitud, pero de bajo coste, así las empleará en el palacio de las Tullerías, “donde por medio de bridas, consiguió crear arcos de hasta 15 metros de luz” (Sevilla, 2018, p. 12).

En el recorrido de la historia de los tratados, las razones de su uso han sido muy variadas: “no solamente vistas desde la economía de su construcción como factor determinante, sino también por la facilidad de su ejecución, principalmente en zonas con problemas de asentamientos del suelo” (Hurtado, 2009, p. 12).

Fig. 25. Dibujo del modelo de Philbert De l'Orme, formado por camones y contracamones atravesados por espigas pasantes que hacen la función de riostras. Fuente: (Sevilla, 2018, p. 25).

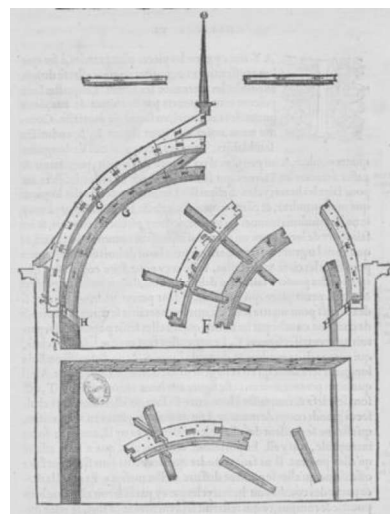


Fig. 26. Dibujo del modelo de arco de Philbert De l'Orme representado en su libro “Nouvelles Inventiones pour bien bastir et a petits frais”. Fuente: <https://cutt.ly/GmWL94g>

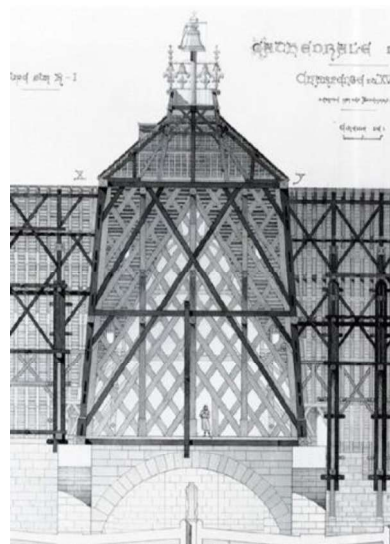


Fig. 27. Catedral de Reims, estructura de madera en el transepto elaborada en el “Hommage à Henri Deneux: les charpentes de la cathédrale de Reims” Fuente: <https://cutt.ly/NmzfM5r>



### 1.3.3 Soluciones híbridas

A lo largo de la historia, la triangulación de las estructuras de cubrición ha participado del esplendor de la arquitectura gótica; un momento de la historia de la arquitectura caracterizado por la verticalidad, la ligereza de sus sistemas estructurales y la masiva introducción de la luz en los espacios interiores. Es cierto que la imagen de las catedrales góticas evoca una grandiosa construcción erigida en sillería de piedra; no obstante, y a pesar de su discreción, la madera juega un papel fundamental en la recreación de esa imagen exterior. A diferencia de las cerchas de las antiguas basílicas romanas, la cubrición de las construcciones góticas emplea un modelo tridimensional también basado en la triangulación, pero esta vez de una complejidad mayor, consiguiendo ampliar las luces entre apoyos con el consecuente incremento de su altura máxima. Es posible apreciar esa complejidad en la antigua cubierta (1483) de la Catedral de Notre-Dame de Reims.

Cabe destacar, en la misma línea, la cubierta construida en el siglo XV para la Catedral de San Esteban de Viena (Fig. 27Fig. 28): “una cubierta de 110 m de largo y una luz de 35 m, alcanzando los 37,85 m en su punto más alto y respecto la cota del suelo” (Arroyo, 2020, p. 35). Como era habitual, tal altura no puede ser apreciada desde el interior, pues este se cubría, salvo excepciones<sup>2</sup>, con las características bóvedas nervadas, genuina característica de la época gótica. Sin embargo, a pesar del papel aparentemente secundario de esta cubrición no puede pasar desapercibida la luz entre apoyos, que contribuye a la magnitud del espacio creado.

### 1.3.4 Chapiteles

Para los chapiteles (Fig. 29), característica solución de remate de elementos de cubierta de gran esbeltez, Nuere encuentra dos tipos de soluciones: “el modelo que resuelve el problema de realizar una importante cúpula, generalmente con linterna, y el empleado como cubierta y



Fig. 28. Catedral de Viena Fuente: (Arroyo, 2020, p. 37).



Fig. 29. Chapitel sobre la capilla mayor de la iglesia del convento de las Dominicas de Loeches. F.A. Fuente: (Estepa, 2015).



coronación de una torre, solución introducida en España por Felipe II, y que corresponde a las estructuras que hoy conocemos precisamente como chapiteles” (Nuere, 2000, p. 173). En España, los primeros chapiteles se levantaron en el palacio de Valsaín y, poco después, se levantaron de nuevo en el Alcázar de Segovia. De los allí realizados, a pesar del devastador incendio de 1862, uno de ellos se mantiene todavía en pie.

La evolución formal y estructural de estos sistemas estructurales de cubrición dan como resultado chapiteles con características propias diferenciadas, pero siempre manteniendo la forma piramidal que le caracteriza. El arquitecto Estepa, en su tesis “Chapiteles del siglo XVI al XVIII en Madrid y su entorno” analiza en detalle diferentes estructuras de chapiteles. A modo de ejemplo, se incorpora aquí un chapitel de dos cuerpos de altura, cuya estructura representada en la imagen (Fig. 30) recrea el chapitel de la iglesia de Daganzo erguido en el siglo XVIII: una torre esbelta con armazón de madera en la que “la altura total alcanzada desde la cornisa hasta la cara inferior de la bola, es de diez metros con cuarenta y cinco centímetros, que en pies castellanos son treinta y siete pies y medio” (Estepa, 2015, p. 348).

“Todas estas armaduras generalmente se resolvían a base de acumular madera de forma más o menos organizada” (Nuere, 2000, p. 173) y tenían el peligro de deterioro o derrumbe, principalmente si se tiene en cuenta que, en la construcción europea, el chapitel era la parte más sobresaliente, incluso a veces llegando a igualar la altura de la torre sobre la que se construían.



Fig. 30. Armadura del chapitel de Daganzo. Fuente: elaboración de Pilar y Luía Meyer (1989).

---

<sup>2</sup> Nos referimos a los casos en los que el techo interior se hacía también de madera, probablemente por falta de fondos para la construcción de las más difíciles bóvedas de piedra. Desgraciadamente, muchos de ellos no han llegado hasta nosotros debido, no tanto a la degradación propia de la madera por ataques de origen biótico o abiótico, sino a los múltiples episodios violentos de los que han sido objeto los templos religiosos.

Además de esta particular y distintiva armadura de cubierta, relacionada con la arquitectura importada a España por los Austrias, existen infinidad de coronaciones de torres de iglesias con armazón de madera que, más que a una tipología determinada, responden a costumbres locales o modos de hacer que van variando con el paso de los años.

## 2 Construcciones de madera en altura

---

En principio, la imagen de un árbol esbelto parece evocar a las construcciones en altura. Sin embargo, su modelo estructural es el de una ménsula empotrada en el terreno, sometida a la acción predominante del viento, aproximadamente horizontal, cuya resultante se sitúa a varios metros de distancia del empotramiento. El momento flector solicitante puede así ser muy importante y para resistirlo el material tiene que movilizar internamente un par de fuerzas de tracción y compresión, de la misma magnitud y sentido contrario, cuyo brazo de palanca no puede ser mayor que el diámetro del propio tronco. Esto explica la capacidad de sus estructuras anatómicas y celulares de resistir indistintamente tensiones de tracción y compresión y, por consiguiente, trabajar a flexión. Cuestión que el hombre empíricamente descubrió bien pronto, aplicándolo a todo tipo de construcciones de baja altura y a todas aquellas en las que era necesario la cubrición de grandes luces. A pesar del predominio de su evolución en horizontal, a lo largo de la historia se tiene constancia de algunas edificaciones que, en diferentes épocas y lugares, han alcanzado notables alturas.

El recorrido por la historia de las construcciones en madera, a pesar de no ser habitual su uso en edificios en altura, deja ver algunas sorprendentes construcciones de este tipo. Son muchos los intereses seguidos por la humanidad a lo largo de la historia que le han llevado a construir en altura. Tocar el cielo, halagar a una divinidad, demostrar grandeza, elevarse para observar o controlar, son algunos de ellos.

## 2.1 Oriente

Desde la antigüedad, las lejanas culturas orientales se han caracterizado por el empleo de la madera para la resolución de sistemas constructivos. Y no es casualidad que el material predominante en sus arquitecturas tradicionales sea la madera ya que su territorio es montañoso y está en gran medida cubierto de bosques. Concretamente, los modelos de templos y pagodas budistas con estructura de madera de China llegaron a Japón en el siglo VI; y es especialmente en ambos territorios donde se encuentran las edificaciones de madera más altas construidas en la antigüedad, algunas de las cuales se conservan intactas.

### 2.1.1 Monasterio colgante de Datong

Uno de los templos chinos más espectaculares que han llegado hasta nosotros es el monasterio colgante de Datong, anclado al acantilado del monte Heng Shan, del año 491 (Fig. 31). Su construcción se realizó mediante el tallado de agujeros en la roca con la finalidad de empotrar tanto vertical como horizontalmente los elementos estructurales de madera. Con esta técnica de empotramiento, no muy habitual en los templos chinos de la época, logran levantar una construcción de hasta cuatro alturas que todavía hoy se mantiene en pie. El hecho de que sea posible visitar el monasterio en la actualidad se debe en gran parte a su localización ya que, por un lado, le protege de posibles inundaciones, así como de la lluvia y nieve por la montaña a sus espaldas; por otro, no le da tanto la luz directa evitando así el deterioro por el sol.

### 2.1.2 La pagoda

Originaria de China, la pagoda juega un papel esencial en el desarrollo de la arquitectura japonesa, impulsando la construcción de templos de madera de gran escala. Estas novedosas arquitecturas religiosas se consideran los más altos templos característicos de la religión budista que ha sobrevivido hasta nuestros días.

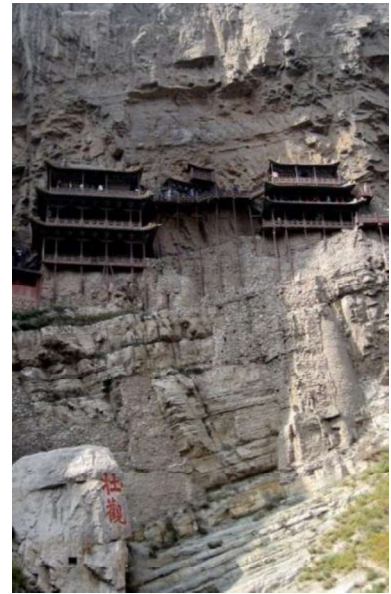


Fig. 31. Vista del monasterio colgante de Datong. Fuente: <https://www.flickr.com/photos/108160396@N07/15853901003>

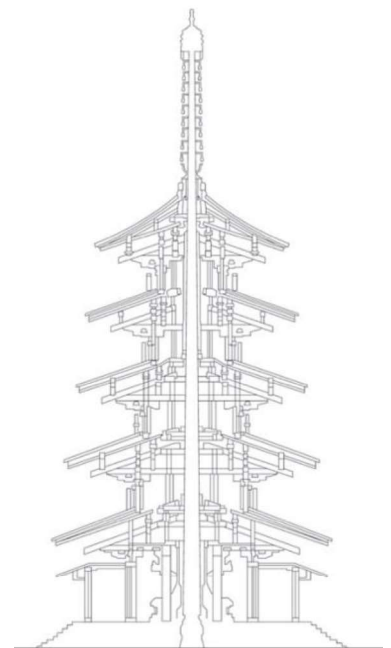


Fig. 32. Sección de la Pagoda Horyu-Ji. Fuente: (Green, 2012, p. 28).

La pagoda japonesa del templo Horyu-Ji (Fig. 32), de una altura de “32,55 m” (Green, 2012, p. 28) , es considerada la más antigua del mundo y fue reconstruida en el año 711, después de que la original se perdiera en un incendio. Su estructura principal está configurada por dos partes sobre un basamento de piedra: una columna central de madera maciza (*Shin-Bashira*) que alcanza la altura total de la construcción enterrada en el suelo, y cinco pisos de entramados de madera (*toshin*), con sus cinco aleros. Es precisamente este particular sistema estructural el que explica que haya sobrevivido a tantos estragos de la naturaleza y durante tantos años:

“Mientras que el *Shin-Bashira* está aislado del resto de la estructura por espacios de 1 cm, la estructura de madera circundante está hecha de pisos individuales que descansan uno encima del otro. La combinación de ambas estrategias permite que la estructura disipe el movimiento oscilatorio producido por los terremotos” (Orta, et al., 2020).

Por último, cabe destacar la pagoda Sakyamuni (Fig. 33), la construcción de mayor altura que ha sobrevivido hasta nuestros días. Fue construida en el año 1056 en el Templo Fogong (China), con una altura de 67,31 m y un diámetro en base de 30,27 m. La pagoda toma la forma de un octágono con nueve plantas y seis aleros y, a diferencia de la pagoda Horyu-Ji, su construcción siguió una estrategia algo diferente debido a que los 4 m de la planta baja se mueven con el suelo mientras que la parte oscilante son los 63 m restantes.



Fig. 33. Fotografía de la Pagoda Sakyamuni. Fuente: <https://cutt.ly/Ymc8cw5>



Fig. 34. Exterior del Castillo de Himeji. Fuente: <https://cutt.ly/wmelow5>

### 2.1.3 Castillo de Himeji

Siguiendo la línea de templos y pagodas, que son los referentes por excelencia de la época, destaca el Castillo de Himeji (Fig. 34), el complejo de madera más grande de Japón, levantado en la cumbre del monte Himeyam. La estructura de madera que configura la torre principal, de 31,5 m de altura, se apoya sobre una base de piedra de 15,85 m. Además, cuenta con dos grandes columnas de madera que proporcionan un soporte estructural adicional



a toda la torre. Esta ingeniosa construcción en altura no solo destaca por su logro como fortaleza defensiva, sino que es su belleza exterior la que hoy deslumbra a sus visitantes. Las relucientes paredes blancas que caracterizan la fachada del castillo tienen además una función protectora, lograda mediante la aplicación de una gran capa de yeso blanco que le proporciona una mayor resistencia al fuego.

## 2.2 Occidente

El mundo occidental recoge muchos de países, con una tradición histórico-cultural muy diversa que queda reflejada en los sistemas y formas de construir. El presente capítulo recoge edificaciones con estructuras de madera que han sido seleccionadas por la altura adquirida, a pesar de ser, en la mayoría de los casos, muy inferiores a las tradicionales pagodas japonesas.

### 2.2.1 Casas medievales con entramado de madera

En la actualidad, en el moderno barrio de Le Marais de París permanecen en pie dos casas medievales de entramado de madera, levantadas según el tradicional sistema estructural de cuajados. Se estima que su construcción data del siglo XIV, a pesar de que posteriormente hayan sido restauradas y modificada su apariencia exterior. En una de estas intervenciones se deja vista la estructura portante de la fachada que inicialmente había sido recubierta como medida de protección frente al fuego. Como se observa en la imagen (Fig. 35), la estructura se arriostra mediante triangulación, rellenando los huecos del entramado de piedras o ladrillos. A pesar de ser pocas las construcciones medievales que se mantienen hoy en pie, estas dos viviendas, de cinco y seis plantas respectivamente, son un claro ejemplo del alcance de las construcciones con estructura de madera del pasado.

*Das Fachwerkhaus* (Fig. 36) es el nombre con el que se denominan las casas de entramado de madera de



Fig. 35. Casas medievales de París con entramado de madera. Fuente: <https://bit.ly/3y0PtsV>



Fig. 36. Casas alemanas con entramado de madera. Fuente: <https://cutt.ly/HmeOAFt>



Alemania y Suecia, que utilizan esta misma técnica con algunas variaciones. La principal diferencia se encuentra en la gran cantidad de madera empleada en la construcción de las casas alemanas, hecho que se debe a la gran cantidad de bosques y tradición maderera del territorio. Por otro lado, en esta parte de Europa es común encontrar viviendas donde la estructura vista está tallada y pintada con múltiples ornamentos que, además de ser un motivo de identidad cultural, protege la madera de las inclemencias del tiempo. La elección del sistema de rellenos más ligeros para erguir viviendas de varias plantas pierde resistencia frente a las deformaciones y es quizá ese el motivo por el que la fachada muestra una mayor distribución de diagonales que en el típico esquema de cuajados estudiado en las viviendas medievales.

### 2.2.2 La iglesia de Heddal

En Noruega, con una larga tradición en madera, se levanta en el siglo XII el símbolo religioso más importante del país: la Iglesia de Heddal (Fig. 37). Las últimas investigaciones arqueológicas han hallado restos de madera más antiguos, lo que sugiere que la iglesia que hoy encontramos pudo haber sido levantada sobre las ruinas de antiguos templos. Esta monumental construcción medieval de madera, de 26 m de altura, es la iglesia más grande conservada en Noruega, siendo hoy un importante centro turístico. La iglesia sigue la tipología de *Stavkirke*, nombre con el que se reconoce al modelo de templos cristianos medievales construidos en madera en Europa del Norte, pero hoy solamente encontrados en Noruega. El diseño de la estructura configura un armazón de gruesos postes circulares conocidos como *Stav* colocados sobre cimientos de piedra con el fin de solucionar el problema de los postes enterrados, que se humedecían y dañaban con el tiempo.

### 2.2.3 Iglesias de Rumanía

Las iglesias de madera de Rumanía fueron construidas entre los siglos XVII y XVIII en diferentes zonas de la región de Maramures. Si bien todas ellas alcanzan alturas



Fig. 37. Iglesia de Heddal, Noruega. Fuente: <https://cutt.ly/FmeArjX>

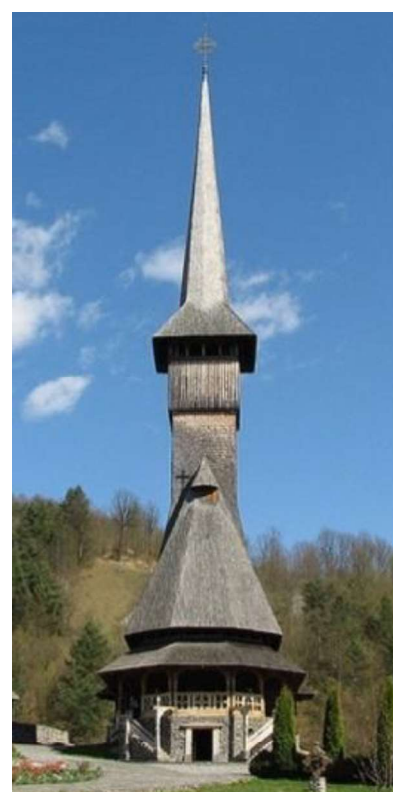


Fig. 38. Iglesia de Surdesti en la región de Maramures. Fuente: (Green, 2012, p. 33).

sorprendentes, la iglesia de Surdesti (Fig. 38) parece ser la de mayor altitud alcanzada. A comienzos del siglo XVIII se levantaron sus 72 m de altura, convirtiéndose en uno de los templos de madera más altos del mundo occidental, acercándose e incluso alcanzando a las pagodas japonesas. Concretamente fue esta última una de las ocho iglesias declaradas Patrimonio de la Humanidad por la Unesco en 1999.

#### 2.2.4 The House Mill

En el distrito londinense de Newman, The House Mill es hoy un importante edificio de cinco plantas ubicado sobre el río Lea y parte del complejo Three Mills. Es considerado el molino de mareas más grande de Gran Bretaña, con una estructura de madera diseñada por Daniel Bisson en 1776, que ha sufrido diferentes rehabilitaciones como consecuencia del deterioro y pequeños incendios. Esta originaria estructura de entramado pesado configura un edificio más parecido a la tipología de bloque actual que a las esbeltas estructuras citadas anteriormente, con grandes pórticos de madera que generan un diáfano espacio interior completamente envuelto por este material (Fig. 39).

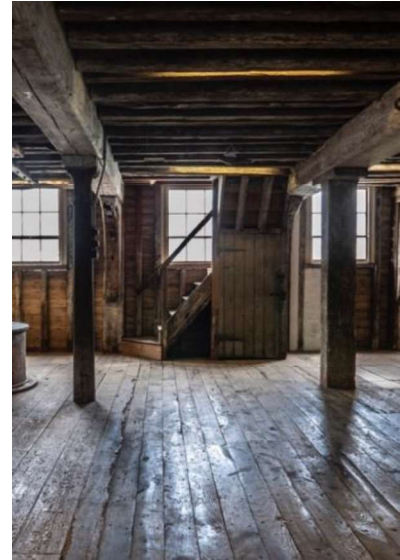


Fig. 39. The House Mill, fotografía interior. Fuente: <https://cutt.ly/emeGpGh>

## 3 Los nuevos materiales

---

Desde la antigüedad, la madera ha sido uno de los principales materiales de construcción. Sin embargo, en algunos momentos históricos se ha cuestionado su uso en edificación. Poco a poco, se fue relegando su uso a favor del adobe, los ladrillos de arcilla cocida y, en construcciones de mayor entidad, la piedra y el mármol. Posteriormente, conscientes de las limitaciones de las estructuras de madera y tras diferentes acontecimientos históricos, el material queda en gran parte desacreditado y es sustituido por los nuevos materiales de construcción, el acero en el siglo XIX y, un siglo después, el hormigón armado. La llegada de los nuevos materiales junto con los avances de la tecnología da origen a las primeras construcciones en gran altura y el relego de la madera a las edificaciones de menor entidad. Es el nacimiento de los primeros rascacielos.

### 3.1 Debilidades de la madera

La escasez en determinados territorios y la percepción sobre su comportamiento ante la humedad, algunos agentes bióticos y el fuego son algunas de las debilidades asociadas a la madera que contribuyen a generar una percepción negativa del material.

En el siglo XV, ya Alberti indicaba que en los edificios públicos debía evitarse la madera en estructuras vistas, atendiendo a razones de “dignidad de las obras”. De otro modo, en el XVII en Francia, D’Aviler aceptaba la construcción de entramados de madera cuando fuera preciso reducir gasto, peso o aumentar espacio. Y “es en el siglo XVIII cuando autores como Jombert (1728) y Patte (1769) criticaban abiertamente el uso indiscriminado de madera en edificación, poniendo en duda

el posible ahorro frente a los problemas de conservación” (Gómez, 2006, p. 323).

La preocupación por el comportamiento resistente prevalece sobre criterios económicos, y “el temor a los incendios lleva a algunos autores como el Conde de Espie (1754) incluso a proponer la sustitución de las estructuras de madera por soluciones de ladrillo” (Gómez, 2006, p. 323). La desconfianza de su empleo como material de construcción es asociada principalmente a su comportamiento ante el fuego; uno de los principales motivos por los que la madera llega al siglo XX como un material desacreditado.

En las Ínsulas de la antigua Roma era constante la preocupación frente a los incendios y derrumbes; sucesos que se habían convertido en una de las mayores causas de muerte entre la población. El poco espacio libre entre estas construcciones de madera, unido a su altura, hacía que el fuego se propagase entre ellas con facilidad (Fig. 40). De acuerdo con Peter Hall (1998) en su libro “*Cities in Civilization*”: “Julio César se vio obligado a promulgar leyes para limitar la altura de estos edificios a 21 m, por peligro de colapso de dichas estructuras ante la falta de controles”. Posteriormente, Trajano redujo la altura máxima a 18 m” (Martínez, 2018, p. 8), limitando las construcciones a seis plantas. Otra de las restricciones impuestas fue dirigida a evitar la propagación de incendios al establecer la separación mínima entre cada edificio. Los factores de riesgo asociados a estas construcciones no solo motivaron la aplicación de nuevas leyes, sino que, con el fin de prever esas situaciones, el emperador Augusto creó un grupo de vigilantes que eran alertados en caso de producirse un incendio (Fig. 41). Podría encontrarse en esta medida el origen del cuerpo de bomberos.

Realmente, el abandono del material en la arquitectura de las ciudades vino de la mano de diferentes tragedias que relegan su empleo a la arquitectura rural, apostando en su

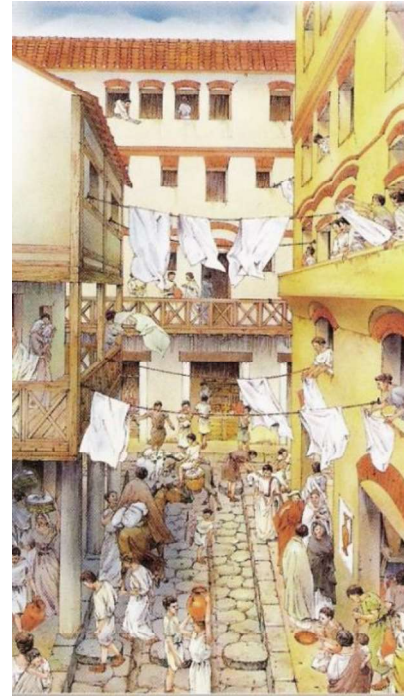


Fig. 40. Ilustración gráfica de las calles y viviendas romanas.

Fuente: <https://cutt.ly/Jmzg9Qx>

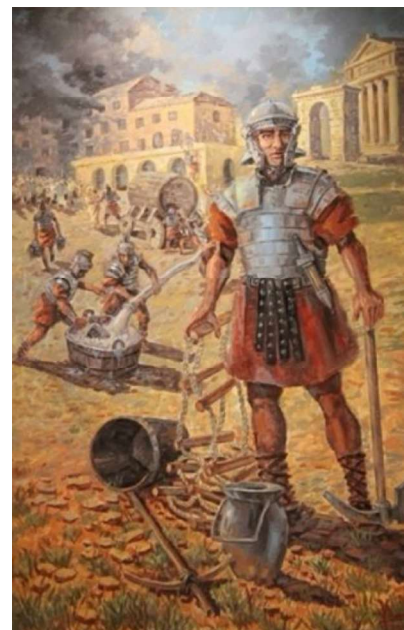


Fig. 41. Ilustración gráfica de un grupo de vigilantes apagando un incendio en la antigua Roma.

Fuente: <https://cutt.ly/pmzg3SB>



lugar por el ladrillo y la piedra y, posteriormente, en el acero y el hormigón armado.

El incendio de Londres de 1666 se saldó con la destrucción de más de 13.000 hogares (Fig. 42). No solo las casas destruidas eran de madera, sino que también lo era gran parte de la infraestructura de suministro. Para levantar de nuevo la ciudad se firma en 1667 un Acta de Reconstrucción orientada, entre otras cosas, a eliminar aquellos riesgos que habían propiciado la propagación del fuego. Una de las regulaciones aplicadas prohíbe por primera vez las construcciones en madera, debiendo emplearse exclusivamente la piedra o el ladrillo como materiales de construcción. Además, después de la catástrofe surgieron nuevas reglas sobre equipamientos (Fig. 43) contra incendios y se creó la *Fire Office*, una compañía aseguradora contra incendios.

En 1871, otro gran incendio destruyó gran parte de la ciudad estadounidense de Chicago (Fig. 44). En aquella época, las viviendas también eran de madera y mampostería, la mayoría de seis plantas. No solo las viviendas eran construidas íntegramente en este material, también las calles se habían adoquinado con madera, facilitando la propagación del fuego. Tras la catástrofe comenzó un proceso de reconstrucción en el que emerge la denominada Escuela de Chicago, una referencia de la arquitectura moderna que introdujo los nuevos materiales y técnicas para la construcción de los primeros rascacielos. Ahora bien, además de las debilidades mencionadas anteriormente, la sustitución de las grandes construcciones de madera llega con la producción masiva y consiguiente abaratamiento de los nuevos materiales metalúrgicos de la Revolución Industrial.



Fig. 42. Ilustración del incendio de Londres de 1666. Fuente: <https://cutt.ly/Vmr0cNo>



Fig. 43. Ilustración de una máquina contra incendios del siglo XVII. Fuente: <https://www.bbc.com/news/uk-england-london-36774166>



Fig. 44. Ilustración del gran incendio de Chicago en 1871. Fuente: <https://cutt.ly/lmzg4gp>



## 3.2 Los nuevos materiales

El proceso de transformación social, económica y tecnológica iniciado en Gran Bretaña en la segunda mitad del siglo XVIII supuso un punto de inflexión en la historia de la humanidad. La denominada Revolución Industrial modifica un modelo de vida que afecta también a la forma de construir, en el que el desarrollo del acero y, más tarde, del hormigón armado pronto se apoderó de la industria de la construcción. Mientras, la madera como material de construcción apenas evolucionó, en parte debido a la desconfianza generada en el material a lo largo de las últimas décadas. Además, a este hecho se suma su carácter natural e impredecible, algo que, frente al comportamiento uniforme del acero y el hormigón, no era compatible con los nuevos métodos de producción.

### 3.2.1 Acero

Como consecuencia directa del avance tecnológico de los altos hornos, se fabrican de forma industrializada, seriada y económica el acero y otros materiales metálicos que configuran las estructuras de las nuevas construcciones. Estos materiales posibilitan la cubrición de mayores luces, relegando las construcciones en madera a su empleo en aquellas de menor entidad. Una obra clave es el puente *Coalbrookdale* (Fig. 45), el primer puente metálico del mundo, construido en 1779 con una envergadura de 30,50 m y 60 m de longitud. De acuerdo con A. Bernabeu: “cuando aparece un nuevo material, las formas y tipologías estructurales que adopta reproducen los sistemas precedentes, característicos de los materiales existentes, sin aprovechar ni expresar las posibilidades que el nuevo material ofrece” (Bernabeu, 2007, p. 9). En este sentido, el modelo de puente adopta la tipología de arco como herencia de los antiguos puentes de piedra, mientras que sus detalles constructivos recuerdan a las estructuras en madera.



Fig. 45. Puente de Hierro de Coalbrookdale. Inglaterra, 1779. Obra de T. Pritchard, A. Darby III y J. Wilkinson. Fuente: <https://structurae.net/en/structures/iron-bridge>

A partir del siglo XIX, el empleo del acero supuso una transformación radical del mundo de la construcción. El material ofrece una resistencia y unas posibilidades mucho mayores que las de los materiales estructurales conocidos hasta entonces (cerámica, piedra y madera) y permite superar rápidamente la escala de las edificaciones realizadas anteriormente y cambiar su planteamiento formal. Así, con motivo de la primera Exposición Universal, celebrada en 1851 en Londres, Joseph Paxton diseña el Palacio de Cristal (Fig. 46), una edificación de hierro fundido y cristal de 34 m de altura y 600 m de longitud. La construcción ofrece una aproximación verdaderamente distinta a las edificaciones de la época dado que “plantea un esquema estructural basado en la repetición de un mismo módulo e introduce sistemas de producción industrial y de prefabricación” (Bernabeu, 2007, p. 6). Su condición de referencia para la construcción y la ingeniería estructural de la época sufriría una severa fatalidad dado su trágico final en un incendio terminal, en 1936, después de ser trasladado de su ubicación original en Hyde Park a un emplazamiento distinto, al sur de Londres. Lo que aceleraría la irrupción del hormigón armado, como material más seguro en situaciones de incendio.

Este escenario alcanzaría su cumbre en la Exposición Universal de París de 1889, cuando el ingeniero Alexandre Gustave Eiffel levanta una estructura de hierro pudelado de 300 m de altitud, demostrando así el alcance de las estructuras metálicas. Su obra, denominada Torre Eiffel (Fig. 47), fue durante 41 años el edificio más alto del mundo.

### 3.2.2 Hormigón armado

Mientras la construcción del siglo XIX está asociada a las estructuras metálicas y a la industrialización, el siglo XX se caracteriza por la flamante aparición del hormigón, armado primeramente y pretensado más adelante, que revoluciona de nuevo el mundo de la ingeniería y la arquitectura. No obstante, ya en el siglo XIX se tiene constancia de las



Fig. 46. Interior del *Crystal Palace* de Joseph Paxton en Londres. Fuente: <https://cutt.ly/rmzhaVj>



Fig. 47. Fotografía de la torre de Gustave Eiffel de París (1889). Fuente: <https://cutt.ly/WmtOHDy>

primeras patentes del empleo del hormigón con armadura. Joseph Lambot presenta en 1849 una barca de hormigón reforzado con hierro para la Exposición Industrial de París, considerada la primera invención con hormigón armado. Unos años después, en 1852, François Coignet incorpora refuerzos de hierro al hormigón. Ahora bien, la intervención del hormigón armado se suele atribuir a William Boutlan Wikinson, especialista en ornamentación y molduras de yeso y hormigón, quien, con el fin de dar respuesta al problema de los incendios “solicitó en 1854 la patente de un sistema que incluía armaduras de hierro para la mejora de la construcción de viviendas, almacenes y otros edificios resistentes al fuego” (Valenzuela, 2015, p. 135). Finalmente, en 1867 Joseph Monier levanta en Francia las primeras edificaciones de hormigón armado. Si bien en la última década del siglo XIX en Europa y en Estados Unidos existían ya un número relevante de obras construidas en hormigón armado, en España “su introducción tiene lugar a finales del siglo XIX bajo influencia francesa. El primer caso conocido en cuanto a su empleo estructural es un depósito de agua en Puigverd (Lleida) construido en 1893 por Francesc Macià, según el sistema Monier” (Marcos, et al., 2014, p. 137).

A diferencia de la lentitud y dificultad con que las estructuras metálicas fueron aceptadas por los arquitectos a lo largo del siglo XIX, el hormigón pronto fue aceptado sin reservas, siendo determinante en la arquitectura del siglo XX (Bernabeu, 2007, p. 8).

Al igual que sucedía en el puente *Coalbrookdale*, los primeros puentes realizados en hormigón armado reproducen las tipologías estructurales y formales de los sistemas precedentes. En este caso adoptan la tipología de vigas en celosía propias de los puentes metálicos. A pesar de que éstas se sustituirán por vigas de alma llena, las vigas trianguladas de hormigón como cubrición de grandes luces se seguirán utilizando años después. En España, J.M. de Zafra, una figura clave de la ingeniería civil española,



Fig. 48. Puente sobre el río Vélez en 1909. Fuente: <http://ingenieriacivil.cedex.es/index.php/ingenieria-civil/article/view/2402>

proyectó en 1907 un puente con vigas de hormigón armado en celosía sobre el río Vélez (Fig. 48).

Por otro lado, Bernabéu encuentra esta misma idea aplicada a las estructuras de edificación. Así, asegura que “a finales del siglo XVIII el procedimiento más habitual para la formación de forjados metálicos consiste en la disposición de bovedillas de ladrillo entre viguetas metálicas, herencia directa de la construcción tradicional con vigas de madera” (Bernabeu, 2007, p. 10). De la misma manera, los primeros forjados de hormigón armado adoptan sistemas de vigas y pilares, muy similares a los anteriores forjados de estructura de madera o metálicos. Este sistema de forjados de vigas y pilares de hormigón armado, patentado por François Hennebique (Fig. 49), surge en Francia hacia 1890. Se sabe que ya a principios del siglo XX tenía una fuerte presencia en todo el mundo, esta vez, y al igual que las estructuras metálicas, aplicado incluso en las construcciones en media y gran altura.

### 3.3 Primeros rascacielos

Los protagonistas de la construcción de los primeros rascacielos podrían agruparse en torno a la frecuentemente denominada Escuela de Chicago. Si bien es cierto que desde la antigüedad se tiene constancia de la existencia de edificaciones en altura, no se comienza a hablar de los rascacielos hasta su nacimiento con este grupo de arquitectos e ingenieros surgido a finales del siglo XIX y principios del XX. Parece ser la esbeltez, la relación entre la sección y la longitud, aquella que lleve a considerar a un edificio como alto. A ello se suman las explicaciones que realiza M.Á. Cobreros en su libro “Tipologías estructurales de edificios en altura”:

“En los edificios en altura las cargas horizontales tienen primacía sobre las verticales. Los muros transmiten las cargas horizontales mediante el rozamiento entre hiladas de arriba hacia abajo y resisten el momento de vuelco descentrando la resultante vertical de peso propio como forma de establecer un par centrador que equilibre la torre” (Cobreros, 1999, p. 8).

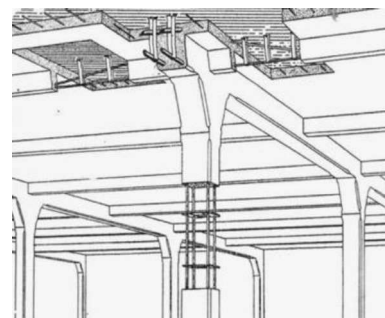


Fig. 49. Sistema François Hennebique. Sistema de forjados viga-pilar en hormigón armado. Fuente: (Bernabeu, 2007, p. 10).

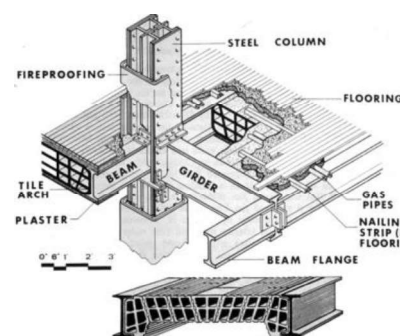


Fig. 50. Detalle del *Fair Building* de W. Le Baron Jenney de 1891. Fuente: <https://cutt.ly/Fmbrce2>



El origen de las construcciones en altura no solo se encuentra en la necesidad de reconstrucción de la ciudad de Chicago, tras las enormes pérdidas provocadas por el gran incendio de 1871, sino que son también otros factores los que impulsan y posibilitan esta nueva tendencia arquitectónica. Por un lado, con el crecimiento de la población junto con la industrialización del siglo XIX y el consecuente traslado de la población rural a las ciudades, se origina un interés por concentrar a un mayor número de personas en el menor espacio posible. Por otro lado, este desarrollo se da gracias a los nuevos avances de la tecnología relativa a los sistemas de transporte vertical y los nuevos materiales.

De acuerdo con Vitruvio ya en el año 236 a.C. Arquímedes introduce el primer mecanismo elevador mediante poleas y cuerdas, no obstante, no fue hasta 1853 cuando Elisha Graves Otis diseña el primer ascensor mecánico con freno de emergencia (Fig. 51). Décadas después, en 1887, Weren Von Siemens incorpora al sistema el motor eléctrico.

Entre los ingenieros y arquitectos que se encargan de reconstruir la ciudad de Chicago destaca William Le Baron Jenney, considerado el diseñador del primer edificio con esqueleto metálico (Fig. 50), el *Home Insurance Building* (Fig. 52). Su construcción, datada entre 1884 y 1885, alcanza los 10 pisos y 55 m de altura bajo un interés en concentrar a un mayor número de personas en el menor espacio posible. Estos primeros edificios en altura sentaron las bases teóricas y estéticas para las construcciones más altas del siguiente siglo.



Fig. 51. Ascensor eléctrico con reductor diseñado en 1889. Fuente: <https://cutt.ly/Pmr719c>



Fig. 52. El *Home Insurance Building* de William Le Baron Jenney. Fuente: <https://cutt.ly/Bmc4y2R>





Capítulo 2

## **Madera estructural**

---

## 4 Industria de la madera

---

Las restricciones en el uso de acero y otros metales impuestas durante la Primera Guerra mundial y el desarrollo industrial de nuevos adhesivos sintéticos ponen fin al letargo de la industria de la madera. En Europa a comienzos del siglo XX se empiezan a aplicar colas y resinas sintéticas y se abre paso al desarrollo de la madera laminada encolada para la construcción de estructuras de grandes luces, tales como hangares, industrias o barracones, y de los tableros contrachapados para el desarrollo y fabricación de los primeros aviones de guerra.

### 4.1 Madera laminada encolada

Varios autores afirman que Philibert de l'Orme (1515-1577) comenzó a divulgar el uso de piezas de pequeño tamaño a partir de elementos más largos. Tres siglos después, Armand Émy (1771-1851), más conocido como coronel Émy, continúa la técnica iniciada por de l'Orme y es considerado el primero en utilizar madera laminada unida por clavos y collares (Orta, et al., 2020, p. 3).

#### 4.1.1 Madera laminada

La principal incorporación del sistema de Émy a la propuesta de l'Orme es el empleo de la mayor longitud de las piezas posible. Con ello, facilita el curvado de las mismas sin que se alcance el límite del material y evita la rotura del mismo, prestando especial atención a la hora de “evitar que las juntas coincidan, ya que daría lugar a un punto crítico y especialmente débil de la estructura” (Sevilla, 2018, p. 13).

Concretamente fue en 1819 cuando el coronel Emy se planteó dar con una solución revolucionaria para la cubierta del picadero del cuartel de Libourne.

Posteriormente, lo puso en práctica en 1825 en el cuartel de Marac (Fig. 53) para un hangar de 68 pies de luz y, un año después, en el de Libourne para el que se había concebido. La estructura del picadero de Libourne, es una muestra de la aplicación de sistemas mixtos que según la propuesta de Émy, asocia la triangulación y la laminación, con el fin de arriostrar el sistema adecuadamente de forma que se eviten los movimientos laterales. Gómez (2006) describe el sistema de Émy de la siguiente forma:

“Se trata de un sistema que sustituye las cerchas por una combinación de arcos de madera laminada formados por tablas de gran longitud y espesor reducido colocadas de plano y aseguradas con pernos metálicos, y armadura a dos aguas de cuchillos de puente con pendolón y pares jabalconados sobre postes laterales verticales. Ambas estructuras se encepnan con piezas normales a la directriz del arco, a fin de rigidizar el conjunto” (Gómez, 2006, p. 412).

En la propuesta del modelo de Emy, configurada por láminas de madera colocadas horizontalmente y ensambladas por bulones y bridas metálicas (Fig. 55), gracias a la flexibilidad de las láminas de madera, se logra obtener de forma sencilla la curvatura deseada para los arcos. No solo destaca por la sencillez de su montaje, sino que, dada la posibilidad de superponer el número de láminas necesario para el ancho requerido, también era posible aplicar la dimensión requerida, encontrando el mayor inconveniente en los empujes laterales que se generaban sobre los muros de apoyo, los cuales requerían un refuerzo adecuado. Fue el propio Émy quien llevó a cabo un análisis comparativo entre su propuesta y la de las estructuras del arquitecto francés Jean-Baptiste Rondelet, concluyendo que “su propio diseño era una evolución de las anteriores en cuanto a simplicidad de ejecución, así como en economía de medios (mano de obra y de material para los casos de grandes luces)” (Sevilla, 2018, p. 14). Finalmente, “la propuesta de Émy fue avalada en Francia por un informe de la Sociedad de Fomento de la Industria Nacional en 1831, adoptándose a partir de este momento

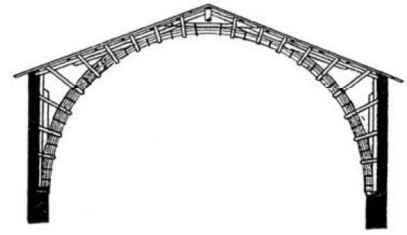


Fig. 53. Armadura. De Émy para el cuartel de Marac, Newlands, 1860. Fuente: (Somoza, 1986, p. 41).

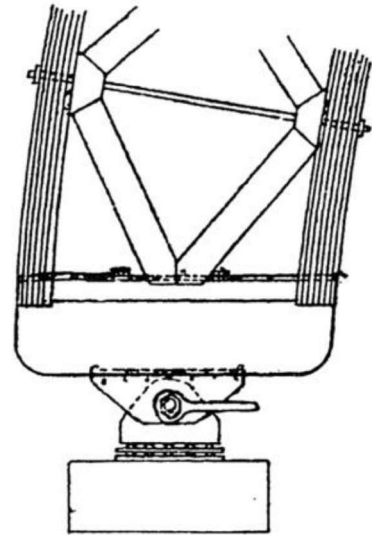


Fig. 54. Sistema mixto del coronel Émy empleado en el cuartel de Libourne. Fuente: (Somoza, 1986, p. 42).

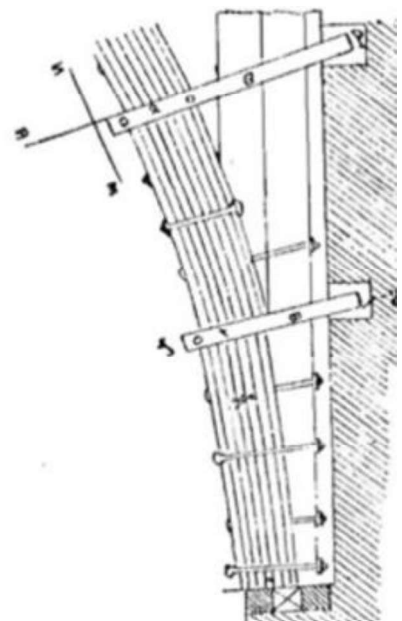


Fig. 55. Sistema Émy, arco laminado atornillado 1828. Fuente (Martinez, 2018, p. 11).



para la construcción de distintos tipos de obras” (Sevilla, 2018, p. 14).

#### 4.1.2 Madera laminada encolada

No será hasta el siglo XX cuando la ingeniería aplicada a la madera experimente unos avances considerables en lo que se refiere a los niveles de resistencia y creatividad como resultado del nacimiento de la madera laminada encolada. Somoza (1986), hace referencia al autor que introdujo por primera vez el equivalente a la madera laminada encolada:

“Un último paso quedaba por franquear, y este honor le corresponde a Otto Hetzer, maestro carpintero en Ewimar (Suiza) que tuvo la genial idea, hacia 1906, retomando el sistema Emy, y gracias a los progresos de la química moderna, de sustituir los bulones y bridas metálicas por colas tipo caseína, obteniendo así una sección prácticamente homogénea. La madera laminada encolada había nacido (Somoza, 1986, p. 42)”.

Karl Friederich Otto Hetzer (1846-1911), maestro de la carpintería de armar (Fig. 56), revolucionó radicalmente la forma de construir en el mundo gracias a sus descubrimientos y patentes. Es cierto que la madera laminada ya había aparecido como elemento estructural previamente, sin embargo, no era capaz de competir contra la madera maciza y menos contra el hormigón y el acero. El uso de conectores metálicos no permitía que las distintas láminas funcionasen como una unidad debido a la escasa superficie de contacto. Este hecho genera una acumulación de tensiones en torno a los elementos conectores, provocando así su rotura antes de que las láminas alcancen su capacidad máxima (Martínez, 2018, p. 11). En el libro *“Laminated Timber Construction”* [Construcción de Madera Laminada] Christian Müller narra los problemas que sufrían estas estructuras:

“Las capas separadas estaban conectadas con la ayuda de tornillos y collarines, que pretendían incrementar la fricción entre laminas y, por tanto, facilitar la transmisión de esfuerzos

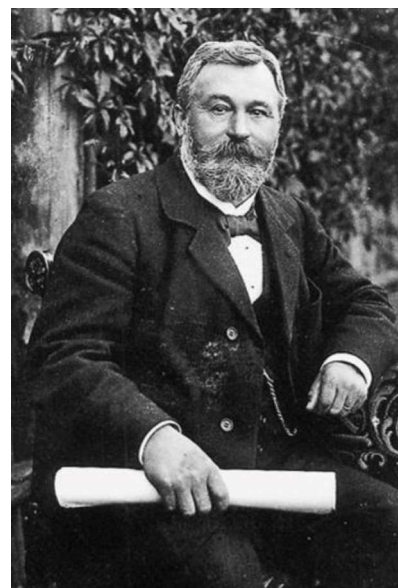


Fig. 56. Fotografía de Karl Friederich.  
Fuente: (Müller, 2000, p. 24)



entre capas. Como la conexión no es una unión real, los esfuerzos flectores causaban el desplazamiento de las láminas entre ellas. Esto derivó en graves deformaciones llegando a cambiar los patrones de las cargas” (Müller, 2000, p. 25).

Según sus explicaciones, para que la unión encolada sea capaz de transmitir fuerzas de un miembro a otro la unión debe ser más resistente que la madera adyacente. En este sentido, la unión de láminas de madera mediante adhesivos aparece como una solución a los problemas encontrados en los conectores metálicos; el nuevo sistema de unión permite maximizar la superficie de contacto de forma que las tensiones queden repartidas uniformemente entre las láminas, logrando obtener una sección prácticamente homogénea.

La primera patente que definió la madera laminada encolada la obtuvo Hetzer en 1901, en Suiza, basándose en la superposición de láminas de madera unidas por un adhesivo para construir vigas rectas de grandes luces. Sin embargo, se cree que las primeras aplicaciones de este sistema “datan del año 1890 en la construcción del edificio del Reichstag en Berlín, donde se emplearon vigas de 10 metros de longitud” (Sevilla, 2018, p. 17). Continuando con su labor de investigación, en 1906 patenta en Alemania un sistema que permite salvar luces aún mayores: arcos de madera laminada encolada configurados a partir de piezas curvadas de madera (Fig. 57). Posteriormente, sus patentes se extendieron a varios países europeos como Alemania, Austria, Hungría, Bélgica, Checoslovaquia, Dinamarca, España, Inglaterra, Finlandia, Francia, Holanda, Italia, Noruega, Suecia y Suiza (Jordahl, 1999, p. 29), siendo este último el país en el que alcanzó un espectacular desarrollo. Entre sus primeras aplicaciones en Europa destaca su actuación en la Sala de exposiciones de ferrocarriles alemanes para la Exposición Internacional de Bruselas de 1910.

El salto a América llegó de la mano de Max Hanisch, autor que se asoció con Hetzer en la firma de Weimar en 1906,

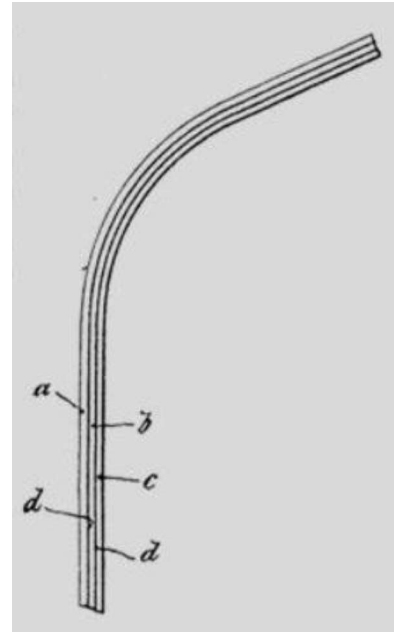


Fig. 57. Patente nº197773 de Otto Hetzer en 1906 en Weimar, Alemania. Fuente: (Müller, 2000, p. 25)



Fig. 58. Estructura con vigas en arcos lamiados encolados en el gimnasio de Peshtigio, Wisconsin Fuente: <https://cutt.ly/fmtPjiV>

donde aprendió la tecnología (Jordahl, 1999, p. 30). La primera aplicación de la madera laminada encolada en Norteamérica data de 1934 para una escuela y un gimnasio (Fig. 58) para la ciudad de Peshtigo en Wisconsin, obra encargada al arquitecto por Max Hanisch.

Unas décadas después de las primeras patentes de Hetzer, con la II Guerra Mundial se ve favorecido notablemente el desarrollo de la madera, en gran parte por las restricciones existentes para el empleo del acero al tener como prioridad el abastecimiento de la logística militar. Es cierto que al comienzo de la II Guerra Mundial la tecnología de la madera había alcanzado un nivel muy elevado, sin embargo, es durante el transcurso de la misma, cuando sufre un mayor impulso (Somoza, 1986, p. 42). De acuerdo con Jordahl “se estima que se ahorraron 800.000.000 libras (362.880 t) de acero estructural al construir con madera en 1942. Esto sin incluir el ahorro que suponía la construcción con madera laminada encolada” (Jordahl, 1999, p. 29).

Es por ello por lo que, a lo largo del siglo XX, la ingeniería aplicada a la madera laminada experimenta unos avances considerables. Dado la gran capacidad de resistir esfuerzos, esta tecnología se aplicó en la construcción de grandes estructuras que salvaban luces considerables. Desde entonces y hasta la actualidad, la madera laminada encolada ha seguido un gran desarrollo a nivel mundial sin apenas restricciones en su uso en construcciones de diferentes escalas, apareciendo con frecuencia en las estructuras de madera de construcciones en altura.

## 4.2 Adhesivos y uniones

El recorrido por la historia de las colas para la madera tiene su origen hacia el año 3500 a.C. en Egipto. El conocido interés por mejorar las dimensiones, propiedades y capacidades existía ya en la antigüedad, siendo los egipcios (Fig. 59) los primeros en unir finas láminas de madera mediante colas naturales a base de cartílagos y/o de pescado. La Asociación de Investigación de las Industrias de la Madera (AITIM) en su publicación “Productos de madera para la arquitectura” hace referencia a las primeras aplicaciones de las colas para chapados de madera, encontrando “objetos preciosos como las sandalias de Tutankamon (Fig. 60) o elementos de mobiliario (camas, butacas, etc.)” (Anon., 2008, p. 24), utilizándose principalmente con fines decorativos. Desde entonces, las colas y las uniones de las finas láminas de madera han ido evolucionando en paralelo al perfeccionamiento de las sierras y cuchillas.

### 4.2.1 Adhesivo de caseína

A comienzos del siglo XX los adhesivos compuestos de caseína experimentan un desarrollo importante, primero por el uso en la carpintería y a continuación por su utilización en aviación. Se sabe que fue a partir de 1910 cuando la construcción en madera de aviones con fines civiles y más tarde militares desarrolló una tecnología basada en la mezcla de madera maciza para la estructura y tablero contrachapado para el fuselaje del avión (García, 1999, p. 71). Cabe destacar que estos primeros adhesivos no eran resistentes al agua dado que se disolvían al entrar en contacto con esta, quedando limitado su uso a ambientes interiores y secos.

### 4.2.2 Adhesivo de formaldehído

Frente a la falta de resistencia al agua de los compuestos de caseína, los adhesivos con base de formaldehído se introducen en 1936 adquiriendo esta propiedad. El desarrollo de este compuesto llevó a unas mayores



Fig. 59. Ilustración de los materiales de construcción en el Antiguo Egipto. Fuente: <https://egiptologia.com/materiales-de-construccion-en-el-antiguo-egipto/>



Fig. 60. Sandalias de Tutankamon, adornadas con chapas de madera (Fuente (Anon., 2008, p. 24).

prestaciones del adhesivo logrando alcanzar unas prestaciones idénticas a las de la madera maciza. Por ello, gracias a estos adhesivos con base de formaldehído la madera laminada encolada adquiere prestaciones equiparables a las de la madera maciza. Cabe destacar que hoy en día los compuestos de melamina-urea-formaldehídos son los más utilizados por su transparencia (Serrano, 2000).

#### **4.2.3 Adhesivo epoxi y otros**

De acuerdo con García en su publicación sobre Historia de la tecnología de la madera: “En 1949 se fabrican los primeros adhesivos epoxis. Los adhesivos vinílicos de un solo componente se formulan en 1950, y no es hasta 1964 cuando aparecen los primeros termofusibles” (García, 1999, p. 71). En las últimas décadas, según afirma Serrano en *“Adhesive Joints in timber Engineering. Modelling and testing of fracture properties”* [Juntas adhesivas en la ingeniería de la madera: modelado y ensayo de propiedades de fractura]: “los adhesivos para madera más comúnmente empleados en aplicaciones estructurales en la actualidad son los adhesivos a base de fenol-resorcinol (PR), urea formaldehído ((M) UF), poliuretanos (PUR) y epoxis (EPX)” y sigue, “Los adhesivos a base de epoxi son fiables y muy adecuados para fines estructurales, pero no se prefieren en algunos países por motivos del entorno de trabajo” (Serrano, 2000, p. 5). El desarrollo del formaldehído, y más recientemente de las resinas, no solo ha servido para mejorar la resistencia de la madera laminada encolada, si no que ha permitido el desarrollo de una gran variedad de productos durante la última mitad del siglo XX.

#### **4.2.4 Uniones dentadas**

En su aplicación para la carpintería de armar, son muchas las ventajas obtenidas al aserrar la madera para unirla posteriormente, siendo algunas de ellas la fiabilidad y deformabilidad adquiridas, además de la longitud indefinida. Esta última propiedad se adquiere mediante

empalmes de la madera que permiten prolongarla en sentido longitudinal. De la gran variedad de posibilidades de empalme que hoy existen, en este documento se ha optado por exponer solamente una de ellas a modo de ejemplo. Es el caso de uno de los primeros sistemas, que llega en 1942 y es conocido como modelo de uniones dentadas (Fig. 61) o a peine (*finger joints*). A través de ellos es posible unir tantas láminas como se requiera en sentido longitudinal, encontrando la única limitación de tamaño en el transporte del taller a la obra. Además, aumenta considerablemente la superficie de contacto y crea una disposición oblicua entre las fibras y el corte. Son muchos los especialistas que clasifican esta unión como material de alta calidad dada su rigidez, estabilidad dimensional y versatilidad. Esto hizo que en 1959 se normalizara este tipo de uniones según la DIN 68140 (Martínez, 2018, p. 12).



Fig. 61. Empalme mediante uniones dentadas o a peine (*finger joints*). Fuente: <https://cutt.ly/Emc7qlp>



## 5 Productos de madera estructural

---

La construcción en altura con estructuras de madera se produce como resultado de la capacidad de mecanizar e industrializar las piezas de madera, de la posibilidad de montar rápidamente los edificios y reducir drásticamente los tiempos de construcción, fiabilidad y control, además de la mejora de los adhesivos y elementos de unión, así como el desarrollo de nuevos productos de ingeniería de la madera.

Las ventajas asociadas al empleo de la madera como material de construcción son bien conocidas: tiene una apariencia y belleza natural atractiva, es un buen aislante térmico, si se trata correctamente tiene una larga vida útil, su relación resistencia/peso es alta, es fácil de trabajar, resiste al fuego durante un periodo de tiempo relativamente largo, es considerado un material con baja huella ecológica y finalmente, puede ser reutilizada o reciclada. No obstante, a pesar de todas sus virtudes también existen ciertas desventajas en el uso de este material “vivo”, entre las cuales cabe destacar su sensibilidad a la exposición a la humedad, la presencia de defectos tales como nudos, vetas en espiral o variaciones de densidad y su baja resistencia perpendicular a la dirección de la veta, al tratarse de un material altamente anisotrópico.

Con el fin de evitar algunos de los problemas asociados a la madera maciza, que limitan su aplicación en las construcciones en altura de madera, a lo largo de los años se han desarrollado productos de madera estructural, denominados EWPs (*Engineered Wood products*). La mayoría de estos materiales tienen en común el enfoque de su producción: cortar la madera maciza en piezas de menor dimensión como láminas o fibras para volver a unirlos posteriormente mediante presión y pegado, a veces a

temperaturas elevadas. En dichos materiales reconstituidos, más homogéneos que la madera maciza, sus propiedades materiales como rigidez y resistencia no varían tanto como en la madera maciza. “Si la materia prima se desintegra en fibras o partículas, que luego se orientan aleatoriamente en el producto final, el resultado es un material menos ortotrópico que la madera maciza” (Serrano, 2000, p. 4). Estos procesos han evolucionado mucho en los últimos tiempos y han logrado, gracias a la tecnología, llevar al mercado productos técnicamente competitivos con otros materiales como el acero y el hormigón, además de aportar grandes beneficios medioambientales.

En la actualidad, existe en el mercado una amplia variedad de materiales de madera con fines estructurales tales como la madera laminada encolada (GLT), la madera laminada cruzada (CLT), la madera micro laminada (LVL), la madera de virutas (LSL), la madera de fibras paralelas (PSL) o los paneles de madera-madera (SVL). Cada vez son más las propuestas innovadoras que desarrollan nuevos productos de madera con aplicación en estructuras, como por ejemplo los paneles de madera-madera (TTP) o los paneles celulares ecológicos (ETC).

Debido a sus capacidades técnicas, rentabilidad y propiedades medioambientales, a lo largo de las últimas épocas ha crecido el interés en estos productos y sistemas de construcción. Sin duda, el producto que ha recibido mayor atención en los últimos años es la madera laminada cruzada (CLT), a veces denominada *X-lam*.

## 5.1 Madera Laminada Encolada (GLT)

La aplicación de la madera laminada encolada o GLT (*Glued Laminated Timber*) es muy amplia e incluye prácticamente todos los tipos de construcción. A pesar de que se han mejorado las propiedades de los adhesivos que unen las láminas de madera, la esencia del sistema coincide con la propuesta planteada por Otto Hetzer a comienzos del siglo XX. Al igual que en sus primeras patentes, se compone de al menos tres capas de madera encoladas bajo presión en dirección de la veta para crear elementos constructivos estables.

La madera laminada encolada (Fig. 62) o *Glulam*, está fabricada a partir de madera maciza transformada en la que se ha eliminado en gran medida los defectos provocados por el crecimiento de los árboles. La mejora de sus prestaciones hace de la madera laminada encolada un material estructural perfecto tanto para pilares y vigas de dimensiones convencionales como para grandes longitudes. Si bien la dimensión del tronco del árbol fue durante siglos un limitante importante en su aplicación como elemento estructural, gracias a la incorporación de este producto de ingeniería, apenas se encuentran restricciones en su empleo para salvar grandes luces. Además, la madera laminada encolada permite una mayor variedad de formas, principalmente en lo que se refiere a la posibilidad de crear piezas curvas. En particular, “es especialmente adecuado para las estructuras de gran tamaño, formas curvilíneas personalizadas y combina bien con sistemas híbridos” (WoodWorks & Wood, 2021, p. 19). Más allá de su competitivo uso en cubrición de grandes luces, el *Glulam* se presenta como el primer producto de madera estructural utilizado para las construcciones en altura. El edificio Tamedia Office Building, construido en el corazón de Zúrich en 2013, aplica el GLT para levantar una estructura de 7 plantas y ofrecer una propuesta innovadora en el diseño de sus secciones y uniones (Fig. 63).



Fig. 62. Viga de madera laminada encolada de abeto. Fuente: <https://maderaestructural.wordpress.com/2019/06/29/madera-laminada-encolada-las-frondosas-como-novedad/>



Fig. 63. Tamedia Office Building, Zurich. Fuente: <https://www.plataformaarquitectura.cl/cl/02-337383/edificio-de-oficinas-tamedia-shigeru-ban-architects>

## 5.2 Madera Laminada Cruzada (CLT)

La madera laminada cruzada o CLT (*Cross Laminated Timber*) es un producto relativamente reciente que ha revolucionado el mundo de la construcción con madera. Los orígenes de este producto se atribuyen a las actividades de investigación asociadas a una tesis doctoral realizada en la Universidad de Graz (Austria) en torno a 1990. Sin embargo, existen referencias respecto al uso de la madera de chopo en la fabricación de este tipo de productos en España hacia los años 60 del siglo pasado (Galván, 2017, p. 95). Concretamente en 1959, el Ingeniero de Montes Don Fernando Nájera y Ángulo, cita en una conferencia la madera contralaminada de chopo. Ya incluso unos años antes, alrededor de 1947, el ingeniero francés Pierre Gauthier lanza su propia propuesta sobre el sistema; propuesta que cayó en el olvido hasta su recuperación en la década de los 90.

El CLT constituye un elemento estructural en forma de placa que se compone de un número desigual de capas de madera (generalmente tres, cinco o siete) dispuestas transversalmente entre sí (Fig. 64), en ángulos de 90 grados, adquiriendo una excelente rigidez estructural en ambas direcciones. “Las dimensiones habituales de los elementos CLT son una longitud de hasta 18 o incluso 30 m, una anchura de hasta 3 o incluso 4,8 m y un espesor rara vez superior a 300 a 400 mm” (Falk, et al., 2016, p. 9). Las grandes dimensiones y versátil aplicabilidad abren nuevos mercados para la ingeniería de la madera que hoy se presentan como una alternativa de alto valor frente a otros materiales de construcción como son el acero y el hormigón armado. Es frecuente encontrar edificios con una estructura mixta configurada por elementos de madera, acero y hormigón armado. Por lo general, en sistemas mixtos de madera y hormigón, este último aparece en planta baja y en los núcleos de comunicación verticales. A pesar de no ser lo habitual en este tipo de sistemas, también es posible encontrar el núcleo de



Fig. 64. Imagen de CLT. Fuente: (Van de Kulien, et al., 2011, p. 1623)



Fig. 65. Montaje del núcleo de escaleras del edificio La Borda, en 2018 en Barcelona, España. Fotografía cedida por el equipo de arquitectos Lacol.

comunicación de CLT, mostrado en la imagen (Fig. 65) del edificio de la Borda, España.

Como material estructural, destaca por su capacidad de carga en dos direcciones, mayor capacidad de corte en el plano de los elementos y la eliminación de contracción e hinchazón en el plano como resultado de variaciones de humedad. El *X-lam* puede distinguirse también por su “alto nivel de prefabricación donde las aberturas para puertas y ventanas ya se pueden incluir en la fábrica, la fácil fijación de los elementos en el sitio y un bajo peso en comparación con el hormigón de uso tradicional” (WoodWorks & Wood, 2021, p. 16). Además, dada su naturaleza prefabricada, se permite una alta precisión, una terminación más rápida, una mayor seguridad y menos generación de residuos en obra.

En la última década, su empleo en construcción, y más concretamente en las edificaciones en altura, el CLT ha alcanzado una aceptación cada vez mayor. Se asocia a este material el cambio en la mayor parte del uso de la madera estructural en la Europa del último siglo, en el cual se produce el salto de su empleo en la construcción de una y dos plantas a las edificaciones en altura.

Uno de los primeros edificios en emplear este sistema es el Carbon 12 (Estados Unidos), una construcción de 29 m de altura levantado (Fig. 66) en 2018. Actualmente son ya muchos los edificios que escogen este material estructural para las construcciones en altura, cuyo sistema aparece con frecuencia combinado con otros productos (generalmente madera laminada encolada). Un ejemplo se encuentra en la estructura del edificio de 53 m de altura de *Brock Commons Student Hall*, en Vancouver. El sistema estructural empleado combina paneles de CLT con pilares de madera laminada encolada, observados en la imagen (Fig. 67) durante la fase de construcción de la estructura.



Fig. 66. Fotografía de la estructura de edificio Carbon 12, Portland. Fuente: <https://n9.cl/8p1nr>



Fig. 67. Fase de estructura del edificio *Brock Commons Student Hall*, Vancouver. (53 m). Fuente: <https://www.naturallywood.com/project/brock-commons-tallwood-house/>



### 5.3 Madera Microlaminada (LVL)

La madera microlaminada o LVL (*Laminated Veneer Lumber*), según la publicación de AITIM de 1999 se define como “un producto de madera en panel, obtenido laminando gruesas chapas de madera en dirección paralela a la veta” (Anon., 1999, p. 15). Este material tiene su origen en el siglo XX y responde a la tendencia de la madera laminada encolada por homogeneizar las propiedades y conseguir mayores dimensiones en los productos de madera.

Su aplicación es muy variada, desde mobiliarios y puentes hasta su empleo en construcción en sistemas de refuerzo, cerramiento, tableros o vigas, entre otros. Es un producto sofisticado con unas características técnicas superiores a las de la madera común, en calidad, estabilidad, precisión de dimensiones y rectitud. Gracias a estas características, “ofrece una alternativa inmejorable comparada con otros materiales para estructuras, basados en madera aserrada convencional” (Anon., 1999, p. 15). Actualmente la mayoría de la producción se destina a vigas de celosía o vigas formando parte de forjados. Un ejemplo con su aplicación en forjados se encuentra en el edificio Mjøstårnet (Fig. 69), actualmente la construcción de madera más alta del mundo (85,4 m). La estructura de la torre combina CLT, madera laminada, madera microlaminada y madera aserrada, concretamente estas tres últimas para la configuración de los forjados que llegan a la obra en tramos prefabricados en taller (Fig. 70). Como particularidad a incluir en este apartado, frecuentemente se emplean varias capas de “chapas de laminaciones LVL pegadas entre sí para configurar la madera de revestimiento estructural (SVL), utilizada en elementos lineales” (Herzog, et al., 2004, p. 42).



Fig. 68. Madera microlaminada (LVL).  
Fuente: <https://cutt.ly/7muxSY2>



Fig. 69. Fotografía del forjado durante la construcción de la Torre Mjøstårnet, Noruega. Fuente: <https://cutt.ly/fmyKyuc>



Fig. 70. Fotografía del forjado en taller de la Torre Mjøstårnet, Noruega. Fuente: <https://cutt.ly/fmyKyuc>

## 5.4 Madera Laminada de Virutas (LSL)

La denominación madera laminada reconstruida a base de virutas de madera (Fig. 71) o LSL (*Laminated Strand Lumber*) engloba los productos que se fabrican a partir de astillas que se secan y encolan, dispuestas de forma ordenada y paralelas al eje longitudinal de la pieza. El origen del LSL se atribuye a su incorporación en la década de los 90 en Canadá, siendo empleado actualmente también en Europa. Al igual que la madera microlaminada (LVL) o de fibras paralelas (PSL), la madera de virutas (LSL) forma parte de la familia de productos de madera de ingeniería llamada “Madera compuesta estructural” o SCL (*Structural Composite Lumber*) y es uno de los más recientes productos derivados de la madera cuyo uso se ha generalizado, pudiendo emplearse allí donde admita la madera laminada encolada, de acuerdo con la norma DIN 1052-1.

LSL aporta una densidad homogénea que proporciona ventajas como alta resistencia, rigidez y en estabilidad. Estéticamente es un material muy atractivo, por lo que su empleo parece adecuado cuando se requiere una buena apariencia. Se emplea principalmente como alternativa a la madera maciza o a la madera contrachapada, para reforzar las construcciones de madera. Además de su posible empleo en carpintería y marcos de ventana, se utiliza como armazón estructural, generalmente como vigas de luces medias, en armaduras de cubierta, como columnas, como montantes (Fig. 72) o como elementos estructurales de dimensiones intermedias y grandes, tanto en edificaciones de uso comercial como en viviendas (Fig. 73). No obstante, su uso no se limita a solo estas aplicaciones, ya que puede formar parte como componente de cerchas, sustituir puntuales capas de madera en la construcción de CLT, utilizarse como alas en las viguetas doble T o también incluso de alma en aquellas atribuidas a encofrados y andamios, o como barras en estructuras espaciales.



Fig. 71. Madera de virutas (LSL) Fuente: <https://cutt.ly/7muxSY2>



Fig. 72. Montantes LSL como estructura de un sistema de entramado ligero. Fuente: <https://cutt.ly/wmug3z5>



Fig. 73. Fotografía de una obra durante la fase de estructura, empleando montantes del producto estructural LSL. Fuente: <https://woodify.es/producto/lignumstrand-lsl/>

## 5.5 Madera de Chapas Paralelas (PSL)

La madera de fibras paralelas (Fig. 74) o PSL (*Parallel Strand Lumber*) es muy similar al LSL, pero se diferencia de este en que las chapas utilizadas son más finas y estrechas, además de largas. Generalmente, el PSL se compone de fibras de unos 16 mm de anchura y 3,2 mm de espesor. Los filamentos largos de madera se alinean en paralelo al eje longitudinal de la pieza y posteriormente se encolan con resina de fenol-formaldehído impermeable. Después, se encolan entre ellas para formar tableros que se cortan en forma de vigas.

Las propiedades de la madera de chapas paralelas son muy similares a las de la madera laminada encolada, y es por ello que se puede emplear allí donde se permita el uso del GLT, con la excepción de que se especifique lo contrario en la certificación. Presenta unas ventajas respecto a ella: su gran resistencia a flexión, a compresión y a los esfuerzos cortantes. Al igual que la mayoría de los productos de madera estructural, se presta a la prefabricación. Además, los beneficios ecológicos del uso eficiente de las fibras de madera para su fabricación lo convierten en una alternativa atractiva como material estructural.

El PSL se aplica como armazón estructural para construcciones comerciales, residenciales e industriales. Especialmente se aplica en vigas (Fig. 75) y soportes (Fig. 76) que requieren una elevada resistencia a flexión, dado su buen comportamiento para resistir este esfuerzo. Es un producto de reciente incorporación, motivo por el cual no aparece con frecuencia en las construcciones en altura. No obstante, es perfectamente adecuado para su empleo estructural, además de que tiene un comportamiento al fuego similar al de una madera aserrada sólida o una viga laminada encolada de tamaño comparable.



Fig. 74. Madera de chapas paralelas PSL de abeto fabricada en Canadá. Fuente: <https://cutt.ly/ymuxCOT>

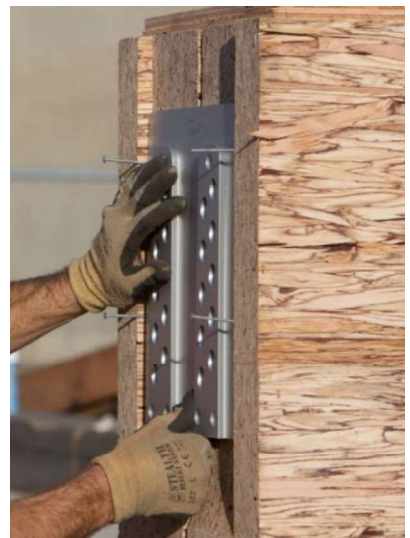


Fig. 75. Fotografía de PSL. Fuente: <https://www.naturallywood.com/products/parallel-strand-lumber/>

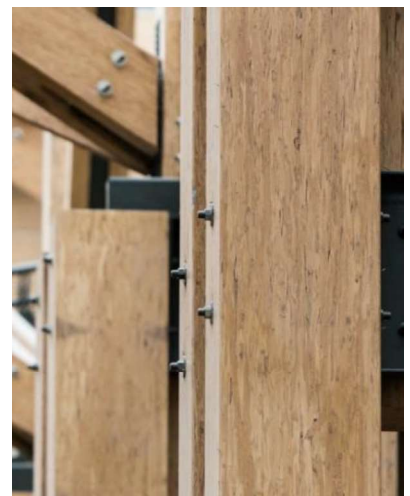


Fig. 76. Pilares PSL. Fuente: <https://www.naturallywood.com/products/parallel-strand-lumber/>



## 5.6 Paneles Celulares Ecológicos (ETC)

El proyecto europeo LIFE EcoTimberCell (ETC) estudia sistemas estructurales celulares ecológicos con el objetivo principal de “reducir el consumo energético en la construcción a través del desarrollo de productos constructivos de madera local procedente de gestión forestal sostenible”. Para cumplir con su objetivo, procede al diseño e incorporación de sistemas innovadores basados en el empleo de tableros Tablex de Betanzos HB (*Hard Board*).

Las células EcoTimberCell (Fig. 77) se configuran a través de tableros Tablex con 6,4mm de espesor, separados por listones de madera aserrada local. El proceso de fabricación de los paneles se caracteriza por no utilizar adhesivos artificiales para enlazar las fibras de la madera; se fabrican a partir de madera y agua, aprovechando las propiedades termoplásticas de la lignina como adhesivo natural. Además de las ventajas ecológicas en su proceso de fabricación, es considerado un material de altas prestaciones debido a su resistencia mecánica, su estanquidad al aire, su alta resistencia a la difusión del vapor y su huella de carbono negativa.

Según las pruebas y los ensayos desarrollados como parte del proyecto LIFE, se ha comprobado que el tablero Tablex de Betanzos HB tiene potencial para su aplicación en el uso estructural (Fig. 78). Además, se pueden obtener mejoras con la selección de los tableros mediante métodos no destructivos, y con el aumento del espesor de los mismos, ya que al aumentar la sección éste transmite mayores esfuerzos y con la consecuente disminución de la deformación. Tal y como se muestra en la imagen (Fig. 79), el desarrollo de los sistemas ETC tendrá en sus cometidos su aplicación en viviendas unifamiliares pasivas, no obstante, a pesar de que aún no se ha proyectado, quizá en un futuro no muy lejano se introduzca también en las construcciones en altura.



Fig. 77. Infografía de la célula individual EcoTimberCell de madera aserrada local y tableros Tablex de Betanzos HB. Fuente: <https://www.3edata.es/portfolio/socio-life-ecotimbercell/>



Fig. 78. Infografía de la aplicación del sistema completo ETC en forjado. Fuente: <https://www.3edata.es/portfolio/socio-life-ecotimbercell/>



Fig. 79. Infografía del modelo completo en 3D con aplicación de los paneles ETC en estructura horizontal, vertical y cubierta. Fuente: <https://www.3edata.es/portfolio/socio-life-ecotimbercell/>

## 5.7 Paneles de madera-madera (TTP)

Los paneles TTP (*Timber-to-Timber Panels*) aparecen por primera vez en 2021 en el diseño y estudio realizado por Baño y Molti, publicado bajo el título “Análisis experimental y numérico de nuevos paneles de suelo estructural sin adhesivo (TTP) fabricados a partir de juntas de madera con madera”. La propuesta (Fig. 80) en él desarrollada tiene como finalidad evaluar el comportamiento estructural de los nuevos paneles madera-madera libres de adhesivos o conectores de acero, para su uso en forjados. Según especifican, se realizaron pruebas experimentales de flexión (Fig. 81) y “se obtuvieron deflexiones y cargas de falla, mostrando una dependencia de la separación y altura de los conectores” (Baño & Moltini, 2021, p. 1).

La configuración del panel estructural se lleva a cabo mediante la unión de dos capas de tableros de madera aserrada orientadas en sentido longitudinal a través de listones en cola de milano orientados en sentido perpendicular (Fig. 82). Cabe destacar que la sección transversal de las capas y conectores se seleccionó en función de las dimensiones comerciales de madera disponibles en el aserradero de la localidad, Soria (España) en su caso. Dado que el espesor de las capas permanece constante, el grosor del panel varía en función de la altura de los conectores. A su vez, éstos últimos generan huecos entre la cara superior e inferior que facilitan el paso de conductos e instalaciones eléctricas; sin duda una ventaja frente al empleo de los paneles macizos de CLT en forjados.



Fig. 80. Modelo de paneles TTP. Fotografía cedida por el quipo CESEFOR.



Fig. 81. Prueba experimental del estudio de flexión de los paneles TTP. Fuente: (Baño & Moltini, 2021, p. 4).



Fig. 82. Fotografía del conector de cola de milano durante el proceso de fabricación del TTP. Fuente: (Baño & Moltini, 2021, p. 3).



## 6 Tipologías estructurales para edificios en altura

---

Los avances en el diseño y la fabricación de nuevos productos de madera sintética (EWP), han dado lugar a la evolución de los sistemas tradicionales de construcción de madera. Actualmente, los EWP se utilizan ampliamente en estructuras de madera modernas y permiten que la madera se utilice para construcciones de media y gran altura.

La madera, cuando se utiliza como material estructural en edificios de varias plantas, aparece con frecuencia en combinación con otros materiales, tales como acero u hormigón, “aunque es una alternativa viable y muy interesante, no es necesaria ya que hay diversos estudios que demuestran que, con materiales como el CLT, se pueden construir edificios utilizando únicamente la madera como material estructural de varios pisos” (Galván, 2017, p. 82). La tecnificación de los sistemas y productos de madera estructural ha crecido tanto que en la actualidad la madera es capaz de competir con cualquier otro material de construcción.

Las tipologías estructurales que se introducen a continuación han sido elaboradas atendiendo al estudio en profundidad de las construcciones o proyectos actuales de madera. En primer lugar, se presentan los sistemas de poste y viga (*post and beam*), el entramado ligero (*light frame*) y la madera maciza (CLT) y, por último, sistemas particulares híbridos: estructuras mixtas y estructuras combinadas.

## 6.1 Entramado pesado (poste y viga)

El sistema de entramado de postes y vigas (Fig. 83), en inglés *post and beam*, es una de las tipologías estructurales empleadas en la actualidad para las construcciones en altura. Se caracteriza por la unión de elementos lineales de madera de gran escuadría que configuran un conjunto indeformable. Los pies derechos o postes transmiten al terreno los esfuerzos que reciben de la estructura a través de las vigas, sobre las cuales descansan las viguetas que configuran el forjado. La estructura adquiere la estabilidad necesaria a través de los ensambles en las uniones y/o la triangulación para el arriostramiento del sistema. Frente a las estructuras de entramado ligero, el sistema de pórticos únicamente conforma la estructura.

La unión de los elementos lineales requiere ensambles que, por lo general, se resuelve mediante herrajes metálicos o conectores especiales, cuya adecuada utilización determinará, en buena medida, la calidad de la construcción. La elección del sistema de unión más adecuado a emplear debe prestar especial atención a la relación de esfuerzos existentes entre los elementos de madera. Por otro lado, es también importante “que las dimensiones de los elementos de transmisión estén en relación con la sección de los elementos de madera” (Arriaga, et al., 2010, p. 12).

Este sistema se utilizaba ya en la antigüedad, y es hoy cuando, gracias a los nuevos productos de madera estructural y a los avances en las uniones, se convierte en un modelo estructural capaz de dar respuesta a la demanda de materiales sostenibles y edificaciones de varias plantas que conforman nuestras ciudades. En la actualidad, entre las construcciones de más altura destacan el *Tamedia Building* (Fig. 84) con 7 plantas y el *Office Perspective* (Fig. 85) con un total de 10 en Burdeos.

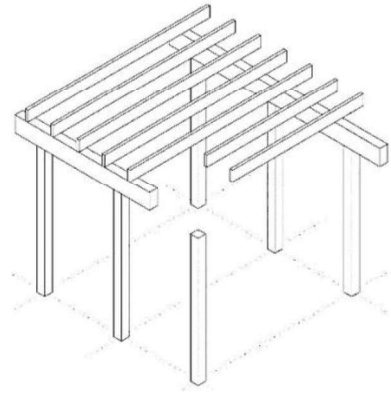


Fig. 83. Esquema del sistema de entramado pesado. Fuente: (Arriaga, et al., 2010, p. 12).



Fig. 84. Fase de estructura durante la construcción del edificio *Tamedia Building* en Zúrich. Fuente: <https://cutt.ly/QmuFfs5>



Fig. 85. Fase de estructura durante la construcción del edificio *Office Perspective* en Burdeos, Francia. Fuente: <https://cutt.ly/cmuGqBp>

## 6.2 Entramado ligero

Se denomina estructura ligera (*light frame*) al conjunto de elementos lineales de madera de pequeña escuadría (muy esbeltas y delgadas) separados a una escasa distancia (generalmente entre 40 y 60 mm) y, por lo general, arriostrados mediante plataformas. El sistema funciona como una estructura espacial formada por la unión de las estructuras de muro, forjado y cubierta. Por lo general, las uniones suelen ser sencillas, empleando, principalmente elementos de tipo clavija metálica.

El modelo es típico en Norteamérica, también abunda en Centroeuropa y los países nórdicos y desde la antigüedad, sus principales usos, primero del sistema de globo y posteriormente del de plataformas, han sido las viviendas unifamiliares de una o dos plantas. Sin embargo, hoy encontramos su aplicación en construcciones de varias plantas, como es el caso del campamento minero Pérez Caldera – Los Bronces (Fig. 87); un complejo de más de 40.000 m<sup>2</sup> construidos, formado por ocho edificios de seis alturas y emplazado en una zona sísmica, en Chile. A pesar de la ligereza y sencillez de construcción, que hace desconfiar de la estabilidad y confortabilidad aportada por el sistema, el entramado ligero ha demostrado su capacidad y aptitud para las estructuras en altura. Esto se explica por el funcionamiento tridimensional del entramado, donde elementos muy livianos soportan cargas elevadas a base de repartirlas y arriostrar adecuadamente los elementos. El funcionamiento de estas estructuras como bloque, pero con cierta flexibilidad a las deformaciones, la hace ser una estructura adecuada frente al sismo siempre que la cimentación (Fig. 88) permita una cierta independencia de la estructura.

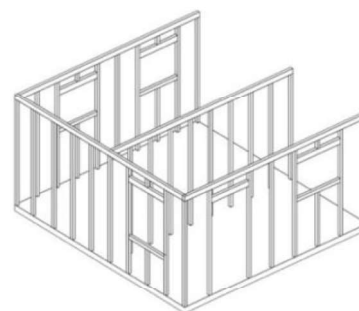


Fig. 86. Esquema del sistema de estructura ligera. Fuente: Elaboración propia.



Fig. 87. Construcción del Campamento minero Pérez Caldera – Los Bronces, en Chile (2018). Fuente: <https://asap.cl/soluciones/nuevo-campamenot-los-bronces/>

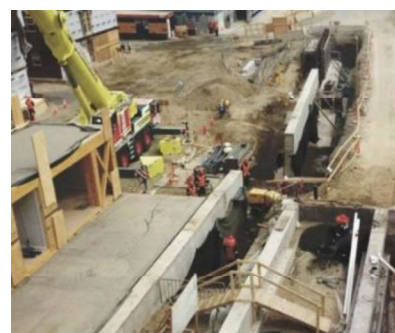


Fig. 88. Cimentación del Campamento minero Pérez Caldera, en Chile. Fuente: <https://asap.cl/soluciones/nuevo-campamenot-los-bronces/>

### 6.3 Madera en masa (CLT)

La construcción en masa de madera, *massive timber* en inglés, es uno de los sistemas constructivos de más reciente desarrollo. Frente a los sistemas de entramados o estructuras lineales tradicionales, el sistema sólido o en masa configura modelos estructurales de tipo superficial. Perteneciente a este grupo, la madera laminada cruzada (CLT) es probablemente el material de referencia para las construcciones de la actualidad. Esto se debe a que aporta una resistencia equiparable a aquella de las estructuras de hormigón armado o de acero y permite la construcción de edificios de gran altura. Además, si este sistema está en auge en la actualidad, se debe en gran parte en las ventajas asociadas a su construcción en comparación con el resto de los materiales. Entre ellas, para las construcciones de más de cuatro plantas destaca su alto nivel de prefabricación, el menor tiempo de montaje, sus propiedades como aislante térmico y acústico, su excelente comportamiento al fuego y los beneficios asociados a una obra en seco además de evitar las molestias asociadas al ruido y polvo.

El panel macizo de CLT actúa como elemento estructural que configura la fachada, particiones interiores, forjados y cubiertas, haciendo del edificio una verdadera estructura de traba. El trabajo conjunto de todos los paneles o elementos que configuran el sistema ofrece el arriostamiento necesario para garantizar la estabilidad de la construcción, obteniendo como resultado una construcción monolítica (Fig. 89). De esta forma, hoy se encuentran múltiples construcciones con este sistema, como el icónico Stadhaus (Fig. 90), en Londres. En España y sus países vecinos, ya se localizan diversas construcciones de madera que optan por este sistema en masa, algunas de las cuales se explican con más detalle en el estudio de casos del capítulo que precede.

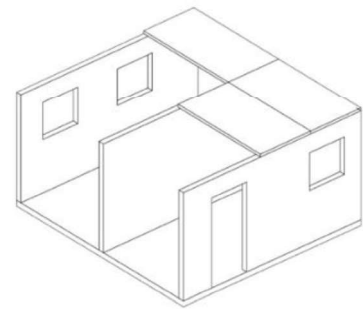


Fig. 89. Esquema del sistema estructural de paneles CLT. Fuente: elaboración propia.



Fig. 90. Fotomontaje en 3D de la estructura del edificio *The Stadhaus* construido en Londres. Fuente: <https://cutt.ly/Hmu9Gf1>



## 6.4 Sistemas combinados

El sistema combinado, como su propio nombre indica, engloba aquellos edificios en los que se combinan diferentes sistemas estructurales. Esto es, se puede encontrar en una misma construcción sistemas de poste y viga, paneles de madera maciza o incluso, aunque no se pueda aportar ningún ejemplo, es posible que se incluya en esta categoría también el entramado ligero. En los edificios analizados para este documento y clasificados como sistema combinado se localizan pilares, vigas y paneles de madera en masa que trabajan de forma solidaria. Dentro de esta clasificación se podría incorporar aquellos edificios no convencionales que no responden necesariamente a un modelo ya establecido, sino que tratan de aportar formas y composiciones novedosas, como por ejemplo el edificio OSH (*Our Shelves House*) que se muestra en la imagen (Fig. 91).



Fig. 91. Estructura del edificio OSH (*Our Shelves House*), Madrid. Fuente: Jesús Granada en <https://n9.cl/getox>

## 6.5 Sistemas mixtos

Por último, las estructuras mixtas se refieren a los sistemas híbridos de madera en combinación con otros materiales estructurales, como son el acero o el hormigón armado. Dadas las necesidades propias de cada proyecto y, para un mejor funcionamiento de la estructura, se aprovechan las propiedades intrínsecas de cada material. Con frecuencia, el empleo del acero y del hormigón armado se suele aplicar en la estructura general, como pilares, vigas (Fig. 92) o forjados, siendo los encargados de resistir esfuerzos tanto verticales como horizontales. De otro modo, estos elementos pueden ser a su vez combinaciones mixtas, como por ejemplo los forjados mixtos de madera y acero u hormigón armado. Como dato a resaltar, con frecuencia se presentan edificios con la planta baja y/o el núcleo de comunicación vertical de hormigón armado, como se aprecia en la fotografía de la estructura del edificio de 85 viviendas (Fig. 93) construido en 2020 en Cornellá, Barcelona.



Fig. 92. Interior de la torre Hoho en Viena. Fuente: <https://cutt.ly/JmzMLai>



Fig. 93. Fase de construcción del edificio de 85 viviendas en Cornellá, Barcelona. Fuente: <https://cutt.ly/gmoYcmU>







Capítulo 3

**Casos de estudio**

---

## 7 Edificios de media y gran altura

La construcción con madera está aumentando en todo el mundo y, con la finalidad de conocer este “modo de hacer”, en este capítulo se realiza un estudio de 33 edificios de mediana y gran altura con estructura de madera. La selección de los proyectos se ha realizado en base a los siguientes criterios: por un lado, su localización geográfica, mostrando especial interés en las construcciones de España y sus países vecinos y, por otro, la altura total alcanzada y otras particularidades de interés propias de cada sistema estructural. Desde esta posición, se elabora una gráfica a modo de lista (Fig. 94) en la que se aprecia la posición del suroeste europeo frente a las construcciones más altas del panorama internacional.

Los edificios altos seleccionados demuestran que las estructuras de madera son perfectamente válidas para las construcciones en altura y que, a pesar de no haber alcanzado a los rascacielos de acero y de hormigón armado, se están convirtiendo en un competidor digno. No obstante, no se debe perder de vista que este capítulo incluye también los proyectos de mediana altura (a partir de cuatro plantas) ya que, desde el comienzo de este trabajo, se han considerado objeto de estudio.

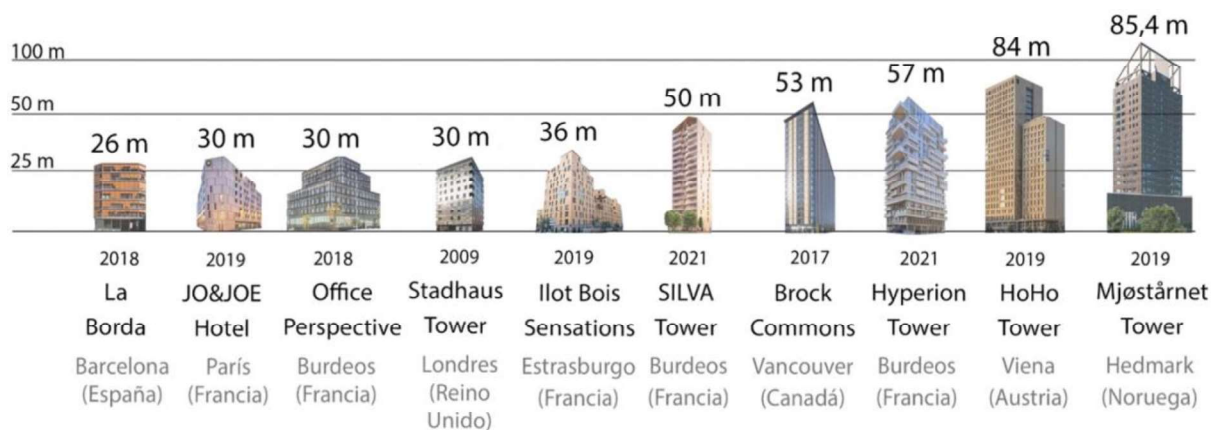


Fig. 94. Lista de los edificios más altos dentro y fuera del suroeste europeo construidos en madera. Fuente: elaboración propia.

El modelo de ficha para este estudio de casos se organiza en los siguientes apartados:

## References

Paso a primera persona para destacar que, como miembro del equipo Cesefor-UVa y participante en el proyecto en curso “EGURALT: Aplicación y difusión de la innovación para la promoción de la construcción en altura con madera en el espacio SUDOE (suroeste europeo)”, parte de la información que aparece en las fichas se ha incluido a partir de entrevistas y artículos contrastados, además de la colaboración de los contactos y socios del proyecto, referenciados en el margen inferior derecho de cada hoja (Fig. 95). Es por ello que, cada ficha aparece con una numeración que forma parte del sistema de asignación dado a cada edificio como parte del proyecto EGURALT.

## Description

El primer bloque de la ficha técnica (Fig. 96) introduce, además del sistema de numeración citado, el título o nombre por el que se conoce a cada edificio seguido por su ubicación, año de construcción y el arquitecto o estudio de arquitectura del proyecto. En este mismo apartado, se realiza una breve descripción de cada caso estudiado que incluye los datos más significativos y de interés de su diseño, construcción y aspecto final.

## Imagen

El espacio reservado para las imágenes (Fig. 97) incluye hasta tres fotografías, todas ellas con su pie de página y fuente correspondiente. El objetivo de esta sección es dar a conocer el edificio y su estructura mediante una vista exterior del proyecto, así como imágenes del interior y exterior tomadas durante su construcción. No obstante, en algunos edificios no se ha podido obtener toda la documentación gráfica requerida y es por ello por lo que algunas fichas incluyen, tan solo, una fotografía del exterior.



Fig. 95. Sección de referencias en el modelo de ficha técnica. Fuente: elaboración propia.

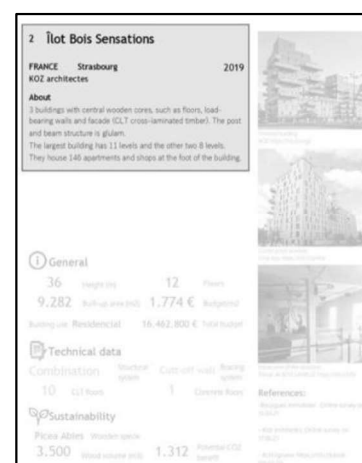


Fig. 96. Modelo de ficha. Apartado de: título, ubicación, fecha y descripción. Fuente: elaboración propia.

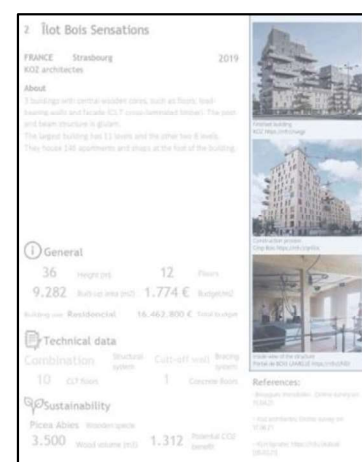


Fig. 97. Zona de imágenes de la ficha para el estudio de casos. Fuente: elaboración propia.



## General

El apartado denominado general (Fig. 98), como su propio nombre indica, aborda aquellos datos generales de la construcción. Por un lado, incluye la altura total y el número de plantas, dos datos que han sido fundamentales desde el principio a la hora de incluirlos en el estudio. Por otro lado, en el subapartado de superficies, se estudia el área construida en m<sup>2</sup> y el precio total de la construcción en €/m<sup>2</sup>. Finalmente, se cita el uso de la construcción, generalmente residencial (salvo excepciones), y el precio total aproximado de la construcción.

## Technical data

Los datos técnicos (Fig. 99) comienzan por clasificar cada edificio según su sistema estructural, agrupándolos según los cinco modelos descritos en este trabajo: sistema de poste y viga, entramado ligero, madera en masa (CLT), combinado y mixto. Al igual que se ha tenido presente el sistema de arriostramiento en el recorrido por la historia de las construcciones en madera realizado, se incluye también en estas fichas. Por último, conocido el auge del CLT en las construcciones actuales en altura se indica en cada caso el número de plantas, existentes o no, de este material, además de incluir la posibilidad de que alguna de estas, sea en cambio de hormigón armado.

## Sustainability

El último bloque analizado, referente a los aspectos de sostenibilidad (Fig. 100) tiene como finalidad obtener el valor del CO<sub>2</sub> acumulado. Para lograrlo, se pide completar las casillas de la especie de madera y del volumen total empleados, en m<sup>3</sup>. A partir de estos datos y de acuerdo con la fórmula de “cálculo del dióxido de carbono partiendo del contenido de carbono biogénico”, introducida por la norma UNE-EN 16449, “Cálculo del contenido en carbono biogénico de la madera”, se obtiene el dato requerido.

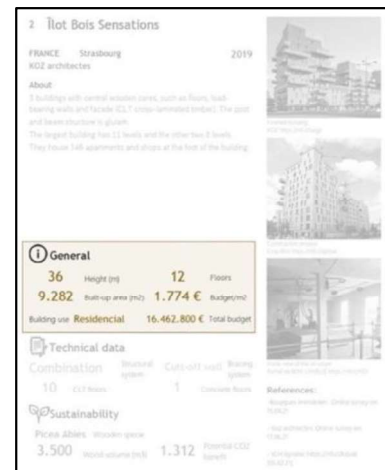


Fig. 98. Apartado “General” de la ficha para el estudio de casos. Fuente: elaboración propia.

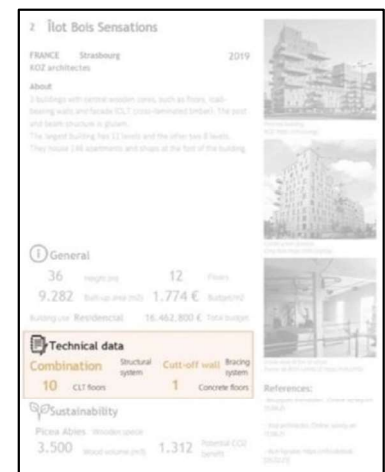


Fig. 99. Apartado de datos técnicos de la ficha para el estudio de casos. Fuente: elaboración propia.



Fig. 100. Apartado dedicado a aspectos de sostenibilidad de la ficha para el estudio de casos. Fuente: elaboración propia.

## 36 The Stadthaus apartment building

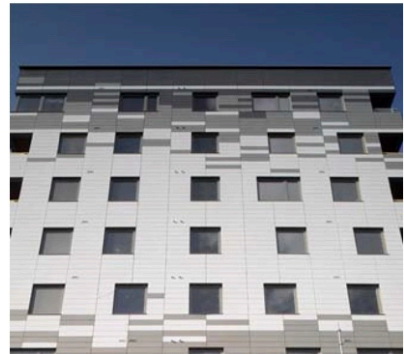
**UK**                      **London**    **2009**  
**Waugh Thistleton Architects**

### About

The tower is a cellular structure with apartments in a honeycomb pattern around a central core. At the time of its construction, it was the tallest residential building built with CLT panels. The panels are used as walls, floor slabs as well as for stair and elevator cores. The building was completed in 49 weeks, saving an estimated five months compared to concrete construction. Only eight weeks were required to assemble the structure.



Aerial view of the finished building  
 Will Pryce <https://n9.cl/cqgey>



Construction process. Aerial view.  
 Will Pryce <https://n9.cl/cqgey>



Construction process from the inside of the building  
 Will Pryce <https://n9.cl/caaev>

### **i** General

**30**                      Height (m)  
                                  Built-up area (m<sup>2</sup>)

**9**                      Floors  
                                  Budget/m<sup>2</sup>  
                                  Total budget

Building use **Residencial**

### **📄** Technical data

**Massive Timber**                      Structural system  
**8**                      CLT floors

**Unknown**                      Bracing system  
**1**                      Concrete floors

### **🌿** Sustainability

**Abies Alba**                      Wooden specie  
**926**                      Wood volume (m<sup>3</sup>)

**740**                      Potential CO<sub>2</sub> benefit

### References:

- Plataforma Arquitectura <https://n9.cl/cqgey> [30.03.21]
- TRADA Technology <https://n9.cl/zyou> [30.03.21]

This technical datasheets have been developed by Cesefor-Uva.  
 The EGURALT project is co-financed by the Interreg Sudoe Programme through the European Regional Development Fund (ERDF).

## 5 26 apartments in Ferry Jules

FRANCE Saint-Dié-des-Vosges

2013

ASP architecture

### About

The construction principle is based on spruce cross-laminated timber panels. They form the building envelope and floor slabs and remain largely visible inside the apartments. The exterior insulation consists of prefabricated boxes filled with straw.



Finished building  
ASP architecture



Assembly of the second floor  
ASP architecture



Assembly of the rest of the structure  
ASP architecture

### General

|              |                                 |                    |                       |
|--------------|---------------------------------|--------------------|-----------------------|
| <b>24</b>    | Height (m)                      | <b>7</b>           | Floors                |
| <b>2.707</b> | Built-up area (m <sup>2</sup> ) | <b>1.587 €</b>     | Budget/m <sup>2</sup> |
| Building use | <b>Residencial</b>              | <b>4.295.000 €</b> | Total budget          |

### Technical data

|                       |                   |                      |                 |
|-----------------------|-------------------|----------------------|-----------------|
| <b>Massive Timber</b> | Structural system | <b>Cutt-off wall</b> | Bracing system  |
| <b>8</b>              | CLT floors        |                      | Concrete floors |

### Sustainability

|                    |                               |              |                                   |
|--------------------|-------------------------------|--------------|-----------------------------------|
| <b>Picea Abies</b> | Wooden specie                 |              |                                   |
| <b>1.000</b>       | Wood volume (m <sup>3</sup> ) | <b>1.200</b> | Potential CO <sub>2</sub> benefit |

### References:

- ASP Architecture. Online survey on 17.04.21

- Construction21 international  
<https://n9.cl/wsxd6> [08.02.21]

- KLH Lignatec <https://n9.cl/b7gj>  
[08.02.21]

This technical datasheets have been developed by Cesefor-Uva. The EGURALT project is co-financed by the Interreg Sudoe Programme through the European Regional Development Fund (ERDF).



## 32 The New Tamedia building

**SWISS**      **Zürich**  
**Shigeru Ban Architects**

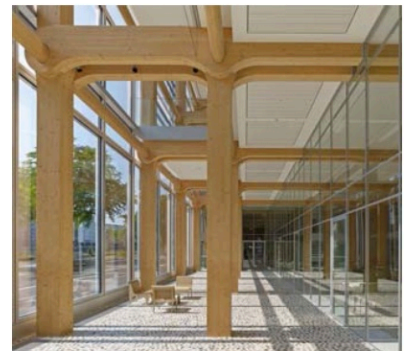
**2013**

### About

The wooden structural system is the most significant innovation of the project as it has a design completely made of wood, including the joints. The structure, composed of large posts and beams, is entirely exposed, in fact, the skin of the building is entirely glazed in order to reinforce and express this idea. The building is developed on 7 floors plus two floors for parking.



Glass façade  
 Robert Mehl <https://n9.cl/1r9bn>



Detail of the wood structure and its joints  
 Didier Boy de la Tour <https://n9.cl/buizf>



Construction process. Post and beam structure  
 Shigeru Ban Architects <https://n9.cl/buizf>

### **i** General

Height (m)

**9**

Floors

Built-up area (m2)

Budget/m2

Building use **Offices**

Total budget

### **📄** Technical data

**Post and Beam** Structural system

**Unknown** Bracing system

CLT floors

Concrete floors

### **🌿** Sustainability

**Unknown** Wooden specie

**2.000** Wood volume (m3)

Potential CO2 benefit

### References:

- Danish Architecture Center  
<https://n9.cl/tq4bc> [24.03.21]

- AV <https://n9.cl/j4w7e> [24.03.21]

- Plataforma arquitectura  
<https://n9.cl/buizf> [25.03.21]

This technical datasheets have been developed by Cesefor-Uva. The EGURALT project is co-financed by the Interreg Sudoe Programme through the European Regional Development Fund (ERDF).

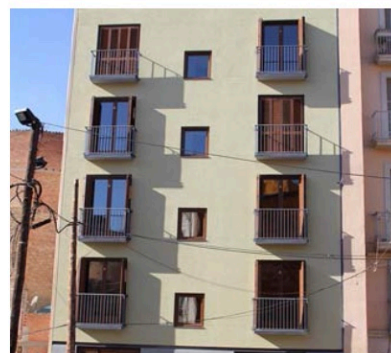
## 29 9 apartments in Cavallers

SPAIN Lérida  
Trass Arquitectura

2013

### About

It is a multi-family building located in the historic center of Lérida, consisting of a ground floor and four floors plus a semi-basement and an attic. The building houses 9 social flats promoted by the private sector. The structure of the semi-basement is made of reinforced concrete walls and the ground floor is supported by in-situ concrete blocks. From the ground floor up to the top floor, the entire vertical and horizontal structure, including the communication core, is made of cross-laminated timber panels. It was the first five-story building in Spain to use this structural system.



Main façade from Cavallers street.  
Trass Arquitectura



Construction process and environment.  
Trass Arquitectura



Construction process. CLT panels.  
Trass Arquitectura

### **i** General

|              |                    |                  |              |
|--------------|--------------------|------------------|--------------|
| <b>16</b>    | Height (m)         | <b>6</b>         | Floors       |
| <b>941</b>   | Built-up area (m2) | <b>871 €</b>     | Budget/m2    |
| Building use | <b>Residencial</b> | <b>820.000 €</b> | Total budget |

### **📄** Technical data

|                       |                   |                      |                 |
|-----------------------|-------------------|----------------------|-----------------|
| <b>Massive Timber</b> | Structural system | <b>Cutt-off wall</b> | Bracing system  |
| <b>6</b>              | CLT floors        | <b>1</b>             | Concrete floors |

### **🌿** Sustainability

|                    |                  |            |                       |
|--------------------|------------------|------------|-----------------------|
| <b>Picea Abies</b> | Wooden specie    | <b>100</b> | Potential CO2 benefit |
| <b>236</b>         | Wood volume (m3) |            |                       |

### References:

- Arquitectura Trass- Ramon Llobera. Online survey on 15.04.21. <https://n9.cl/8t50o> [20.03.21]
- EcoHabitat <https://n9.cl/5q5ie> [20.03.21]
- alterMATERIA <https://n9.cl/lt7ln> [20.03.21]

This technical datasheets have been developed by Cesefor-Uva. The EGURALT project is co-financed by the Interreg Sudoe Programme through the European Regional Development Fund (ERDF).



## 54 Residential building in Gracia

**SPAIN**      **Barcelona**  
**García & Sala arquitectes**

**2015**

### About

The five-story timber-framed building in the Gracia district houses a 346 square meter detached house. The timber structure of beams and pillars stands on a concrete slab on the ground floor. There is also a lift core made of brickwork. The external enclosures are made of a light timber frame that gives rigidity to the whole.



Main façade.  
 House Habitat <https://n9.cl/l673i>

### **i** General

|              |                                 |                  |                       |
|--------------|---------------------------------|------------------|-----------------------|
|              | Height (m)                      | <b>5</b>         | Floors                |
| <b>346</b>   | Built-up area (m <sup>2</sup> ) | <b>1.168 €</b>   | Budget/m <sup>2</sup> |
| Building use | <b>Residencial</b>              | <b>404.000 €</b> | Total budget          |

### **📄** Technical data

|                    |                   |                |                 |
|--------------------|-------------------|----------------|-----------------|
| <b>Combination</b> | Structural system | <b>Unknown</b> | Bracing system  |
| <b>5</b>           | CLT floors        | <b>0</b>       | Concrete floors |

### **🌿** Sustainability

|                |                               |
|----------------|-------------------------------|
| <b>Unknown</b> | Wooden specie                 |
|                | Wood volume (m <sup>3</sup> ) |

### References:

- House Habitat <https://n9.cl/l673i>  
 [08.04.21]

- Ecosectores <https://n9.cl/8qyvn>

Potential CO<sub>2</sub>  
 benefit

This technical datasheets have been developed by Cesefor-Uva.  
 The EGURALT project is co-financed by the Interreg Sudoe Programme through the European Regional Development Fund (ERDF).

## 78 Our-Shelves-Houses (OSH)

**SPAIN**      **Madrid**  
**Suma Arquitectura**

**2015**

### About

The structure of this five-story building consists of CLT panels and glulam elements. The CLT panels are arranged in a three-dimensional folded configuration. At the façade, glulam ribs in the façade deliver their loads to the concrete foundation walls.



Finished building infographics  
 Suma Arquitectura



Construction process from the exterior  
 Miguel Ángel Rodríguez Nevado



Glulam elements in the façade and CLT floors  
 Miguel Ángel Rodríguez Nevado

### **i** General

**14**      Height (m)  
             Built-up area (m2)

**5**      Floors  
             Budget/m2  
             Total budget

Building use **Residencial**

### **📄** Technical data

**Combination**      Structural system  
**5**      CLT floors

**Unknown**      Bracing system  
                     Concrete floors

### **🌿** Sustainability

**Unknown**      Wooden specie  
                     Wood volume (m3)

Potential CO2 benefit

### References:

- Miguel Ángel Fernández Nevado.  
 Online survey on 29.05.21

- sumaarquitectura <https://n9.cl/getox>

This technical datasheets have been developed by CeseFor-Uva.  
 The EGURALT project is co-financed by the Interreg Sudoe Programme through the European Regional Development Fund (ERDF).

## 44 Bègles apartments

FRANCE Bègles  
Patrick Arotcharen

2016

### About

This is a social housing complex near Bordeaux, distributed in 12 blocks of four and five stories. The construction of these buildings was carried out entirely in CLT panels.



Main façade  
<https://n9.cl/jehzo>

Egoïn



Back façade.  
<https://n9.cl/jehzo>

Egoïn



Buildings complex from green area.  
Egoïn <https://n9.cl/jehz>

### General

|                                 |                    |              |
|---------------------------------|--------------------|--------------|
| Height (m)                      | <b>5</b>           | Floors       |
| <b>2.276</b> Built-up area (m2) | <b>1.476 €</b>     | Budget/m2    |
| Building use <b>Residencial</b> | <b>3.360.000 €</b> | Total budget |

### Technical data

|   |                               |
|---|-------------------------------|
| <b>Massive Timber</b> Structural system | <b>Unknown</b> Bracing system |
| <b>5</b> CLT floors                     | Concrete floors               |

### Sustainability

|                              |                                  |
|------------------------------|----------------------------------|
| <b>Unknown</b> Wooden specie |                                  |
| <b>680</b> Wood volume (m3)  | <b>544</b> Potential CO2 benefit |

### References:

- Egoïn <https://n9.cl/jehzo> [23.03.21]

- Patrick Arotcharen <https://n9.cl/g702u> [23.03.21]

This technical datasheets have been developed by Cesefor-Uva. The EGURALT project is co-financed by the Interreg Sudoe Programme through the European Regional Development Fund (ERDF).



## 69 Campamento Pérez Caldera - los Bronces

CHILE Lo Barnechea 2016  
Unknown

### About

It is a mining camp built at more than 2,700 meters above sea level. It is composed of eight buildings identical in materiality, number of floors and color. It is the tallest building constructed almost entirely of timber in Chile at the present time. In addition, it is also the most extensive set of timber buildings, with a total of 40,000 square meters constructed, providing accommodation for around 2,000 miners.

The eight buildings are constructed from prefabricated modules using light timber framing. Each module houses a dormitory, and they are stacked to form the six-story buildings.



Set of eight buildings  
Mario Yáñez <https://n9.cl/apit4>



Construction process  
ASAP <https://n9.cl/bh75d>



Assembly of prefabricated timber modules  
ASAP <https://n9.cl/bh75d>

### General

Height (m)

6

Floors

**36.980** Built-up area (m2)

Budget/m2

Building use **Residencial**

Total budget

### Technical data

**Light Framing** Structural system

**Unknown** Bracing system

**0** CLT floors

Concrete floors

### Sustainability

**Pinus Radiata** Wooden specie

Wood volume (m3)

Potential CO2 benefit

### References:

- MADERA 21 <https://n9.cl/apit4> [30.03.21]

- ASAP <https://n9.cl/bh75d> [30.03.21]

This technical datasheets have been developed by Cesefor-Uva. The EGURALT project is co-financed by the Interreg Sudoe Programme through the European Regional Development Fund (ERDF).

## 40 Brock Commons student hall

**CANADA**    **Vancouver**  
**Acton Ostry Architects**

**2017**

### About

The 18-story building was the tallest timber-frame building at the time of its completion. Prefabrication was applied to the structure and façade panels, achieving a record construction time for these elements of only 66 days. The average assembly speed of the structure and cladding was two floors per week. This includes the assembly of columns and CLT panels, the assembly of the interior PYL and the installation of the façade panels.



Finished building  
 The University of British Columbia  
<https://n9.cl/bz8ps>



Construction process, façade assembly.  
 Naturally:wood wood <https://n9.cl/th0mp>



Structure assembly: CLT panels and posts.  
 KKLaw <https://n9.cl/m9vfy>

### **i** General

**53** Height (m)

**17** Floors

**14.500** Built-up area (m<sup>2</sup>)

Budget/m<sup>2</sup>

Building use **Public Residence**

Total budget



### Technical data

**Massive Timber** Structural system

**Unknown** Bracing system

CLT floors

Concrete floors

### **S**ustainability

**Unknown** Wooden specie

**2.233** Wood volume (m<sup>3</sup>)

**1.753** Potential CO<sub>2</sub> benefit

### References:

- Acton Ostry <https://n9.cl/bz8ps> [23.03.21]

- Naturally:wood <https://n9.cl/th0mp> [25.06.21]

This technical datasheets have been developed by Cesefor-Uva. The EGURALT project is co-financed by the Interreg Sudoe Programme through the European Regional Development Fund (ERDF).



## 23 Comunidad Habitacional

**SPAIN** **Barcelona**  
**Cierto Estudio**

**2017**

### About

Comunidad Habitacional is a 300 social housing Project consisting of eight floors built with wooden structure that combines CLT panels with glulam beams. The project is in “Illa Glories” a urban block limited by Gran Vía, Las Glorias square, “Els Encants” market and the National Theater of Catalonia.



Exterior infographics from las Glorias square. Cierto Estudio <https://n9.cl/f5gex>



Exterior corridor infographics. Cierto Estudio <https://n9.cl/f5gex>

### **i** General

Height (m)

**8**

Floors

Built-up area (m2)

Budget/m2

Building use **Residencial**

Total budget

### **📄** Technical data

**Combination**

Structural system

**Unknown**

Bracing system

CLT floors

Concrete floors

### **🌿** Sustainability

**Unknown** Wooden specie

Wood volume (m3)

Potential CO2 benefit

### References:

- La Vanguardia <https://n9.cl/3yxw1> [18.03.21]

- inarquía <https://n9.cl/f5gex> [19.03.21]

This technical datasheets have been developed by Cesefor-Uva. The EGURALT project is co-financed by the Interreg Sudoe Programme through the European Regional Development Fund (ERDF).

## 22 La Borda building

**SPAIN** **Barcelona**  
**LACOL SCCL**

**2018**

### About

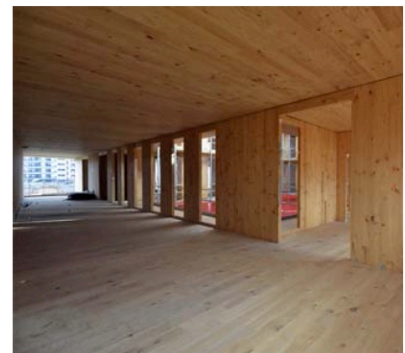
Standing 25.5 meters high, La Borda project consists of a total of 28 social housing units built on the former Can Batlló factory site, which was given by Barcelona City Council to La Borda cooperative. All the spaces are organized around a central courtyard, a large relationship space reminiscent of the "corralas", a popular housing typology of central and southern Spain. The building uses 660 cubic meters of cross-laminated timber (CLT) panels and 40 cubic meters of glulam of radiata species from Basque forests.



Indoor community space.  
 Luc Miralles <https://n9.cl/tda9>



Construction process from the outside.  
 LACOL



Construction process. CLT panels used in walls and floors.  
 LACOL

### **i** General

|              |                    |                    |              |
|--------------|--------------------|--------------------|--------------|
| <b>26</b>    | Height (m)         | <b>7</b>           | Floors       |
| <b>3.000</b> | Built-up area (m2) | <b>867 €</b>       | Budget/m2    |
| Building use | <b>Residencial</b> | <b>2.600.000 €</b> | Total budget |

### **📄** Technical data

|              |                   |                      |                 |
|--------------|-------------------|----------------------|-----------------|
| <b>Mixed</b> | Structural system | <b>Cutt-off wall</b> | Bracing system  |
| <b>6</b>     | CLT floors        | <b>1</b>             | Concrete floors |

### **🌿** Sustainability

|                      |                  |            |                       |
|----------------------|------------------|------------|-----------------------|
| <b>Pinus Radiata</b> | Wooden specie    | <b>560</b> | Potential CO2 benefit |
| <b>700</b>           | Wood volume (m3) |            |                       |

### References:

- LACOL. Online survey on 14.04.21
- Miguel Ángel Fernández Nevado. Online survey on 29.05.21
- Plataforma Arquitectura <https://n9.cl/h6tg3> [18.03.21]
- Egoín <https://n9.cl/3vput> [18.03.21]

This technical datasheets have been developed by Cesefor-Uva. The EGURALT project is co-financed by the Interreg Sudoe Programme through the European Regional Development Fund (ERDF).

## 45 65 VPP Hondarribia

**SPAIN**      **Hondarribia**  
**TYM asociados**

**2018**

### About

The building of 65 social housing units is the largest wooden residential development in the SUDOE region. The structure of the 5 floors above ground level is raised up on a solid concrete slab, which makes the building hyper-stable. These five floors are built entirely with CLT, using a system of load-bearing walls. There are four lines of support on which the continuous CLT panel slabs rest, with dimensions of almost 15 meters. The balconies are resolved by means of a metal structure attached to the CLT panels that conform the façade walls.



VPP Hondarribia façade.  
 Visesa <https://n9.cl/90e88>



Construction process.  
 Luis-Alfonso Basterra Otero



Construction process.  
 Carmelo Fernández Militino

### **i** General

|                                 |                    |              |
|---------------------------------|--------------------|--------------|
| Height (m)                      | <b>5</b>           | Floors       |
| <b>6.000</b> Built-up area (m2) | <b>1.110 €</b>     | Budget/m2    |
| Building use <b>Residencial</b> | <b>6.660.000 €</b> | Total budget |

### **📄** Technical data

|   |                                     |
|---|-------------------------------------|
| <b>Massive Timber</b> Structural system | <b>Cutt-off wall</b> Bracing system |
| <b>5</b> CLT floors                     | <b>2</b> Concrete floors            |

### **🌿** Sustainability

|                                    |                                    |
|------------------------------------|------------------------------------|
| <b>Pinus Radiata</b> Wooden specie | <b>1.182</b> Potential CO2 benefit |
| <b>2.050</b> Wood volume (m3)      |                                    |

### References:

- TYM asociados. Online survey on 15.04.21
- Egoín <https://n9.cl/kkpqx> [23.03.21]
- Visesa <https://n9.cl/90e88> [23.03.21]

This technical datasheets have been developed by Cesefor-Uva.  
 The EGURALT project is co-financed by the Interreg Sudoe Programme through the European Regional Development Fund (ERDF).



## 51 Apartment building Buenavista

SPAIN  
b720

Madrid

2018

### About

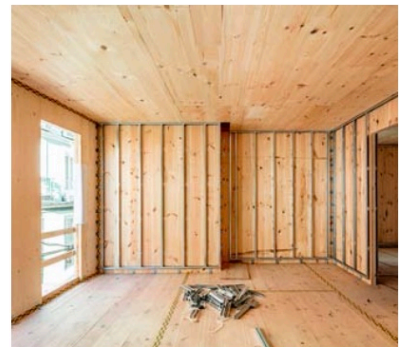
Located in the historic center of Madrid, it is the first residential building between dividing walls built with a wooden structure in the city. CLT panels are used in the structure of the 5 floors and in the enclosure. The main objective of the project has been to get as close as possible to a "zero impact" building.



Buenavista Street  
B720 <https://n9.cl/m2blt>



Buenavista Street during construction.  
B720 <https://n9.cl/m2blt>



Construction process from the inside.  
B720 <https://n9.cl/m2blt>

### **i** General

|              |                    |                    |              |
|--------------|--------------------|--------------------|--------------|
|              | Height (m)         | <b>5</b>           | Floors       |
| <b>302</b>   | Built-up area (m2) | <b>7.285 €</b>     | Budget/m2    |
| Building use | <b>Residencial</b> | <b>2.200.000 €</b> | Total budget |

### **📄** Technical data

|                       |                   |                |                 |
|-----------------------|-------------------|----------------|-----------------|
| <b>Massive Timber</b> | Structural system | <b>Unknown</b> | Bracing system  |
| <b>5</b>              | CLT floors        | <b>1</b>       | Concrete floors |

### **🌿** Sustainability

|                |                  |
|----------------|------------------|
| <b>Unknown</b> | Wooden specie    |
|                | Wood volume (m3) |

Potential CO2 benefit

### References:

- Metalocus <https://n9.cl/sdi3r> [26.03.21]
- b720 <https://n9.cl/m2blt> [26.03.21]

This technical datasheets have been developed by Cesefor-Uva. The EGURALT project is co-financed by the Interreg Sudoe Programme through the European Regional Development Fund (ERDF).

## 17 Office Perspective

**FRANCE**    **Bordeaux**  
**Nicolás Laisné Architectes**

**2018**

### About

The constructed wooden office building “Perspective” in Bordeaux is a modern workplace. It is constructed using LVL post and beam. This system ensures a fast and easy construction and contributes to a better indoor climate.



Facade from the street Quai de Brienne. Meero Photo. 20 minutes. <https://n9.cl/r53o9>



Aerial photograph. Pichet Group. Batiactu. <https://n9.cl/69u9g>



Structure construction process. Nicolas Laisné y Dimitri Roussel. Batiactu. <https://n9.cl/69u9a>

### **i** General

Height (m)

**10**

Floors

**4.438**

Built-up area (m2)

Budget/m2

Building use **Offices**

Total budget

### **📄** Technical data

**Post and Beam**

Structural system

**Unknown**

Bracing system

CLT floors

Concrete floors

### **🌿** Sustainability

**Unknown**

Wooden specie

**123**

Wood volume (m3)

Potential CO2 benefit

### References:

- Stora Enso <https://n9.cl/frgs9> [18.03.21]

- Nicolas Laisné Architectes <https://n9.cl/rm6pb> [18.03.21]

This technical datasheets have been developed by Cesefor-Uva.

The EGURALT project is co-financed by the Interreg Sudoe Programme through the European Regional Development Fund (ERDF).



## 49 Covivienda Ecológica Talco

SPAIN

Madrid

2019

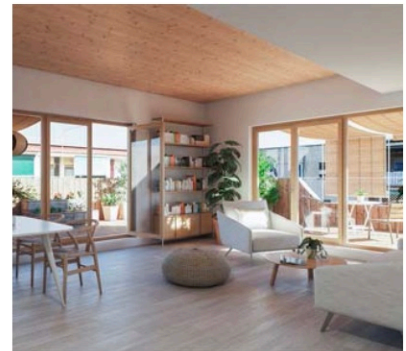
sAtt

### About

A community ecological housing project is planned in the Villaverde district of Madrid. The building produces its own energy, recycles water, and integrates urban gardens and vegetation. Apart from the basement, the rest of the floors are built using CLT panels that make up the floor slabs, the façades and part of the interior partition walls.



Exterior areial infographics.  
sAtt <https://n9.cl/dwc36>



Housing infographics.  
sAtt <https://n9.cl/dwc36>

### **i** General

|                                 |                    |              |
|---------------------------------|--------------------|--------------|
| Height (m)                      | <b>6</b>           | Floors       |
| <b>2.900</b> Built-up area (m2) | <b>517 €</b>       | Budget/m2    |
| Building use <b>Residencial</b> | <b>1.500.000 €</b> | Total budget |

### **📄** Technical data

|   |                               |
|---|-------------------------------|
| <b>Massive Timber</b> Structural system | <b>Unknown</b> Bracing system |
|---|-------------------------------|

CLT floors

Concrete floors

### **🌿** Sustainability

**Unknown** Wooden specie

Wood volume (m3)

Potential CO2 benefit

### References:

- satt <https://n9.cl/oc06> [24.03.21]

- EcoHabitar <https://n9.cl/dwc36> [26.03.21]

This technical datasheets have been developed by Cesefor-Uva. The EGURALT project is co-financed by the Interreg Sudoe Programme through the European Regional Development Fund (ERDF).

## 24 Residential building Azpilagaña Zure-tokia

SPAIN Pamplona  
Maitane Zazu Hernando

2019



Infographics from Río Alzaina street.  
<https://n9.cl/b7b8i>

### About

The project integrates elderly people into urban life through the construction of supervised flats in an established neighborhood. The 10-story building has been designed according to passivhaus standards. The use of timber in both the structure and the enclosures makes this building a benchmark for sustainable construction.

### General

|                                 |                    |                       |
|---------------------------------|--------------------|-----------------------|
| Height (m)                      | <b>10</b>          | Floors                |
| Built-up area (m <sup>2</sup> ) |                    | Budget/m <sup>2</sup> |
| Building use                    | <b>Residencial</b> | Total budget          |

### Technical data

|                       |                   |                |                 |
|-----------------------|-------------------|----------------|-----------------|
| <b>Massive Timber</b> | Structural system | <b>Unknown</b> | Bracing system  |
|                       | CLT floors        |                | Concrete floors |

### Sustainability

|                |                               |  |                                   |
|----------------|-------------------------------|--|-----------------------------------|
| <b>Unknown</b> | Wooden specie                 |  |                                   |
|                | Wood volume (m <sup>3</sup> ) |  | Potential CO <sub>2</sub> benefit |

### References:

- Ademan <https://n9.cl/b7b8i> [19.03.21]
- Navarra.es <https://n9.cl/bxqt2> [19.03.21]

This technical datasheets have been developed by Cesefor-Uva. The EGURALT project is co-financed by the Interreg Sudoe Programme through the European Regional Development Fund (ERDF).

## 20 Cartoucherie Wood'Art Eco District

**FRANCE**      **Toulouse**      **2018**  
**Dietrich Untertrifaller Architekten**      **Under construction**

### About

"Cartoucherie Wood'art" is intended to be an eco-district located on the right bank of the Garonne, occupying a former industrial area. The project contains 3100 m<sup>2</sup> of apartments and 6000 m<sup>2</sup> of commercial space. The project is composed of several buildings, the tallest, with 10 floors, will house a hotel. Seventy-five percent of the buildings are constructed in wood using mainly the mass timber system from CLT panels. Concrete only appears in the communication cores and the first floor ceiling, the rest of the structure is made of wood.



Infographics from the public space  
 Dietrich Untertrifaller. <https://n9.cl/7w6n>



Aerial infographics  
 Arquitectura de Seuil. <https://n9.cl/egpuu>



Infographics from housing terrace.  
 Dietrich Untertrifaller. <https://n9.cl/7w6n>

### **i** General

|  |           |                       |
|--|-----------|-----------------------|
| Height (m)                                   | <b>10</b> | Floors                |
| <b>9.100</b> Built-up area (m <sup>2</sup> ) |           | Budget/m <sup>2</sup> |
| Building use <b>Mixed</b>                    |           | Total budget          |

### **📄** Technical data

|              |                   |                |                 |
|--------------|-------------------|----------------|-----------------|
| <b>Mixed</b> | Structural system | <b>Unknown</b> | Bracing system  |
| <b>9</b>     | CLT floors        | <b>1</b>       | Concrete floors |

### **🌿** Sustainability

|                |                               |                                   |
|----------------|-------------------------------|-----------------------------------|
| <b>Unknown</b> | Wooden specie                 | Potential CO <sub>2</sub> benefit |
|                | Wood volume (m <sup>3</sup> ) |                                   |

### References:

- Dietrich Untertrifaller Architects <https://n9.cl/7w6n> [18.03.21]
- Fédération Promoteurs Immobiliers <https://n9.cl/17eyg> [18.03.21]

This technical datasheets have been developed by Cesefor-Uva. The EGURALT project is co-financed by the Interreg Sudoe Programme through the European Regional Development Fund (ERDF).



## 25 ARV8

SPAIN  
Ábaton

Madrid

2019

### About

ARV8 is the tallest building constructed with CLT panel structure in Madrid. The 7-storey timber-structure building contains three dwellings, each with a different configuration adapted to its owners. Prefabrication and innovation become the leitmotiv of the construction. Workshop-assembled parts make the construction faster, more comfortable, and energy-efficient. The building has two basements' levels made of reinforced concrete. The efficiency of the CLT panel system made it possible to build a 13-metre span slab structure without the presence of intermediate posts. This means maximum use of the useful surface area of the house, which is also organized with criteria of flexibility in the distribution of space.

### i General

26

Height (m)

7

Floors

Built-up area (m2)

Budget/m2

Building use **Residencial**

Total budget



### Technical data

**Massive Timber** Structural system

**Unknown** Bracing system

CLT floors

Concrete floors

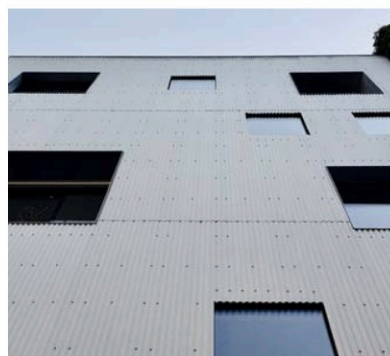
### 🌱 Sustainability

**Unknown** Wooden specie

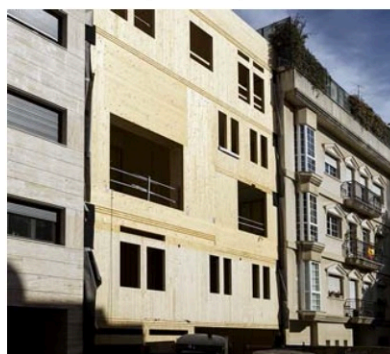
300

Wood volume (m3)

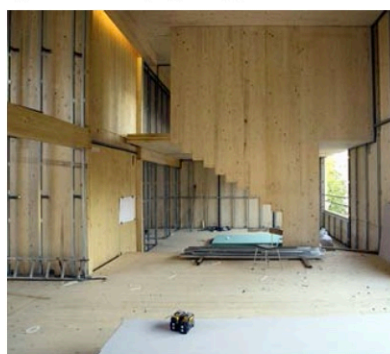
Potential CO2 benefit



Main façade. Finished grilled sheet metal. Blanca Marías <https://n9.cl/lgm3z>



Main Façade under construction with CLT. Queima Films <https://n9.cl/lgm3z>



Construction process. 2nd floor apartment. Queima Films <https://n9.cl/lgm3z>

### References:

- Madergia <https://n9.cl/gcvl3> [18.03.21]

- Tectónica <https://n9.cl/lgm3z> [18.03.21]

This technical datasheets have been developed by Cesefor-Uva. The EGURALT project is co-financed by the Interreg Sudoe Programme through the European Regional Development Fund (ERDF).

## 4 Bains-douches in Castagnary

FRANCE Paris  
RED-architects

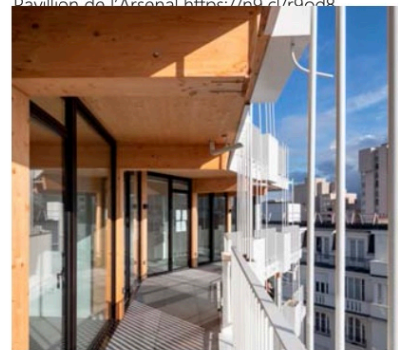
2019

### About

Built behind the historic building of the Castagnary baths and showers. It has been designed as youth accommodation, sharing the 17 accommodation units for a total of 56 rooms (5 per apartment), i.e. 1,400 m<sup>2</sup> of accommodation, and 350 m<sup>2</sup> of coworking space.



Old shower and restroom building, behind, newly constructed building  
Pavillon de l'Arsenal <https://n9.cl/r9od8>



Exterior corridor  
Pavillon de l'Arsenal <https://n9.cl/r9od8>



Construction process  
Sequences Bois <https://n9.cl/ivq7x>

### **i** General

Height (m)

9

Floors

Built-up area (m<sup>2</sup>)

Budget/m<sup>2</sup>

Building use **Residencial**

Total budget



### Technical data

**Combination**

Structural system

**Unknown**

Bracing system

8

CLT floors

Concrete floors



### Sustainability

**Unknown**

Wooden specie

500

Wood volume (m<sup>3</sup>)

Potential CO<sub>2</sub> benefit

### References:

- KLH lignatec <https://n9.cl/qgue4> [08.02.21]

- RED architectes <https://n9.cl/2pv2t> [08.02.21]

- Sequences Bois <https://n9.cl/ivq7x> [08.02.21]

This technical datasheets have been developed by Cesefor-Uva. The EGURALT project is co-financed by the Interreg Sudoe Programme through the European Regional Development Fund (ERDF).



## 2 Îlot Bois Sensations

FRANCE    Strasbourg  
KOZ architectes

2019

### About

3 buildings with central wooden cores, such as floors, load-bearing walls and facade (CLT cross-laminated timber). The post and beam structure is glulam.

The largest building has 11 levels and the other two 8 levels.

They house 146 apartments and shops at the foot of the building.



Finished building  
KOZ <https://n9.cl/uxgjc>



Construction process  
Cmp Bois <https://n9.cl/qn0oc>



Inside view of the structure  
Portail de BOIS LAMELLÉ <https://n9.cl/hf2r>

### i General

**36** Height (m)                      **12** Floors

**9.282** Built-up area (m2)    **1.774 €** Budget/m2

Building use **Residencial**    **16.462.800 €** Total budget

### 📄 Technical data

**Combination**                      Structural system    **Cutt-off wall**                      Bracing system

**10** CLT floors                      **1** Concrete floors

### 🌿 Sustainability

**Picea Abies**    Wooden specie

**3.500** Wood volume (m3)    **1.312** Potential CO2 benefit

### References:

- Bouygues Immobilier. Online survey on 15.04.21

- Koz architectes. Online survey on 17.06.21

- KLH lignatec <https://n9.cl/ksbo6> [05.02.21]

This technical datasheets have been developed by Cesefor-Uva. The EGURALT project is co-financed by the Interreg Sudoe Programme through the European Regional Development Fund (ERDF).

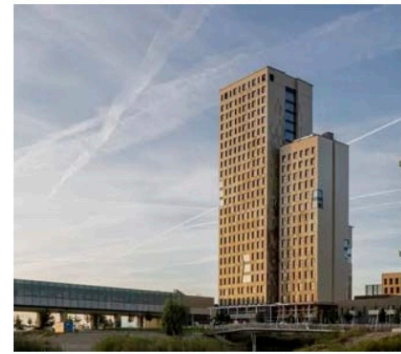
## 35 HoHo tower

**AUSTRIA** Vienna  
**Rüdiger Lainer and Partner**

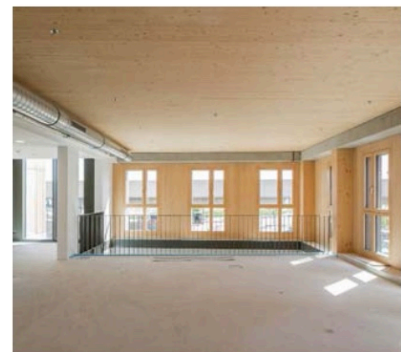
**2019**

### About

The HoHo Project consists of two buildings, a main building with three volumes of 9, 15 and 23 floors plus two basements, and a smaller secondary building of only five floors. Its construction took three years. The structure of the building combines wood and concrete elements: The vertical communication cores are made of reinforced concrete, CLT panels supported by a reinforced concrete perimeter beam are used for the floor slabs, which are supported by glulam columns and, finally, the enclosures are made of CLT panels.



HoHo project main building  
 Housing Evolution <https://n9.cl/3mq26>



CLT panel floor slabs and concrete beam.  
 cetus Baudevelopment+kito.at <https://n9.cl/4aei7>



Construction process. Prefabricated façade panel.  
 cetus.at + Thomas Lerch <https://n9.cl/4aei7>

### **i** General

|                           |                    |                     |              |
|---------------------------|--------------------|---------------------|--------------|
| <b>84</b>                 | Height (m)         | <b>24</b>           | Floors       |
| <b>25.000</b>             | Built-up area (m2) | <b>3.000 €</b>      | Budget/m2    |
| Building use <b>Mixed</b> |                    | <b>75.000.000 €</b> | Total budget |

### **📄** Technical data

|              |                   |                |                 |
|--------------|-------------------|----------------|-----------------|
| <b>Mixed</b> | Structural system | <b>Unknown</b> | Bracing system  |
| <b>24</b>    | CLT floors        | <b>1</b>       | Concrete floors |

### **🌿** Sustainability

**Picea Abies** Wooden specie

Wood volume (m3)

Potential CO2 benefit

### References:

- Rüdiger Lainer and Partner. Online survey on 16.04.21
- Construir <https://n9.cl/4muan> [20.03.21]
- Madera y construcción <https://n9.cl/dqq9> [27.03.21]

This technical datasheets have been developed by Cesefor-Uva. The EGURALT project is co-financed by the Interreg Sudoe Programme through the European Regional Development Fund (ERDF).

## 53 La Balma residential building

**SPAIN**      **Barcelona**  
**La Boqueria**

**2019**

### About

It is the winning project in the public competition for municipal plots of land for cooperative housing in cession of use. Typologically, the dwellings are designed from a basic unit of 50 m<sup>2</sup> which can be extended according to the needs of the users: the dwellings appropriate spaces with a minimum of dry partition walls. Constructively, it is a lightweight building with a predominance of reusable and removable materials, which allows the foundations to be reduced. The entire structure is made of CLT panels, considerably reducing the weight.



Exterior infographics from Espronceda street. Sostre Cívic



Structure assembly. Miguel Ángel Rodríguez Nevado



Completed structural phase. Miguel Ángel Rodríguez Nevado

### **i** General

Height (m)

**6**

Floors

Built-up area (m<sup>2</sup>)

Budget/m<sup>2</sup>

Building use **Residencial**

Total budget

### **📄** Technical data

**Massive Timber** Structural system

**Unknown** Bracing system

**5** CLT floors

**1** Concrete floors

### **🌿** Sustainability

**Unknown** Wooden specie

Wood volume (m<sup>3</sup>)

Potential CO<sub>2</sub> benefit

### References:

- Miguel Ángel Fernández Nevado. Online survey on 29.05.21
- Sostre Cívic <https://n9.cl/5xxpqo> [08.04.21]
- 48h open house Barcelona <https://n9.cl/jtdf2> [08.04.21]

This technical datasheets have been developed by Cesefor-Uva. The EGURALT project is co-financed by the Interreg Sudoe Programme through the European Regional Development Fund (ERDF).



## 49 Covivienda Ecológica Talco

SPAIN

Madrid

2019

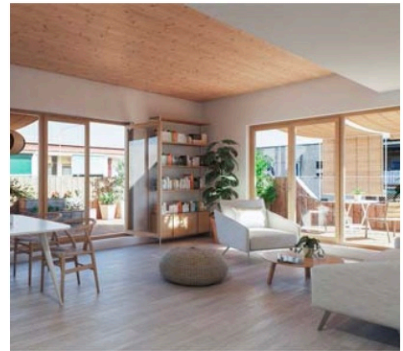
sAtt

### About

A community ecological housing project is planned in the Villaverde district of Madrid. The building produces its own energy, recycles water, and integrates urban gardens and vegetation. Apart from the basement, the rest of the floors are built using CLT panels that make up the floor slabs, the façades and part of the interior partition walls.



Exterior areial infographics.  
sAtt <https://n9.cl/dwc36>



Housing infographics.  
sAtt <https://n9.cl/dwc36>

### **i** General

|                                 |                    |              |
|---------------------------------|--------------------|--------------|
| Height (m)                      | <b>6</b>           | Floors       |
| <b>2.900</b> Built-up area (m2) | <b>517 €</b>       | Budget/m2    |
| Building use <b>Residencial</b> | <b>1.500.000 €</b> | Total budget |

### **📄** Technical data

|   |                               |
|---|-------------------------------|
| <b>Massive Timber</b> Structural system | <b>Unknown</b> Bracing system |
|---|-------------------------------|

CLT floors

Concrete floors

### **🌿** Sustainability

**Unknown** Wooden specie

Wood volume (m3)

Potential CO2 benefit

### References:

- satt <https://n9.cl/oc06> [24.03.21]
- EcoHabitar <https://n9.cl/dwc36> [26.03.21]

This technical datasheets have been developed by Cesefor-Uva. The EGURALT project is co-financed by the Interreg Sudoe Programme through the European Regional Development Fund (ERDF).



# 1 JO&JOE hotel

**FRANCE**      **Gentilly**      **2019**  
**VIGUIER**

## About

JO&JOE Paris Gentilly is the world's first low-carbon hotel. The building consists of eight floors housing 485 rooms on a total surface area of 5.325 m<sup>2</sup>. The structure of the first floor is made of reinforced concrete and the other seven floors are made of wood.



Exterior view of the hotel  
 Tom Donald <https://n9.cl/f5iz9>



Hotel quadruple room  
 Thierry Sauvage <https://n9.cl/f5iz9>

## **i** General

|  |          |                       |
|--|----------|-----------------------|
| Height (m)                                   | <b>8</b> | Floors                |
| <b>6.875</b> Built-up area (m <sup>2</sup> ) |          | Budget/m <sup>2</sup> |
| Building use <b>Public Residence</b>         |          | Total budget          |

## **📄** Technical data

|                                      |                               |
|--------------------------------------|-------------------------------|
| <b>Combination</b> Structural system | <b>Unknown</b> Bracing system |
| CLT floors                           | Concrete floors               |

## **🌿** Sustainability

|                               |                                   |
|-------------------------------|-----------------------------------|
| <b>Unknown</b> Wooden specie  | Potential CO <sub>2</sub> benefit |
| Wood volume (m <sup>3</sup> ) |                                   |

## References:

- ArchDaily <https://n9.cl/f5iz9> [05.02.21]

-PENSON <https://n9.cl/n1kyg> [05,02,21]

This technical datasheets have been developed by Cesefor-Uva. The EGURALT project is co-financed by the Interreg Sudoe Programme through the European Regional Development Fund (ERDF).

### 33 Skellefteå Cultural Center

**SWEDEN** Skellefteå  
White Arkitekter

**2019**  
Under construction

#### About

This 19-story building combines the use of a cultural center and a hotel. It is a project that uses a hybrid construction method that combines concrete, steel and wood and includes prefabrication processes.

To reduce the thickness of the floor slabs, hybrid wood-concrete slabs are used. In addition, for large span spaces, trusses are designed mixing wood and steel: the wood is placed in the compressed parts and the steel appears as tensors in the tractioned parts. This structural type generates a characteristic image of the building's interiors. On the other hand, the hotel rooms are made of prefabricated modules of CLT panels that are assembled on site before being installed.

#### **i** General

**76** Height (m)

**19** Floors

**24.940** Built-up area (m2)

Budget/m2

Building use **Cultural**

Total budget



#### Technical data

**Mixed**

Structural system

**Unknown**

Bracing system

CLT floors

Concrete floors



#### Sustainability

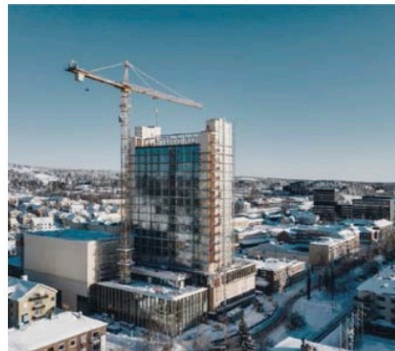
**Unknown** Wooden specie

Wood volume (m3)

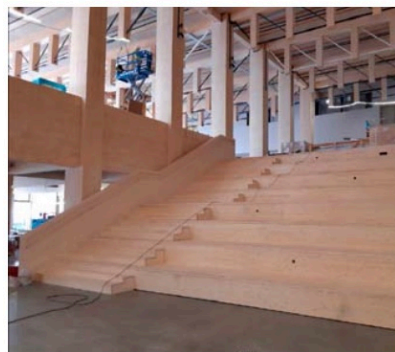
Potential CO2 benefit



Infographics aerial view.  
White Arkitekter <https://n9.cl/yapu5>



Aerial view, construction process.  
<https://n9.cl/pmx4w>



Interior space, mixed wooden and steel trusses.  
<https://n9.cl/3wur3>

#### References:

- Internationales Holzbau-Forum 2017 <https://n9.cl/fmxfh> [29.03.21]
- DIFK <https://n9.cl/cjys6> [29.03.21]
- Plataforma Arquitectura <https://n9.cl/yapu5> [29.03.21]

This technical datasheets have been developed by Cesefor-Uva. The EGURALT project is co-financed by the Interreg Sudoe Programme through the European Regional Development Fund (ERDF).

## 34 Mjøstårnet tower

**NORWAY** Brumunddal  
VOLL ARKITEKTER

**2019**  
Finished

### About

It is the tallest timber-framed tower in the world built to date. It includes offices, a hotel, restaurants and even an indoor swimming pool. The structure is mainly made of wood: large glulam columns and CLT panels are used in the floor slabs. The facades are triangulated with inclined glulam beams. Due to the height of this building and its exposure to the wind (it is located in front of a lake), the CLT panels are replaced by solid reinforced concrete slabs on the top seven floors. This solution was chosen to increase the weight of the highest part of the building and thus to avoid the perception of the building swaying in the wind.

### General

**85** Height (m)

**18** Floors

**11.300** Built-up area (m<sup>2</sup>)

Budget/m<sup>2</sup>

Building use **Mixed**

Total budget



### Technical data

**Mixed** Structural system

**Cross bracing** Bracing system

**11** CLT floors

**7** Concrete floors



### Sustainability

**Unknown** Wooden specie

**3.500** Wood volume (m<sup>3</sup>)

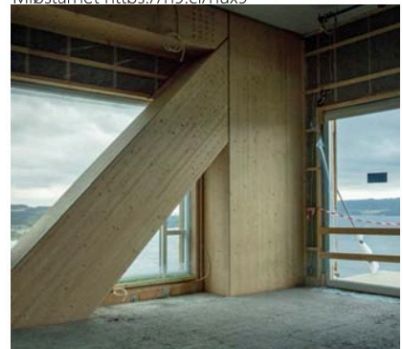
Potential CO<sub>2</sub> benefit



Aerial view.  
Ian Brodie <https://n9.cl/xeiije>



Construction process. First CLT floors and GLT posts.  
Mjøstårnet <https://n9.cl/nux9>



Facade timber cross bracing  
Construible.es <https://n9.cl/miw3b>

### References:

- Metalocus <https://n9.cl/nux9> [29.03.21]
- Voll <https://n9.cl/jpvfu> [29.03.21]
- Moelven <https://n9.cl/es/s/9c6taz> [29.03.21]
- Construible.es <https://n9.cl/miw3b> [30.03.21]

This technical datasheets have been developed by Cesefor-Uva.  
The EGURALT project is co-financed by the Interreg Sudoe Programme through the European Regional Development Fund (ERDF).



## 27 6x6 block

**SPAIN**      **Gerona**  
**Bosch Capdeferro**

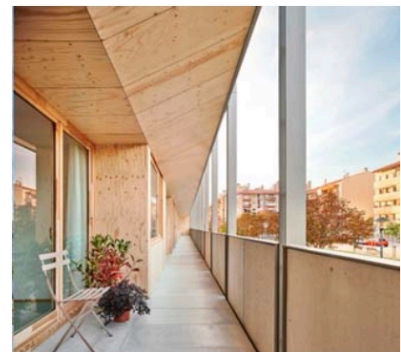
**2020**

### About

The project proposes the design of a 35 apartment block based on program flexibility criteria and seeking an important reduction of the carbon footprint throughout the life cycle of the building. The six-stories building is now under construction. The use of cross-laminated timber panels (CLT) for the construction of the volume above ground raises a bearing wall building typology and defines similar domestic spaces between structural elements.



Main Façade from Tomàs Arteras Artau st. Afasia <https://n9.cl/tx4>



Exterior corridor view. Afasia <https://n9.cl/tx4>



Structure construction process. CLT panels. Afasia <https://n9.cl/tx49>

### **i** General

**22** Height (m)

Built-up area (m2)

**6** Floors

Budget/m2

Building use **Residencial**

Total budget

### **📄** Technical data

**Combination** Structural system

**Unknown** Bracing system

**6** CLT floors

**1** Concrete floors

### **🌿** Sustainability

**Unknown** Wooden specie

**1.000** Wood volume (m3)

**780** Potential CO2 benefit

### References:

- Dlubal <https://n9.cl/gnp68> [19.03.21]
- Madera sostenible <https://n9.cl/8q4dm> [19.03.21]
- afasia <https://n9.cl/tx49> [19.03.21]

This technical datasheets have been developed by Cesefor-Uva. The EGURALT project is co-financed by the Interreg Sudoe Programme through the European Regional Development Fund (ERDF).



## 62 85 VPP in Cornellá

SPAIN **Cornellá de Llobregat**  
Peris+Toral Arquitectes

2020

### About

At the time of construction, it was the largest residential building in Spain built with a wood structure based on CLT panels. In addition to being a pioneer in wood construction, its design is also unique: Each floor is composed of a matrix of 108 communicating spaces that allow maximum use of space by eliminating corridors. This configuration of the project makes the use of CLT panels very appropriate. The four communication cores are located at the corners of the building and are also constructed with CLT.



Infographic of the inner courtyard of the block.  
Peris + Toral <https://n9.cl/690ba>



Construction process from the exterior.  
Egoin <https://n9.cl/g4p21>



CLT panels in floors and walls and glulam beams and columns.  
Eaoin <https://n9.cl/a4o21>

### **i** General

|               |                    |                     |              |
|---------------|--------------------|---------------------|--------------|
| <b>21</b>     | Height (m)         | <b>6</b>            | Floors       |
| <b>12.815</b> | Built-up area (m2) | <b>975 €</b>        | Budget/m2    |
| Building use  | <b>Residencial</b> | <b>12.495.000 €</b> | Total budget |

### **📄** Technical data

|                    |                   |                   |                 |
|--------------------|-------------------|-------------------|-----------------|
| <b>Combination</b> | Structural system | <b>Rigid core</b> | Bracing system  |
| <b>5</b>           | CLT floors        | <b>1</b>          | Concrete floors |

### **🌿** Sustainability

|                      |                  |            |                       |
|----------------------|------------------|------------|-----------------------|
| <b>Pinus Radiata</b> | Wooden specie    | <b>940</b> | Potential CO2 benefit |
| <b>2.100</b>         | Wood volume (m3) |            |                       |

### References:

- Peris+Toral Arquitectes. Online survey on 19.05.21. <https://n9.cl/690ba> [24.03.21]
- Casa Arbre <https://n9.cl/4prhi> [24.03.21]
- Egoin <https://n9.cl/g4p21> [24.03.21]

This technical datasheets have been developed by Cesefor-Uva.  
The EGURALT project is co-financed by the Interreg Sudoe Programme through the European Regional Development Fund (ERDF).

## 28 Cirerers: cooperative housing in Roquetes

SPAIN Barcelona  
Celobert cooperativa

2021

### About

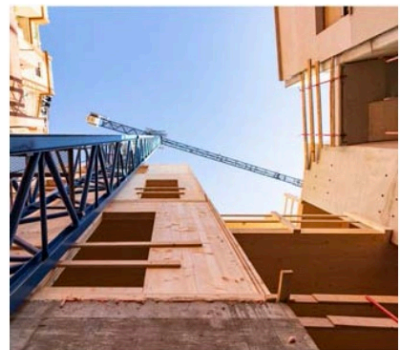
The building is located in the Roquetes neighborhood in Barcelona. It has 32 flats distributed over 8 floors. It is built on a plot of land owned by the city council and given to the Sostre Cívic cooperative for self-management. A unique feature of the building is that each floor has common areas that house laundry rooms, storage, bicycle parking, a study area, and a space for leisure activities.



Building infographics. Sostre Cívic <https://n9.cl/o6u5>



Construction process seen from the outside. Celobert <https://n9.cl/usi5>



Construction process. Celobert <https://n9.cl/usi5>

### General

|              |                    |                    |              |
|--------------|--------------------|--------------------|--------------|
| <b>19</b>    | Height (m)         | <b>7</b>           | Floors       |
|              | Built-up area (m2) |                    | Budget/m2    |
| Building use | <b>Residencial</b> | <b>3.200.000 €</b> | Total budget |

### Technical data

|              |                   |                      |                 |
|--------------|-------------------|----------------------|-----------------|
| <b>Mixed</b> | Structural system | <b>Cutt-off wall</b> | Bracing system  |
| <b>7</b>     | CLT floors        | <b>1</b>             | Concrete floors |

### Sustainability

|                    |                  |            |                       |
|--------------------|------------------|------------|-----------------------|
| <b>Picea Abies</b> | Wooden specie    | <b>274</b> | Potential CO2 benefit |
| <b>730</b>         | Wood volume (m3) |            |                       |

### References:

- Celobert. Online survey on 14.04.21
- Barcelona al día <https://n9.cl/gr2r5> [19.03.21]
- Sostre Cívic <https://n9.cl/o6u59> [19.03.21]
- Celobert <https://n9.cl/usi5v> [19.03.21]

This technical datasheets have been developed by Cesefor-Uva. The EGURALT project is co-financed by the Interreg Sudoe Programme through the European Regional Development Fund (ERDF).

## 59 SILVA Bordeaux

FRANCE Bordeaux  
Art & Build y Studio Bellecour

2021

### About

The project consists of a set of three buildings that include housing, offices, commercial premises and a parking lot. The tallest building, the residential building, is 50 meters high and uses wood as its main material. The floor slabs are made of CLT panels obtained from local forests. The bracing of the structure is made by triangulations, visible on the facade, also made of wood. In this case, these structural elements are made of glulam.



Residential building inphographics.  
Bellecour architectes <https://n9.cl/bv20s>



Infographics of the back side of the complex.  
Bellecour architectes <https://n9.cl/bv20s>

### General

**50** Height (m)

**18** Floors

**20.100** Built-up area (m2)

Budget/m2

Building use **Mixed**

Total budget



### Technical data

**Combination** Structural system

**Unknown** Bracing system

CLT floors

Concrete floors



### Sustainability

**Unknown** Wooden specie

**2.500** Wood volume (m3)

**3.100** Potential CO2 benefit

### References:

- Egis <https://n9.cl/96se6> [08.04.21]
- Bellecour <https://n9.cl/bv20s> [08.04.21]
- Ecologia <https://n9.cl/y4q66>

This technical datasheets have been developed by Cesefor-Uva.  
The EGURALT project is co-financed by the Interreg Sudoe Programme through the European Regional Development Fund (ERDF).



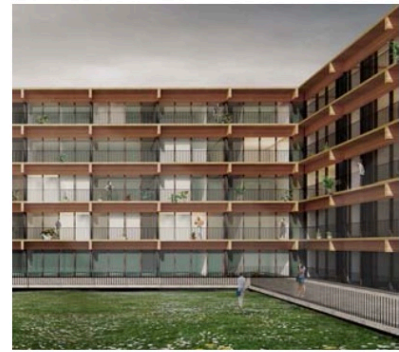
## 68 39 VPP in Entremutilvas

SPAIN Multiva  
mrm arquitectos

2021

### About

It is the first building of the public housing plan to be certified with the Passive haus construction standard. In order to achieve sustainable public housing, in addition to the near-zero consumption of the building, renewable materials such as wood were used for its construction. That is why the structure is mainly made of timber elements such as glulam beams and pillars and CLT panels to form the slabs. However, blind concrete screens are used to brace the structure and form the communication cores.



Exterior infographics.  
Mrm arquitectos <https://n9.cl/xy1mo>



Exterior infographics.  
Mrm arquitectos <https://n9.cl/xy1mo>

### **i** General

**18** Height (m) **5** Floors

**5.931** Built-up area (m<sup>2</sup>) **1.004 €** Budget/m<sup>2</sup>

Building use **Residencial** **5.953.000 €** Total budget

### **📄** Technical data

**Mixed** Structural system **Cutt-off wall** Bracing system  
**5** CLT floors **0** Concrete floors

### **🌿** Sustainability

**Pinus Radiata** Wooden specie  
**862** Wood volume (m<sup>3</sup>) **400** Potential CO<sub>2</sub> benefit

### References:

- mrm arquitectos. Online survey on 28.04.21. <https://n9.cl/xy1mo> [26.03.21]
- Diario de Navarra <https://n9.cl/0ydg> [26.03.21]
- Navarra.es <https://n9.cl/f8rw> [26.03.21]

This technical datasheets have been developed by Cesefor-Uva. The EGURALT project is co-financed by the Interreg Sudoe Programme through the European Regional Development Fund (ERDF).



## 21 Hyperion Wooden tower

FRANCE  
VIGUIER

Bordeaux

2021

### About

The Hyperion tower intends to be the tallest “living tree” in France. It will be built using mainly a wooden CLT structure. The lightness and stiffness of mass timber CLT, combined with the strength of glulam and LVL technology takes timber construction to new heights. The project become representative of a new generation of low-carbon buildings.



Hyperion Wooden tower form Carle Vermet  
David Sebastián Martín



Detail picture of the timber overhangs.  
David Sebastián Martín



Aerial view of the construction process.  
David Sebastián Martín

### General

**57** Height (m) **16** Floors

**17.000** Built-up area (m<sup>2</sup>) **2.941 €** Budget/m<sup>2</sup>

Building use **Mixed** **50.000.000 €** Total budget

### Technical data

**Mixed** Structural system **Cutt-off wall** Bracing system

**14** CLT floors **3** Concrete floors

### Sustainability

**Pinus Radiata** Wooden specie

**5.000** Wood volume (m<sup>3</sup>) **1.000** Potential CO<sub>2</sub> benefit

### References:

- David Sebastián Martín. Online survey on 22,06,21

- Viguier <https://n9.cl/eorcZ> [18.03.21]

- e-architect <https://n9.cl/oi6tz> [18.03.21]

This technical datasheets have been developed by Cesefor-Uva.  
The EGURALT project is co-financed by the Interreg Sudoe Programme through the European Regional Development Fund (ERDF).

## 58 Impulso Verde building

**SPAIN**      **Lugo**      **2021**  
**Antonio José Lara Bocanegra**

### About

The Impulso Verde building is part of the European LIFE project for adaptation to climate change. The aim of this project is to enhance the value of Galician wood. Its irregular shape shows the adaptability of the wooden structural elements. Impulso Verde will be an almost zero energy building and a model of respectful construction with no environmental footprint.

The building contains several structural systems: on the one hand, it has slabs and load-bearing walls made of CLT panels of Galician radiata pine. On the acrylic façades there are two laminated wood lattices also made of Galician radiata pine. Finally, the roof is resolved by a waffle slab of eucalyptus laminated timber combined with a radiata pine frame.

### **i** General

**19**      Height (m)      **5**      Floors

Built-up area (m2)      Budget/m2

Building use **Educational**      **1.250.000 €**      Total budget

### **📄** Technical data

**Combination**      Structural system      **Cross bracing**      Bracing system

**5**      CLT floors      **0**      Concrete floors

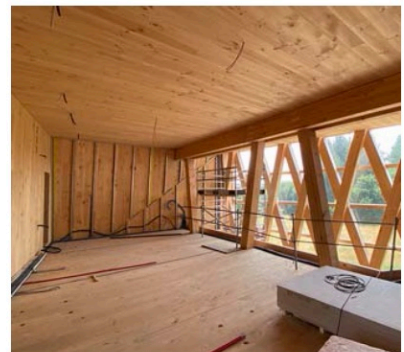
### **🌿** Sustainability

**Pinus Radiata**      Wooden specie

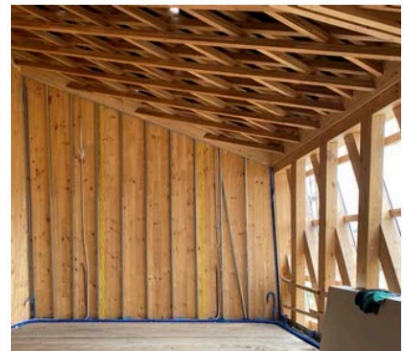
**430**      Wood volume (m3)      **280**      Potential CO2 benefit



Aerial view. Impulso Verde under construction.



Second floor. CLT panels in walls and floors and wooden lattice in the façade.



Last floor. Eucalyptus waffle slab for the roof and wooden lattice.

### References:

- Antonio José Lara Bocanegra. Online survey on 13.05.21

- Manuel Guaita Fernández and Belén Feijoo Lombao. Building visit on 01.07.21

This technical datasheets have been developed by Cesefor-Uva. The EGURALT project is co-financed by the Interreg Sudoe Programme through the European Regional Development Fund (ERDF).



Capítulo 4

## Consideraciones finales

---



## 8 Consideraciones finales

En un mundo cada vez más contaminado en el que las ciudades, cuyos edificios representan casi el 40% del consumo total de energía, son las principales fuentes de emisiones de CO<sub>2</sub> (Directiva 2012/27/UE), reducir el consumo energético en el sector de la construcción puede ser una de las formas más eficaces de mitigar las amenazas derivadas del cambio climático. De acuerdo con la citada Directiva, es imprescindible realizar actuaciones sobre los procesos de edificación para alcanzar el objetivo de reducir las emisiones de gases de efecto invernadero entre un 80% y un 95% para 2050 respecto a 1990. Esta meta constituye uno de los principales retos sociales a la par que un desafío para urbanistas y el conjunto de agentes que integran el ecosistema constructivo. En esta búsqueda de la eficiencia y la sostenibilidad, las ciudades y los edificios que las componen deben dejar de ser parte del problema y convertirse en la solución. Para ello, la madera, más concretamente los productos de madera estructural, pueden ser un aliado fundamental.

Desde el punto de vista medioambiental son numerosas las ventajas que aporta la madera estructural actuando contra el cambio climático: reduce las emisiones de dióxido de carbono en la medida en que es capaz de absorberlo y metabolizarlo para convertirlo en material lúneo a la vez que libera oxígeno a la atmósfera; se trata de un material reutilizable y renovable, que puede ser repuesto sin límite de una forma sostenible; los residuos que genera, por otro lado mínimos, se reutilizan, por ejemplo, en la fabricación de paneles, fibras o combustibles; es un recurso natural que favorece la mejora del entorno gracias a las explotaciones forestales sostenibles, facilitando la biodiversidad; la actividad forestal y la industria maderera contribuyen al desarrollo de las zonas rurales aportando valor, empleo y riqueza; su reducida conductividad térmica resulta eficaz incluso en los ambientes más extremos, superando las prestaciones de aislamiento que ofrecen el hormigón y el acero; su condición flexible y aptitud mecánica ante sollicitaciones estructurales de duración corta permiten hacer frente a cargas sísmicas de forma eficaz; y su comportamiento en caso de incendio, bien descrito ya en la literatura, permite la construcción de estructuras seguras en términos de resistencia y reacción al fuego.

Sin embargo, persisten aún varios obstáculos y reticencias que a este material todavía le quedan por salvar, especialmente en el sur de Europa. Aquí, a diferencia del continente norteamericano o de lo que se puede encontrar incluso más cerca, en los países nórdicos de Europa, todavía perdura, sin duda por falta de conocimiento, la visión negativa de la madera como un material no idóneo para estructuras, oponiendo, frente a otros materiales, su debilidad ante el fuego, el biodeterioro o el sismo.

Las objeciones son aún mayores cuando se piensa en su empleo en construcciones acordes con las tipologías edificatorias de las ciudades (bloques, torres, etc), que son las que realmente tendrán repercusión en la sostenibilidad y no tanto las empleadas en la arquitectura rural. No se debe olvidar que de aquí a 2050 más de dos tercios de la población mundial residirá en centros urbanos, por lo que serán las ciudades las que principalmente van a determinar si se consiguen o no los objetivos de reducción de los efectos del cambio climático (Daniel, 2018). Aunque en el estudio de casos se ha visto que en otros países hoy contamos con edificaciones que superan los 80 m de altura, las construcciones de varias plantas en nuestro país y países vecinos son aún pocas y no llegan de ninguna manera a la cifra anterior.

Hay que responder a este miedo entendiendo por producto de madera estructural lo que verdaderamente es: un nuevo material elaborado a partir de dicha materia prima. Es cierto que la madera se conoce desde la antigüedad, pero es ya en este siglo cuando, gracias al desarrollo de la técnica y la industria, los productos de madera estructural pueden hacer frente a los peligros y debilidades que se le asocian.

Tal y como ha quedado visto a lo largo de este documento, existen diversas tipologías constructivas y estrategias estructurales para solventar las limitaciones propias del material aserrado y macizo y permitir la construcción en media y gran altura con estructura de madera. En particular, de acuerdo con el estudio de casos realizado, una de las soluciones que mayor éxito y expansión está teniendo en la construcción de edificaciones en altura es el empleo de paneles de madera contralaminada (CLT). Además, cada vez son más los productos de madera estructural que buscan un hueco en el mercado ofreciendo propuestas fuertemente innovadoras y mejoradas, con un alto grado de industrialización, que hemos podido ya comprobar cómo se van incorporando a la construcción de un mundo cada vez más descarbonizado y sostenible.

Pero, en la actualidad, no es solo el avance de la técnica lo que proporciona confianza, sino que también se cuenta con el respaldo de las normativas y códigos técnicos que hacen de la madera estructural un producto perfectamente válido para los edificios de media y gran altura, convirtiendo este material en una alternativa con aceptación creciente en el mundo de la construcción.

En el caso particular de España, de la importancia que la madera ha tenido en el pasado dan muestra los cientos de edificaciones históricas y cascos urbanos que han hecho uso de este material como elemento estructural; prácticamente en exclusiva para las estructuras horizontales y de cubierta. La inexistencia de una normativa de referencia en la que basar los cálculos y diseños de los proyectos, sumado a la irregularidad del suministro de la madera y algunos negativos factores, hoy superados, a los que nos hemos referido anteriormente, condujeron al paulatino desuso del material. Varias regulaciones y

acuerdos tanto nacionales como internacionales han revertido esta situación en las últimas dos décadas. Cronológicamente, en primer lugar, el Eurocódigo 5, “Proyecto de estructuras de madera. Parte 1-2: Reglas generales. Proyecto de estructuras sometidas al fuego”; más recientemente, ya en España, el Código Técnico de la Edificación (CTE), especialmente el Documento Básico de Seguridad Estructural Estructuras de Madera (DB SE- M), aprobado en 2006. Esta normalización coincide con los esfuerzos de los gobiernos europeos por alcanzar los compromisos del Protocolo de Kyoto (1997), promocionando el uso de la madera por su positivo efecto en la reducción de la huella ecológica dejada por el proceso constructivo.

En otro orden de cosas, la visión del bosque como un ecosistema estático que no debe ser intervenido por el hombre, quizá como respuesta a algunas explotaciones no sostenibles en el pasado o en determinados países, constituye un obstáculo más para la expansión del material objeto de este trabajo. Es de nuevo el desconocimiento el que ve en la tala de árboles un atentado irreparable contra la naturaleza, en vez de una etapa más del positivo proceso circular que garantiza un equilibrio entre protección de la naturaleza y generación de riqueza (Fig. 101).

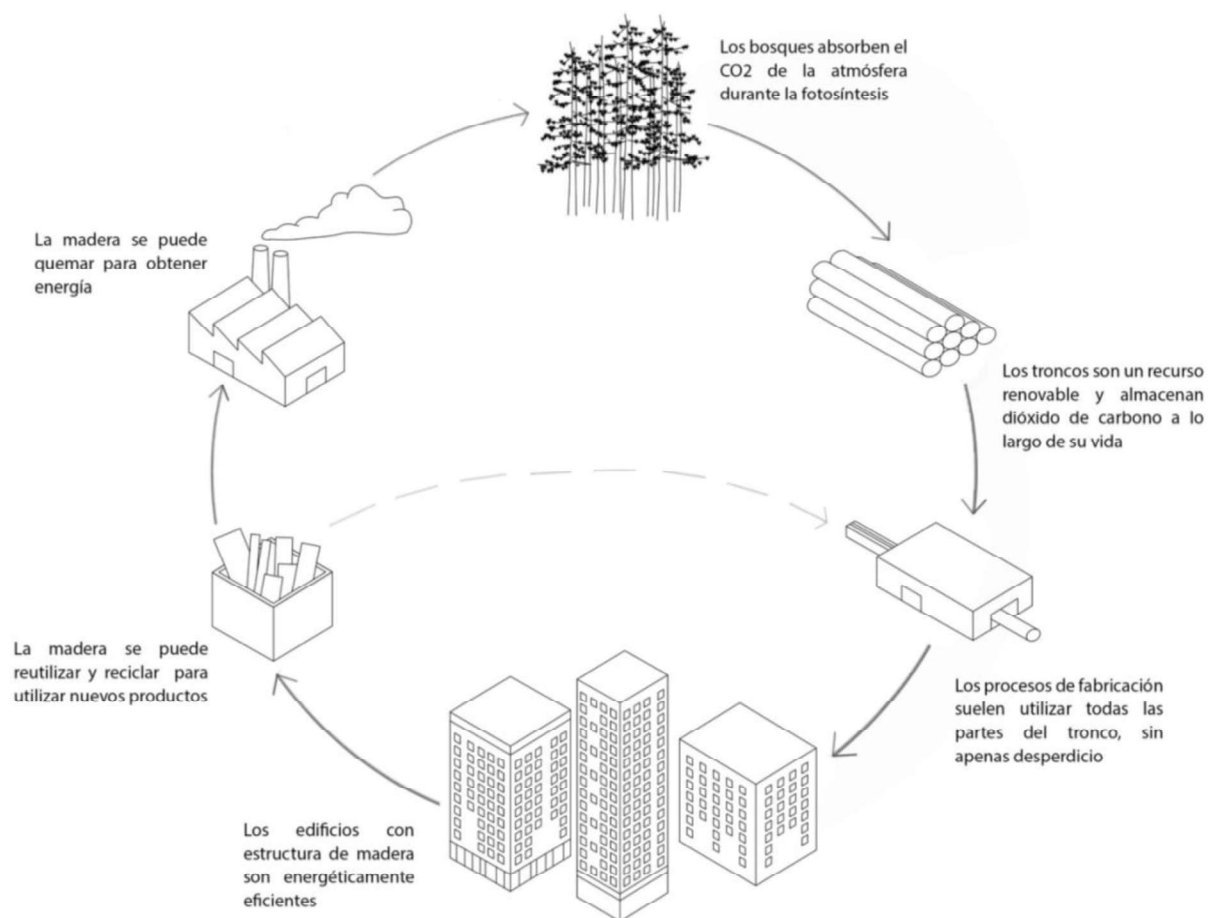


Fig. 101. Esquema del proceso circular de la madera empleada como material de construcción. Fuente: elaboración propia.

Es necesario que las zonas de bosque sean preservadas y crezcan mediante una gestión forestal sostenible, prestando especial atención a sus especies autóctonas, sin hablar de buena o mala madera ya que, la elaboración de los productos de madera estructural tiene en cuenta las diferentes propiedades en función del origen de la materia prima. Un ejemplo es el caso de la madera de eucalipto blanco (*Eucalyptus Globulus*) que, a pesar de tener uno de los mayores potenciales de explotación, su mala fama hace que pase desapercibida como especie a aplicar en estructuras. No obstante, a pesar de las críticas atribuidas a esta especie en particular, en Galicia, un territorio español en el que la madera de eucalipto está muy extendida, se tiene constancia de su empleo como armadura de cubierta del ejemplar edificio denominado Impulso Verde, en Lugo, analizado en este trabajo. Esta iniciativa demuestra de forma fehaciente como desde la investigación y la colaboración entre la administración, la universidad y la empresa se pueden alcanzar importantes objetivos en el camino hacia una construcción más amable con el entorno, dinamizándolo y sirviendo de tractor económico y de empleo en la explotación de recursos naturales.

El desaprovechamiento de los recursos forestales de proximidad además repercute negativamente en las emisiones de CO<sub>2</sub> de la actividad constructiva. Es constatable que actualmente en España la mayor parte de la madera de uso estructural proviene de la importación, de Austria mayoritariamente, y su transporte requiere largos desplazamientos que generan más contaminación que la emitida por el uso de otros productos como el hormigón o el acero, a priori menos sostenibles, pero cuyo impacto medio es en la actualidad comparativamente menor.

Pero no sería esta la única consecuencia del desaprovechamiento de los recursos forestales de proximidad; el precio también es un factor a tener en cuenta porque puede jugar en contra si no se fomenta la explotación forestal autóctona. El transporte de la materia prima desde zonas alejadas incrementa, lógicamente, el coste final del producto.

Una vez introducida la anterior consideración económica, no se puede dejar de mencionar que, al igual que sucede con cualquier otro objeto o servicio en una economía de libre mercado, el precio final estará sujeto también a las fluctuaciones de la oferta y la demanda. Hoy estamos asistiendo a como el precio de la madera estructural está sufriendo un incremento notable gracias a su mayor empleo en edificios como los que han sido objeto de estudio en este trabajo, que no está siendo acompañado por una oferta del mercado de la madera, relativamente estrecho y adormecido por muchos años en los que la escasa demanda ha sacado del sector a múltiples empresas y operarios especializados. Es de esperar que este desequilibrio se corrija pronto en un contexto de mercado libre.

Para cumplir con los objetivos de desarrollo sostenible introducidos en la Agenda urbana 2030 hacen falta agentes económicos y políticos -internacionales, nacionales,



autonómicos y locales- que tomen las decisiones necesarias e implementen medidas para que la construcción sea realmente sostenible. Se requiere una política forestal europea, pensada y diseñada por la gente del territorio, de abajo hacia arriba, que aproveche los recursos propios de cada espacio y genere riqueza para sus habitantes. Se necesitan propuestas y planes de actuación que, respetando el proceso circular anteriormente representado, contrarresten la desconfianza, el recelo y, en definitiva, el desconocimiento de los productos de madera estructural, e impulsen el empleo de la madera en la construcción.

Si se mira al futuro, la madera se presenta como el material de construcción que no solo permitirá mermar la contaminación, sino además hacer frente al modelo de crecimiento de las ciudades de las últimas décadas que apuesta por las construcciones en altura. Como ha quedado visto, la aparición de nuevas técnicas, el desarrollo de las maderas transformadas industrialmente y la preocupación por el medio ambiente están haciendo real la construcción con madera como alternativa con igual o mejor eficiencia que el acero o el hormigón. No solo es evidente el creciente interés por las estructuras de madera en la construcción, sino que hoy asistimos a como los países compiten por conseguir la construcción del rascacielos más alto con estructura de madera.

Se dan a conocer a continuación algunos proyectos que pretenden romper paradigmas y desafiar los límites actuales de la arquitectura en madera, demostrando las posibilidades del material. De materializarse estos proyectos, aun no alcanzando los 828 m del *Burj Khalifa*, en Dubái, el récord mundial hasta la fecha en altura, todos ellos deberían ser legítimamente considerados rascacielos (Fig. 102).

En Estocolmo (Suecia), tres equipos de arquitectos están desarrollando el proyecto de la denominada C.F. Møller Tower, una verdadera torre de 112 m cuya construcción se prevé que se llevará a cabo en un futuro tan inmediato como 2023. Pretende superar esta altura la propuesta, aún en fase de idea, que realizan en París el estudio de Michael Green y el equipo de ingeniería DVVD y asociados para desarrollar el que afirman que será el edificio más alto del mundo: el MGA Baobab, una torre de 35 pisos que alcanzará los 120 m. Con esta obra pretenden dar un empuje a la innovación en estructuras de madera, con Francia a la vanguardia, siguiendo la estela que, hace un siglo y medio, Gustave Eiffel marcó con el acero. También sin fecha, pero previsiblemente en un futuro más lejano, la Torre Barbican Oakwood, en Londres, intentará elevarse hasta los 300 m. Japón se ha atrevido a poner fecha -año 2040- al proyecto de Sumitomo Forestry, el edificio W350, que toma precisamente su nombre de los 350 m de altura previstos.

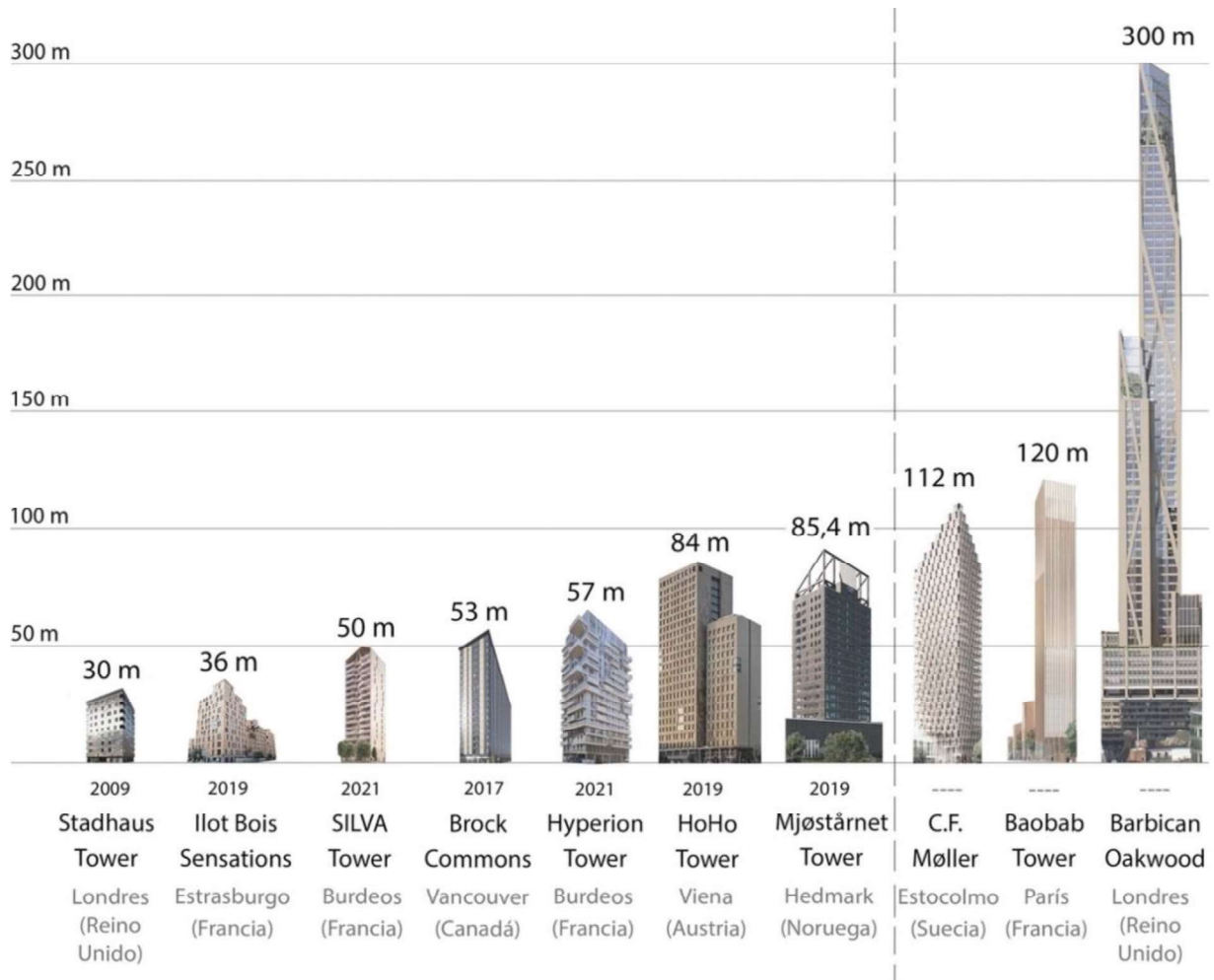
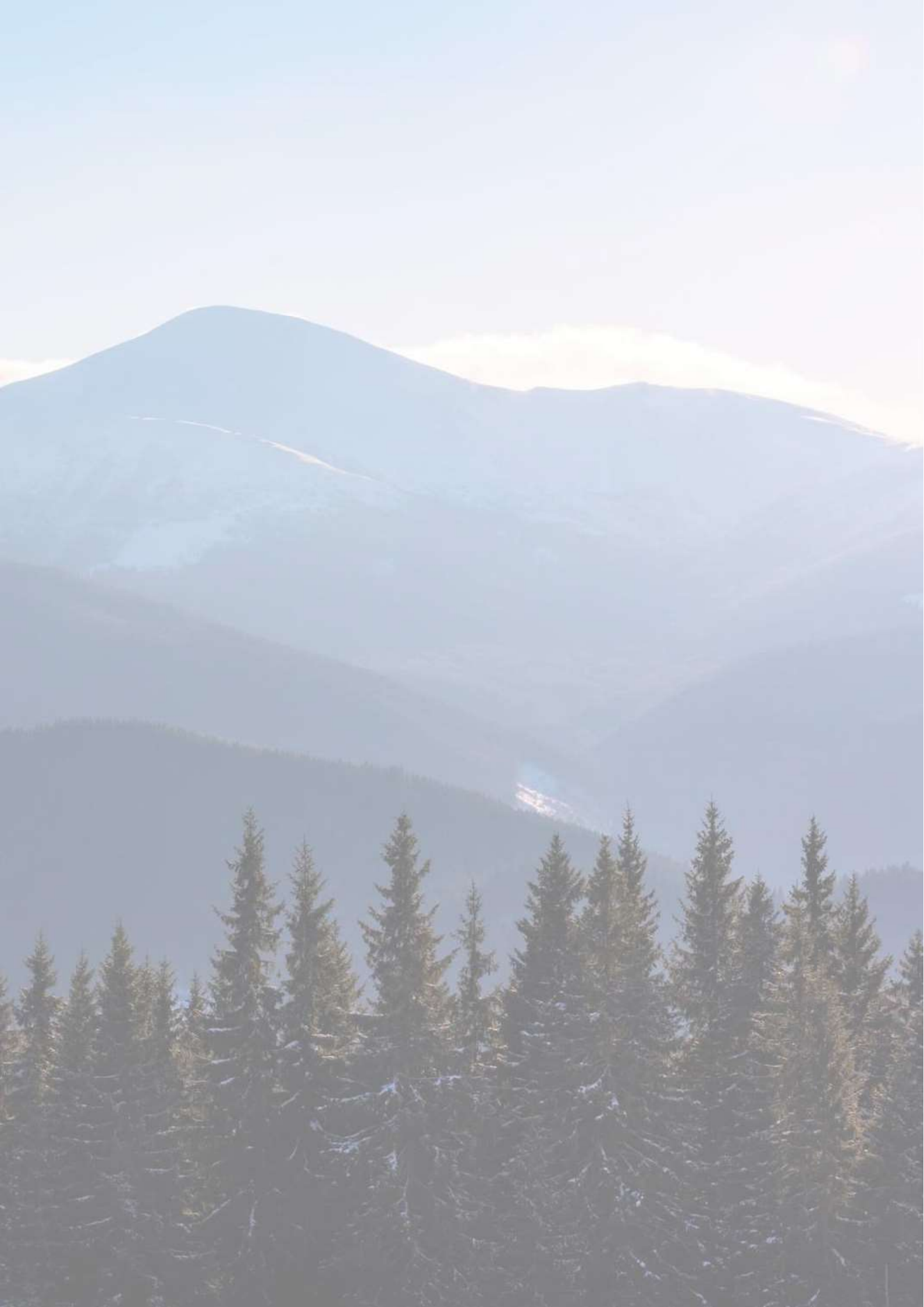


Fig. 102. Lista de los edificios más altos del mundo en madera y proyectos de futuro. Fuente: elaboración propia.

Para concluir, una última reflexión a modo de punto final. Todo lo expuesto a lo largo de este trabajo permite afirmar que las estructuras actuales de madera en altura recuperan, tras su proceso de manufactura, las propiedades intrínsecas de la materia primigenia. Al igual que el árbol se desarrolla en vertical y la resistencia a las cargas horizontales forma parte de su misma esencia, también las edificaciones en altura conservarían esta propiedad. La ciudad de madera estructural sería un perfecto reflejo del bosque y su contribución al medioambiente. Bajo esta perspectiva, la ciudad ya no debería ser vista inevitablemente como algo artificial y contaminante, contrapuesto a una naturaleza deseada, sino como aquello en lo que se habría convertido: un auténtico bosque urbano.



## Bibliografía

Anon., 1999. Producto estructural basado en chapas de madera LVL. *Boletín oficial de información técnica*, Issue 198, pp. 15-18.

Anon., 2008. Productos de madera para la arquitectura. *Boletín de información técnica de AITIM*.

Anon., 2012. *Directiva 2012/27/UE del Parlamento europeo y del consejo.*, s.l.: Diario Oficial de la Unión Europea..

Anon., 2014. *UNE-EN 16449. Madera y productos derivados de la madera. Cálculo del contenido en carbono iogénico de la madera y convesión en dióxido de carbono.*, s.l.: AENOR.

Anon., 2018. *Plan de acción para la implementación de la Agenda 2030. Hacia una Estrategia Española de Desarrollo Sostenible*, Madrid: Dirección General de Políticas de Desarrollo Sostenible. Secretaría de Estado de Cooperación Internacional y para Iberoamérica y el Caribe. Ministerio de Asuntos Exteriores, Unión Europea y Cooperación.

Anon., s.f. s.l.:s.n.

Arriaga, F., Esteban, M. & Íñiguez, G., 2010. *Guía de construir con madera. Capítulo 1. Productos de madera para la construcción. Documento de aplicación del CTE.* s.l.:CONFEMADERA.

Arroyo, L., 2020. *Vulnerabilidad del gótico al fuego. Intervenciones en cubiertas de catedrales góticas incendiadas.*, s.l.: Universidad Politécnica de Madrid..

Baño, V. & Moltini, g., 2021. Experimental and numerical analysis of novel adhesive-free structural floor panels (TTP) manufactured from timber-to-timber joints. *Journal of Building Engineering*, Issue 35.

Basterra, L., 2012. *Construcción de estructuras de madera.* 2ª ed. Valladolid: Universidad de Valladolid, Secretariado de Publicaciones e Intercambio Editorial, D.L. ISBN: 978-84-8448-706-7.

Bernabeu, A., 2007. *Estrategias de diseño estructural en la arquitectura contemporánea. El trabajo de Cecil Balmond.*, Madrid: s.n.

Brandner, R., 2013. *Production and Technology of Cross Laminated Timber (CLT): A state-of-the-art Report.* Graz: s.n.

Carcacía, M., 2011. *Tocando el cielo. Estudio comparativo de sistemas constructivos en madera para edificios de más de tres plantas.*, s.l.: Universitat Politècnica de Catalunya.



- Cobrerros, M., 1999. Tipologías estructurales de edificios en altura. *Star: structural architecture*, Volumen 3ª Edición, pp. p. 5 - 78.
- Cuadrado, M., 2020. *Comparativa entre los orígenes de la edificación en altura en acero y primeros proyectos en madera constralaminada*, s.l.: Universidad de Valladolid..
- Daniel, K., 2018. *Crónica ONU. Las ciudades desempeñarán un papel importante en la consecución de los Objetivos de Desarrollo Sostenible*. [En línea].
- Estepa, R., 2015. *Chapiteles del siglo XVI al XVIII en Madrid y su entorno.*, Madrid: Universidad Politécnica de Madrid..
- Falk, A., Dietch, P. & Schmid, J., 2016. *Cross laminated timber. A competitive wood product for visionary and fire safe buildings*. ISBN: 978-91-7729-043-8 ed. Stockholm, Sweden: s.n.
- Fleming, P., Smith, S. & Ramage, M., 2014. Measuring-up in timber: A critical perspective on mid- and high-rise timber building design.. *Architectural Research Quartely*, 18(1), pp. 20-30.
- Fujita, K., Hanazato, T. & Sakamoto, I., 2004. *Earthquake response monitoring and seismic performance of five-storied timber pagoda.*, Vancouver, B.C., Canada.: In 13th World Conference on Earthquake Engineering..
- Galván, J., 2017. *Sostenibilidad y durabilidad de elementos estructurales superficiales en base madera: el caso del CLT*, Madrid: s.n.
- García, F., 1998. La Pagoda Budista en los Templos Japoneses. En: *Laboratorio de Arte*. Sevilla: Reista del Departamento de Historia del Arte. ISSN: 1130-5762, pp. 167-181.
- García, G., 2009. *Origen y evolución de la cercha*, s.l.: Universidad Politécnica de Madrid..
- García, I., 2006. Las estructuras de entramado: composición y orígenes. *ReCoPar*, Issue 2.
- García, L., 1999. Historia de la tecnología de la madera. *Boletín de Información Técnicas. AITIM*, Issue 198, pp. 67-71.
- García, M., 2016. *Madera Laminada. El material del siglo XXI.*, s.l.: Universidad Autónoma de Madrid..
- Green, M., 2012. The case for tall wood buildings: How Mass Timber Offers a Safe, Economical, and Environmentally Friendly Alternative for Tall Building Structures.
- Green, M., 2013. *Why we should build skyscrapers*, s.l.: TED video. Retrieved from [https://www.youtube.com/watch?v=Xi\\_PD5aZT7Q&t=315s..](https://www.youtube.com/watch?v=Xi_PD5aZT7Q&t=315s..)
- Green, M., 2017. *The case for tall wood buildings: How Mass Timber Offers a Safe, Economical, and Environmentally Friendly Alternative for Tall Building Structures*. s.l.:Blurb.

- Gómez, I., 2006. *Las estructuras de madera en los Tratados de Arquitectura (1500-1810)*. Madrid: AITIM.
- Hall, P., 1998. *Cities in Civilization. Sir Peter Hall..* s.l.:Pantheon Books.
- Harte, A., 2017. Mass Timber - the emergence of a modern construction material. *Journal of Structural Integrity and Maintenance* 2, DOI: 10.1080/24705314.2017.1354156 DOI, 2(3), pp. 121-132.
- Herzog, T. y otros, 2004. *Timber Construction Manual*. Berlín: Birkhäuser.
- Hurtado, P., 2009. Las bóvedas de madera en los tratados de arquitectura. Volumen nº260, pp. 99-114.
- Inat, S., 2011. *Sistema de plataforma con entramado ligero de madera . Puesta en obra y aceptación en España..* s.l.:s.n.
- Jordahl, A., 1999. Historia de los orígenes y primeros desarrollos. *Boletín de Información técnica. AITIM*, Issue 198, pp. 29-34.
- Leser, H., 2000. El sistema constructivo Ballon-Frame. Características básicas de la construcción tradicional en madera y su evolución histórica reciente.. *Revista de Arquitectura*, Issue 10 (11), pp. 18-21.
- Müller, C., 2000. *Holzleimbau. Laminated Timber Construction*, Birkhäuser: s.n.
- Marcos, I., San Jose, J., Cuadrado, J. & Larrinaga, P., 2014. Las patentes en la introducción del hormigón armado en España. *Informes de la Construcción*, abril-junio.Volumen 66.
- Martínez, J., 2018. *Madera en altura..* s.l.: Universidad Politécnica de Madrid..
- Nájera, F., 1944. *La Evolución de la técnica en el empleo y aplicaciones de la madera en construcción*. Madrid: Instituto forestal de Investigaciones y experiencias.
- Nuere, E., 2000. *La carpintería de armar española*. 2ª edición ed. Madrid: Munilla-Lería. ISBN: 84-89150-37-0.
- Orta, B., Martínez-Gayá, J., Cervera, J. & Aira, J., 2020. Timber high rise, state of the art.. *Informes de la Construcción*, 72(558, e346).
- Palladio, A., 1570. I Quattro Libri dell'Architettura di Andrea Palladio.. En: Venecia: Ediciones Akal. Madrid 1998 <https://bvpb.mcu.es/es/consulta/registro.do?id=452406>.
- Pedreño, F., 2007. La basílica Romana en época Republicana. *Panta Rei. Revista de ciencia y didáctica de la historia..* Issue II - 2ª época, pp. 137-153.
- Serrano, E., 2000. *Adhesive Joints in timber Engineering - Modelling and testing of fracture properties*, Lund, Sweden: KFS i Lund AB.

Sevilla, R., 2018. *La madera laminada en la arquitectura. Del Antiguo Egipto al CNC.*, s.l.: Universidad Politécnica de Madrid.

Somoza, L., 1986. La madera laminada encolada: historia y definición. *Boletín académico ISSN 0213-3474*, Issue 5, pp. 41-45.

Turan, M., 2009. Reconstructing the balloon frame: a study in the history of architectonics. pp. 175-209.

UNECE/FAO, 2020. *Forest Products. Annual Market Review 2019-2020*. Ginebra: s.n.

Valenzuela, A., 2015. Las patentes de hormigón armado. Del gran negocio al desarrollo tecnológico. Los antecedentes del Movimiento Moderno.. *Rita*, ISSN: 2340-9711(3), pp. 134- 145.

Van de Kulien, J., Ceccotti, A., Xia , Z. & He, M., 2011. Very Tall Wooden Buildings with Cross Laminated Timber. *ScienceDirect*, 14(ISSN 1877-7058), pp. 1621-1628.

Vitrubio, M., 1995. *Los Diez Libros de Arquitectura*. Madrid: Alianza Editorial.

WoodWorks & Wood, T., 2021. *Mass Timber Design Manual*. Clemson: Clemson University Semeca, N.C..











