

SISTEMAS ESTRUCTURALES DE MADERA LAMINADA ENCOLADA Y CONTRALAMINADA (MLE Y CLT)

Scotti Vidal, Alfredo Manuel
Ingeniero Civil
SVAM Ingeniería y Construcción
info@svamingenieria.com

RESUMEN

Este trabajo forma parte de una tesis de maestría que explora el potencial de utilizar la madera laminada encolada (MLE) y contralaminada (CLT) como sistemas estructurales principales para edificios de altura en Argentina. La tesis responde a la necesidad urgente de reducir las emisiones globales de gases de efecto invernadero generadas por la industria de la construcción.

Gracias a los avances tecnológicos en la industrialización de la madera, en las últimas décadas se ha comenzado a diseñar y construir edificios de madera en todo el mundo. En Argentina, la escasez de proyectos de este tipo presenta una oportunidad única para aplicar los hallazgos de este estudio y fomentar el desarrollo sostenible en el país.

El trabajo examina proyectos construidos y en construcción en diversas partes del mundo que utilizan MLE y CLT como estructuras principales, con el objetivo de identificar mejores prácticas y lecciones aprendidas a nivel internacional. Los resultados de este estudio contribuirán a la implementación exitosa de la madera en futuros proyectos de edificios de altura en Argentina.

ABSTRACT

This work is part of a master's thesis that explores the potential of using glued laminated timber (GLT) and cross-laminated timber (CLT) as primary structural systems for high-rise buildings in Argentina. The thesis addresses the urgent need to reduce global greenhouse gas emissions generated by the construction industry.

Thanks to technological advances in wood industrialization, the past decades have seen the design and construction of timber buildings worldwide. In Argentina, the scarcity of such projects presents a unique opportunity to apply the findings of this study and promote sustainable development in the country.

The work examines completed and ongoing projects in various parts of the world that use GLT and CLT as main structures, with the aim of identifying best practices and lessons learned internationally. The results of this study will contribute to the successful implementation of timber in future high-rise building projects in Argentina.

Organiza:

INTRODUCCIÓN

Para mitigar los efectos del cambio climático, es fundamental reducir las emisiones de dióxido de carbono de la industria de la construcción. Aproximadamente el 50% de estas emisiones se generan durante la etapa de fabricación de los materiales, así como en el transporte y montaje de las estructuras.

Gracias a la industrialización y a la investigación continua, la madera ha sido revitalizada como un material de construcción competitivo frente a materiales tradicionales como la mampostería, el acero y el hormigón. En los últimos 20 años, se han desarrollado proyectos de estructuras de madera cada vez más ambiciosos y de mayor tamaño.

Este aumento en la cantidad de proyectos de estructuras de madera ha generado un crecimiento sostenido en la demanda de productos estructurales de madera, lo que ha impulsado la necesidad de contar con plantaciones de árboles sustentables.

Durante los últimos 10 años, ha habido un creciente interés en edificios altos contruidos con *mass timber* como un medio para lograr una mayor densidad urbana con una construcción más sostenible. En todo el mundo, ahora hay docenas de edificios con más de siete pisos de construcción de madera.

El IBC 2021 ha introducido tres nuevos tipos de construcción (IV-A, IV-B y IV-C) que permiten el uso de *mass timber* y materiales no combustibles para construir edificios más altos de lo que antes se permitía: Tipo IV-A: Edificios de hasta 18 pisos. Tipo IV-B: Edificios de hasta 12 pisos. Tipo IV-C: Edificios de hasta 9 pisos.

Estos nuevos tipos de construcción están basados en el tipo de construcción de madera pesada anterior, conocido como Tipo IV, que en el IBC de 2021 se renombró a Tipo IV-HT (Heavy Timber). Sin embargo, los nuevos tipos tienen requisitos adicionales relacionados con la resistencia al fuego y el uso de protección no combustible para garantizar la seguridad.¹

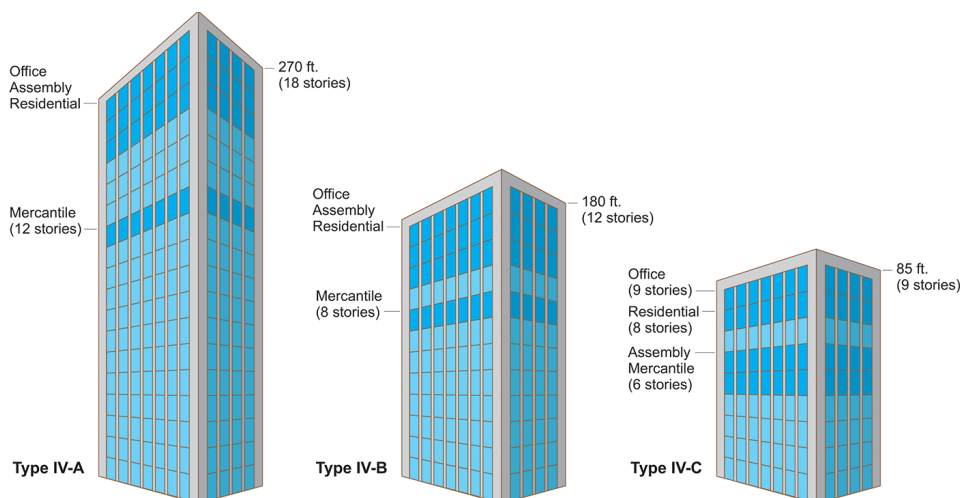


Figura 1: límites de altura para los nuevos tipos de construcción.

Organiza:

MADERA COMO MATERIAL SUSTENTABLE

El acero y el concreto representan el 8% (3% y 5% respectivamente) de las emisiones globales de gases de efecto invernadero, con casi la mitad de las emisiones de CO₂ relacionadas con la industria de la construcción. Comparativamente, la industria del transporte produce el 33%.

La madera, alimentada por el sol, es el único material de construcción que crece de manera sostenible, liberando oxígeno y absorbiendo CO₂. Un metro cúbico de madera puede almacenar una tonelada de CO₂. En comparación, el uso de madera en lugar de concreto o acero reduce las emisiones de CO₂ de un edificio en un 50%.

Enfrentar el cambio climático requiere materiales que reduzcan y almacenen CO₂, y la madera ofrece una solución eficaz y sostenible para la construcción.

MADERA LAMINADA ENCOLADA (MLE)

La madera laminada encolada, también conocida como glulam (del inglés "glued laminated timber"), se compone de varias capas de madera unidas con adhesivos estructurales. Cada capa, o lámina, se coloca con su fibra paralela a la siguiente, formando un elemento estructural que puede soportar grandes cargas. La MLE ofrece una alta resistencia y estabilidad dimensional, permitiendo la creación de elementos de formas variadas y tamaños significativos, como vigas largas y arcos curvados. Esta tecnología se utiliza frecuentemente en puentes, techos y grandes espacios abiertos debido a su capacidad para cubrir grandes luces sin necesidad de soportes intermedios.



Figura 2: Madera laminada encolada (MLE).

MADERA CONTRALAMINADA (CLT)

La madera contralaminada, conocida como CLT (del inglés "cross-laminated timber"), es un panel multicapa compuesto por láminas de madera dispuestas perpendicularmente entre sí y unidas con adhesivos. Este diseño cruzado otorga a los paneles CLT una gran rigidez y estabilidad en ambas direcciones, lo que los convierte en una excelente opción para paredes, pisos y techos. Los paneles CLT son prefabricados, lo que permite una construcción rápida y eficiente en el sitio, además de reducir el desperdicio de material. Este sistema ha ganado popularidad en la

Organiza:

construcción de edificios de mediana y gran altura gracias a su capacidad para soportar cargas pesadas y su desempeño sísmico favorable.

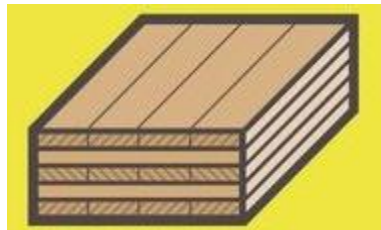


Figura 3: Madera contralaminada (CLT).

VENTAJAS Y DESVENTAJAS

Ventajas:

1. **Precisión en las piezas:** la fabricación de MLE y CLT permite alcanzar una precisión milimétrica en las piezas terminadas, logrando tolerancias del orden del medio milímetro.
2. **Velocidad de montaje:** la rapidez en el ensamblaje de las estructuras de MLE y CLT es notable, lo que reduce significativamente los tiempos de construcción.
3. **Economía en el transporte:** debido al pequeño tamaño y peso de las cargas, los costos de transporte se ven considerablemente reducidos en comparación con otros materiales tradicionales.
4. **Retención de carbono:** dado que estos sistemas requieren un mayor volumen de madera, la cantidad de carbono retenido en la estructura es considerable, contribuyendo a la mitigación del cambio climático.
5. **Reducción del volumen de las fundaciones:** el uso de MLE y CLT permite reducir el volumen de las fundaciones, lo que conlleva una disminución del movimiento de suelo y del consumo de cemento y áridos, beneficiando tanto al medio ambiente como a los costos del proyecto.

Desventajas:

1. **Costo inicial:** aunque los costos a largo plazo pueden ser menores, la inversión inicial en materiales y tecnología para MLE y CLT puede ser alta en comparación con los métodos de construcción tradicionales.
2. **Disponibilidad de materia prima:** la disponibilidad de madera adecuada y certificada puede ser un desafío, especialmente en regiones donde la industria maderera no está tan desarrollada.
3. **Capacitación especializada:** la construcción con MLE y CLT requiere de mano de obra especializada y capacitación específica, lo que puede limitar su implementación inmediata.

Organiza:

4. **Protección contra el fuego:** aunque la madera laminada ofrece una buena resistencia al fuego, las normativas y percepciones sobre su uso en edificaciones de gran altura pueden requerir medidas adicionales de protección.
5. **Sensibilidad a la humedad:** la madera, aunque tratada y protegida, es susceptible a la humedad y debe ser adecuadamente diseñada y mantenida para evitar problemas de deterioro.

SISTEMAS ESTRUCTURALES

Dado el creciente uso de la madera en proyectos estructurales a nivel mundial, es pertinente explicar los principales sistemas adoptados y sus características, ejemplificando con estructuras ya construidas en distintas partes del mundo. Este uso se vuelve cada vez más frecuente, acompañado de proyectos con mayor cantidad de pisos, sustentados en la experiencia de proyectos anteriores y en las actualizaciones reglamentarias necesarias en los códigos de edificación que permiten construir estas estructuras.

Fuera de las construcciones tradicionales de entramados livianos, comúnmente de hasta cuatro plantas, las estructuras de madera para edificios actuales se dividen principalmente en dos categorías: estructuras 100% de madera e híbridas. Estas últimas combinan la estructura de madera con otros elementos, como el hormigón o el acero, para conferir capacidad portante o estabilidad transversal a la estructura.

En algunos casos, se utilizan losas de hormigón armado en plantas superiores para otorgar masa a la estructura y lograr su estabilidad. También se puede realizar una estructura de columnas y vigas de acero u hormigón, utilizando sólo tableros de madera para el sistema de pisos o muros de cerramiento.

Estas estructuras, sean híbridas o no, generalmente se desarrollan con una primera planta de hormigón, así como los subsuelos. Esto se debe a la necesidad de alejar lo máximo posible la madera de la humedad que podría afectar la base del suelo. Además, en ocasiones se necesita una planta de apeos entre las plantas superiores, generalmente para viviendas u oficinas, y las plantas inferiores destinadas a comercios. En ciertos casos, debido a las grandes cargas, resulta antieconómico realizar la estructura de la planta baja con elementos de madera.

Independientemente del sistema mencionado, gracias a la industrialización, existen proyectos donde la estructura está compuesta por módulos autoportantes, o estructuras portantes a las acciones horizontales y los módulos, donde los módulos tridimensionales son fabricados en planta, transportados al sitio y luego montados conforme avanza la construcción.

Organiza:

CASOS DE ESTUDIO

Un resumen de algunos de los proyectos más importantes en el mundo.

1. E3 Berlin

- Primer edificio de 7 pisos construido con madera como elemento estructural predominante.
- **Año de comienzo y finalización de obra:** 2007 – 2008 (9 meses totales)
- **Ubicación:** Berlín, Alemania
- **Cantidad de pisos:** planta baja y 6 pisos
- **Sistema estructural utilizado:** se emplea un sistema estructural híbrido que combina hormigón armado y madera. Los elementos de hormigón armado incluyen: Núcleo de circulación vertical. Pasarela de circulación. Muro medianero opuesto. Dos cajas de instalaciones, que se conectan en todos los pisos mediante una losa de hormigón armado que se une al muro medianero.
- El resto del edificio se construye en madera utilizando: Sistema de poste y viga en MLE (con secciones de 32 x 36 cm). Paneles de cerramiento vertical en CLT (de 160 mm). Y paneles de piso también realizados en CLT.
- Además, el núcleo de circulación vertical cuenta con cruces de San Andrés metálicas. El muro del contrafrente también presenta una cruz de San Andrés realizada en acero.
- **Altura del proyecto:** 25.00 m
- **Superficie total:** 970 m²
- **Cantidad de CO₂ retenido:** -

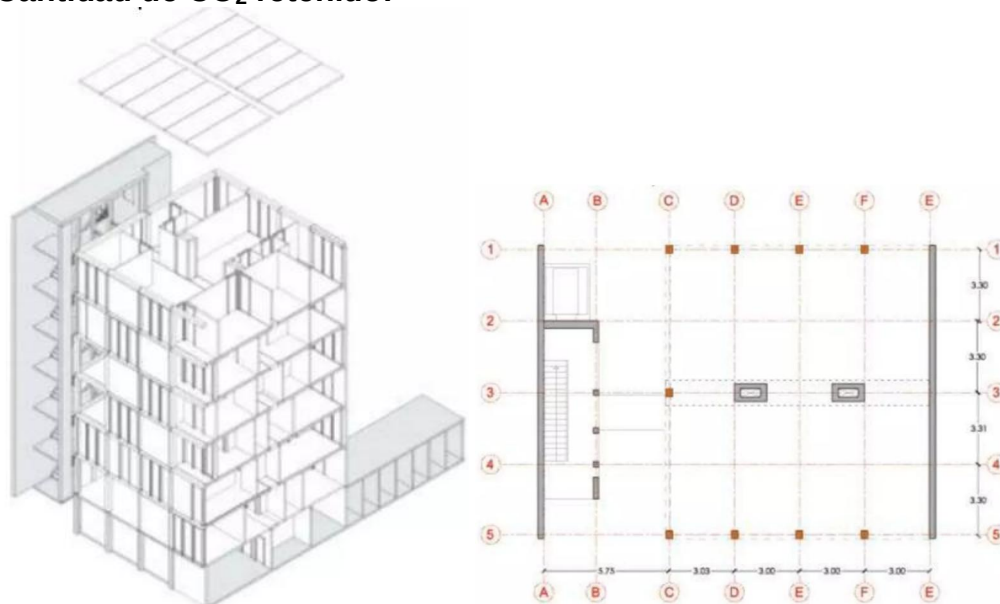


Figura 4: vista isométrica y planta estructural.

Organiza:

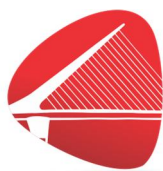


Figura 5: vista aérea durante la construcción.

2. Stadthaus

- Primer edificio de 9 pisos construido en madera utilizando paneles de CLT
- **Año de comienzo y finalización de obra:** 2007 – 2009 (9 meses totales)
- **Ubicación:** Londres, Inglaterra
- **Cantidad de pisos:** planta baja y 8 pisos
- **Sistema estructural utilizado:** se construyó enteramente en madera utilizando paneles de CLT verticales para soportar las cargas verticales y horizontales. Y se utilizando paneles CLT horizontales como sistema de piso.
- **Altura del proyecto:** 30.30 m
- **Superficie total:** 2.890 m²
- **Cantidad de CO₂ retenido:** 185 toneladas

Organiza:



28°
JORNADAS
ARGENTINAS
**DE INGENIERÍA
ESTRUCTURAL**
18 al 21 de septiembre de 2024 / CABA

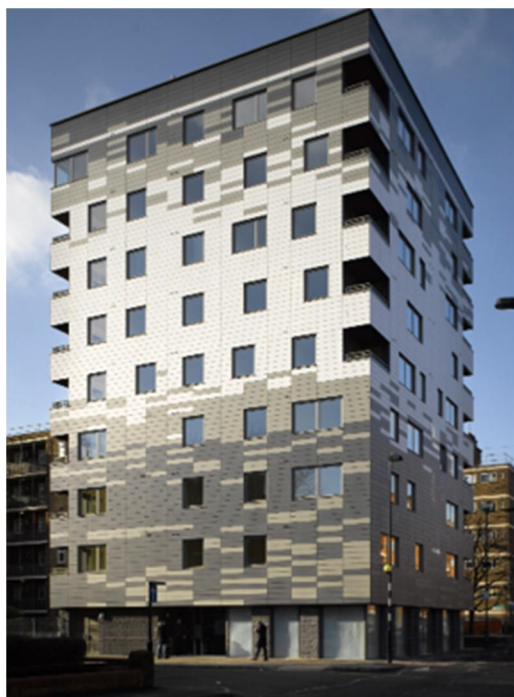


Figura 6: edificio terminado y corte transversal.

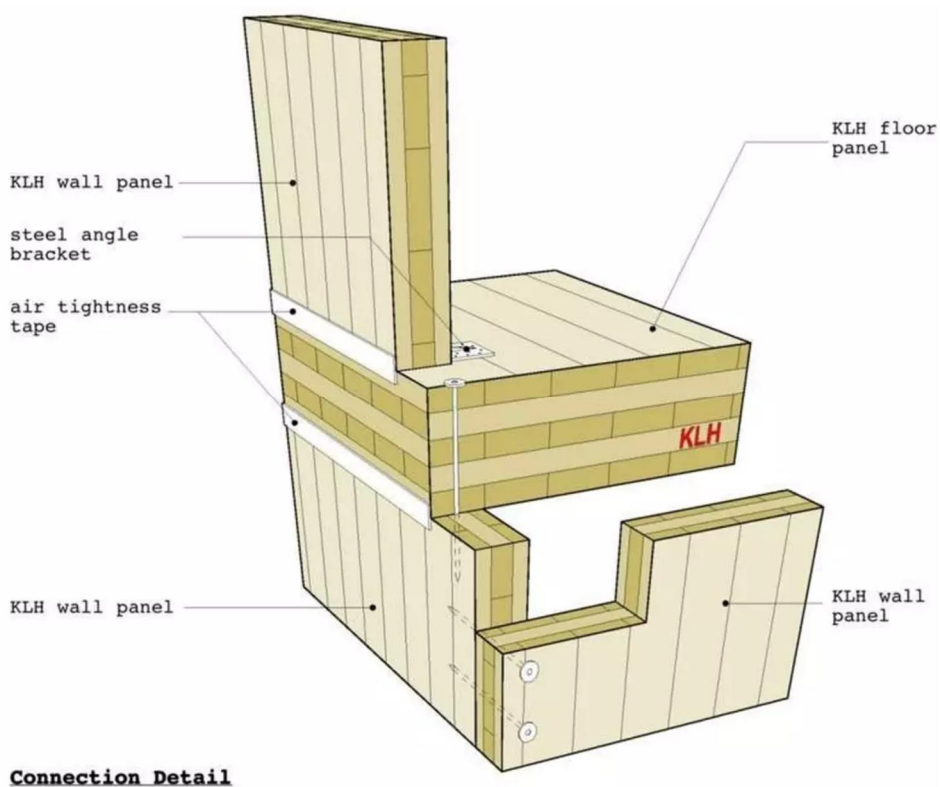


Figura 7: detalle de unión entre paneles de esquina.

Organiza:



Asociación de Ingenieros
Estructurales
ARGENTINA

Tel/Fax: [+54] 11 5252.8838 | Whatsapp: [+54 9] 11 3180.3746 | Hipólito Yrigoyen 1144 Piso 1° - Of. 2 | Buenos Aires
Horario de atención: de lunes a viernes de 13:00 a 18:00 hs. | Mail: info@jornadasaie.org.ar - www.jornadasaie.org.ar

3. Forté

- Primer edificio de 10 pisos construido con madera
- **Año de comienzo y finalización de obra:** 2011 – 2012
- **Ubicación:** Melbourne, Australia
- **Cantidad de pisos:** planta baja en hormigón y 9 pisos de madera
- **Sistema estructural utilizado:** se utiliza un sistema estructural híbrido con una planta baja de hormigón y una estructura principal de CLT para los pisos superiores. Con un núcleo de elevación vertical construido con paneles CLT.
- **Altura del proyecto:** 32.17 m
- **Superficie total:** 9.000 m²
- **Cantidad de CO₂ retenido:** 760 toneladas



Figura 8: estructura Forté Living.

4. Treet (The Tree)

- **Año de comienzo y finalización de obra:** 2014 – 2015
- **Ubicación:** Bergen, Noruega
- **Cantidad de pisos:** subsuelo en hormigón, planta baja en hormigón y 14 pisos de madera

Organiza:

- **Sistema estructural utilizado:** el edificio cuenta con un subsuelo de hormigón y una estructura principal diseñada para soportar cargas verticales y horizontales. Esta estructura está compuesta por columnas, vigas y diagonales de MLE, complementada por losas prefabricadas de hormigón. Estas losas, dispuestas en cinco niveles, sirven como soporte para los módulos superiores, aportan masa a la estructura para mejorar su comportamiento dinámico y actúan como elementos de cubierta durante la etapa de construcción. La estructura se completa con módulos habitacionales de CLT, que son autoportantes y capaces de soportar hasta 4 niveles.
- **Altura del proyecto:** 52.8 m
- **Superficie total:** 5.830 m²
- **Cantidad de CO₂ retenido:** 2.000 toneladas

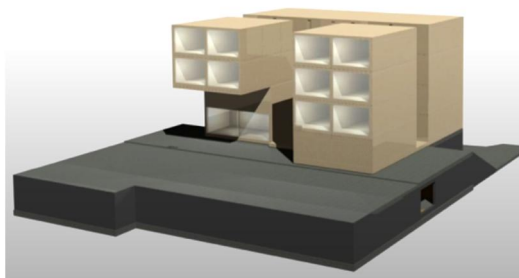
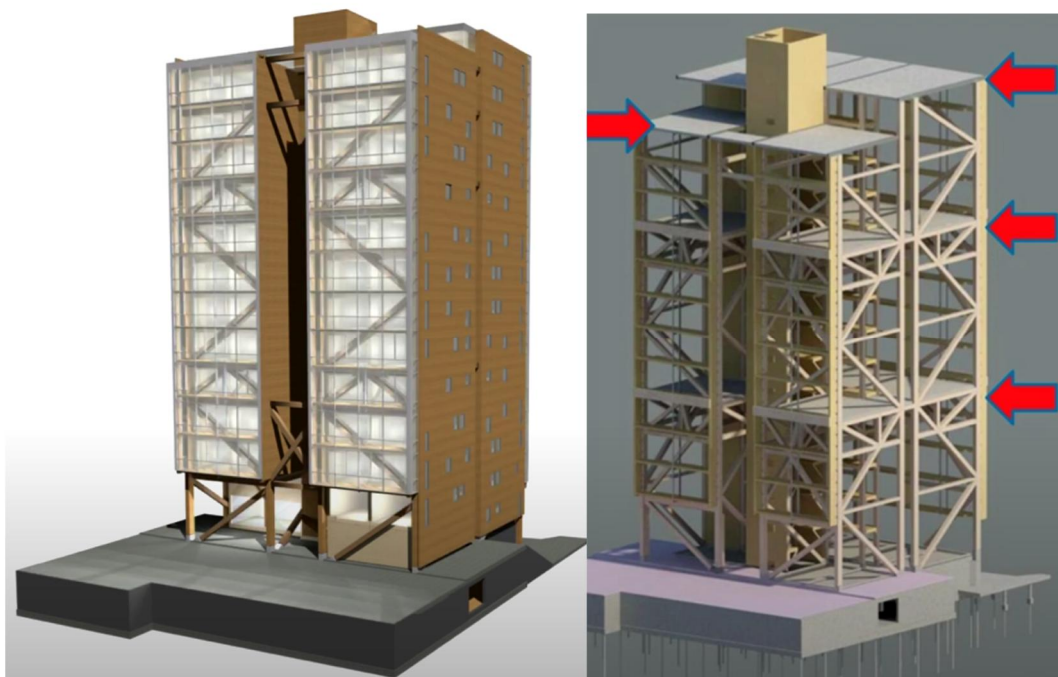


Figura 9: primer bloque de módulos.



Organiza:

Figura 10: Estructura finalizada y niveles donde ubican las losas prefabricadas.

5. Dalston Works

- **Año de comienzo y finalización de obra:** 2015 – 2017
- **Ubicación:** Hackney, Londres, Inglaterra
- **Cantidad de pisos:** subsuelo en hormigón, planta baja en hormigón y 9 pisos de madera
- **Sistema estructural utilizado:** se utiliza un sistema estructural híbrido con una subsuelo y planta baja de hormigón, junto con una estructura principal de CLT para los pisos superiores. Con un núcleo de elevación vertical construido con paneles CLT.
- **Altura del proyecto:** 33.8 m
- **Superficie total:** 14.420 m²
- **Cantidad de CO₂ retenido:** 3.756 toneladas

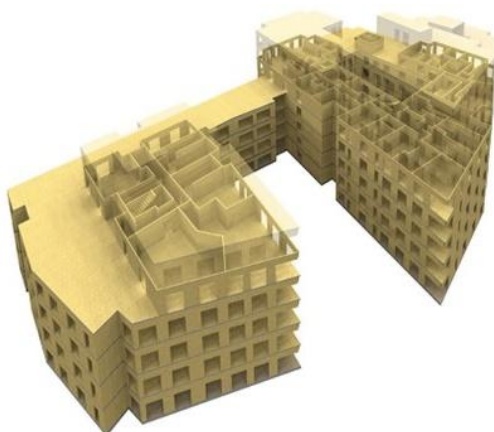


Figura 11: modelo 3D de la estructura de madera.



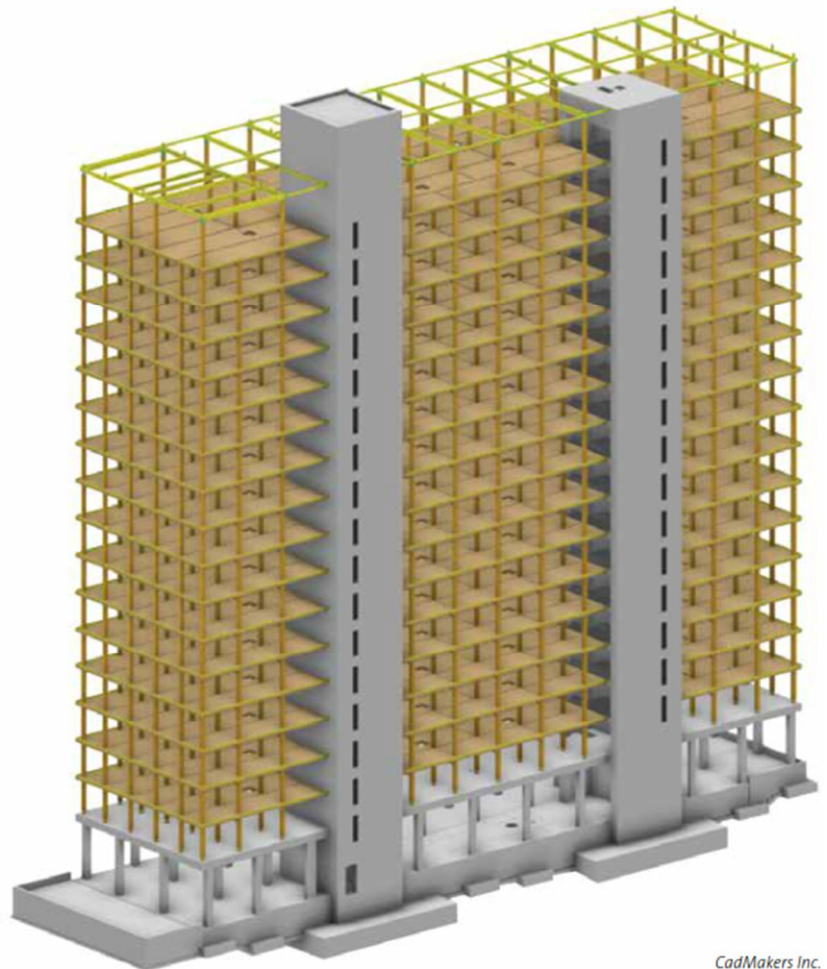
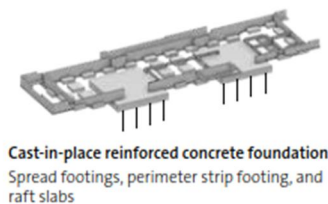
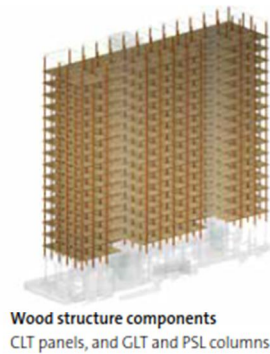
Organiza:

Figura 12: corte transversal del edificio.

6. Brock Commons Tallwood House

- **Año de comienzo y finalización de obra:** 2015 – 2017
- **Ubicación:** Vancouver, Canadá
- **Cantidad de pisos:** planta baja en hormigón y 17 pisos de madera
- **Sistema estructural utilizado:** sistema híbrido compuesto por planta baja y dos núcleos de circulación vertical diseñados en hormigón premoldeado. Los pisos restantes se diseñan con estructura de madera, columnas de MLE y sistema de piso con CLT. En la última planta se colocan vigas metálicas, para la cubierta liviana.
- **Altura del proyecto:** 54.0 m
- **Superficie total:** 15.120 m²
- **Cantidad de CO₂ retenido:** 1.753 toneladas

HYBRID STRUCTURAL SYSTEM



CadMakers Inc.

Figura 13: modelo 3D de la estructura.

Organiza:

7. HoHo Vienna

- **Año de comienzo y finalización de obra:** 2017 – 2019
- **Ubicación:** Vienna, Austria
- **Cantidad de pisos:** un subsuelo y 24 pisos
- **Sistema estructural utilizado:** sistema híbrido compuesto dos núcleos verticales de hormigón armado, columnas y tabiques en madera de MLE y CLT respectivamente, vigas perimetrales de hormigón premoldeado y un sistema de piso compuesto de losas de hormigón y paneles de CLT.
- **Altura del proyecto:** 84.0 m
- **Superficie total:** 25.000 m²
- **Cantidad de CO₂ retenido:** -



Figura 14: estructura sobre nivel de terreno.

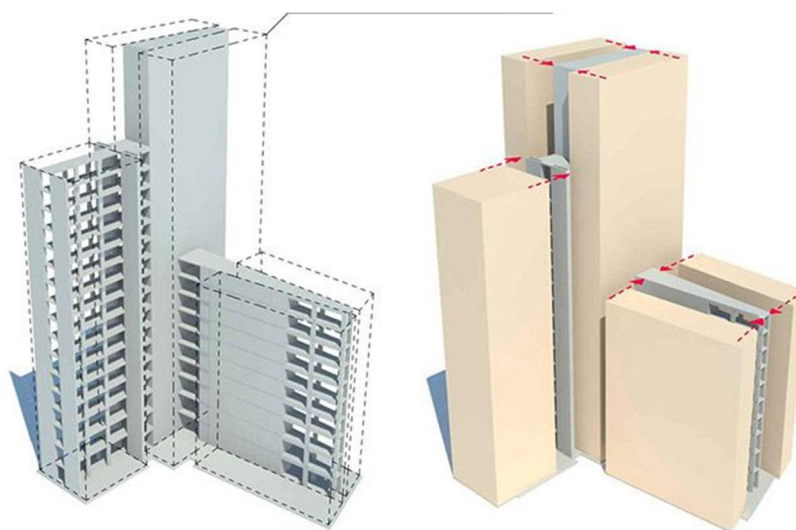


Figura 15: composición por materiales de la estructura.

Organiza:

Las dimensiones típicas de los elementos fueron paneles de pared de 4.8 x 3.5 m. Columnas de madera de 40x40 y 40x108. Vigas de hormigón prefabricadas de 40x60. Y paneles de piso híbridos de 2.4 x 7.0 m.

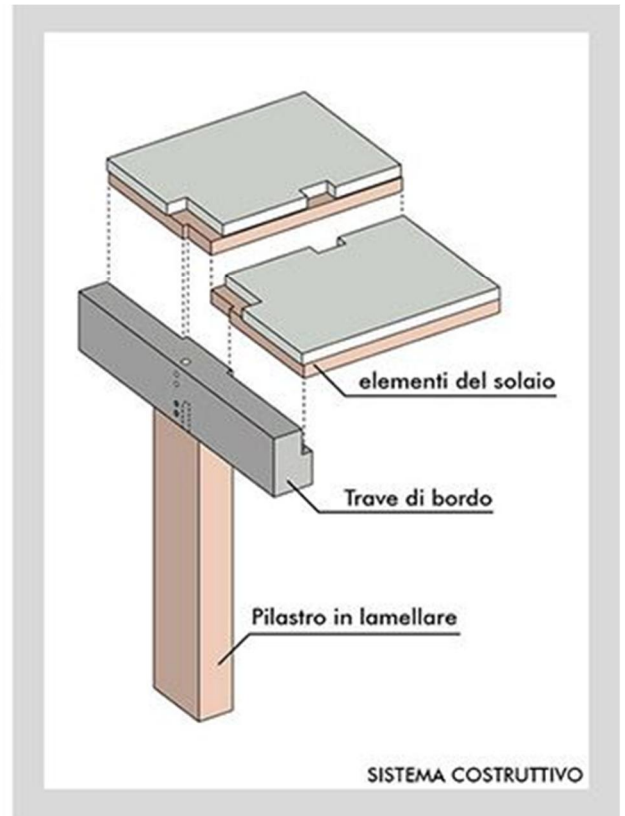
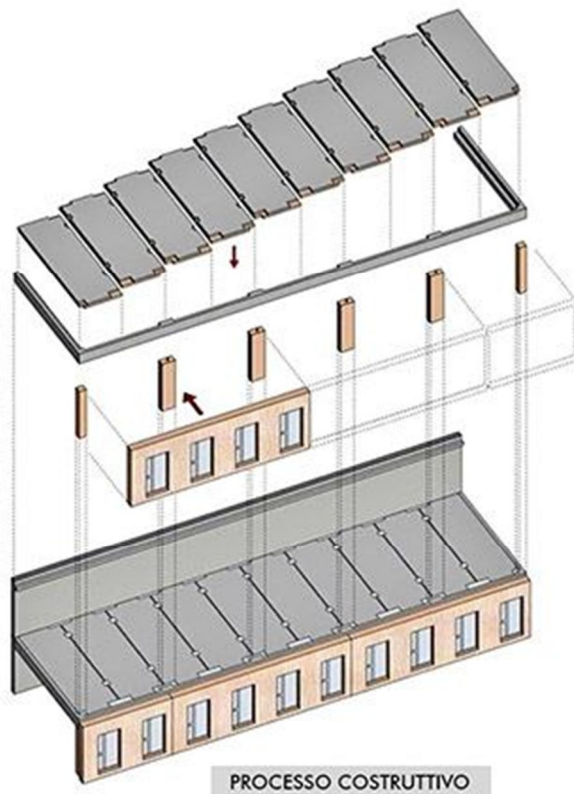


Figura 16: proceso constructivo.

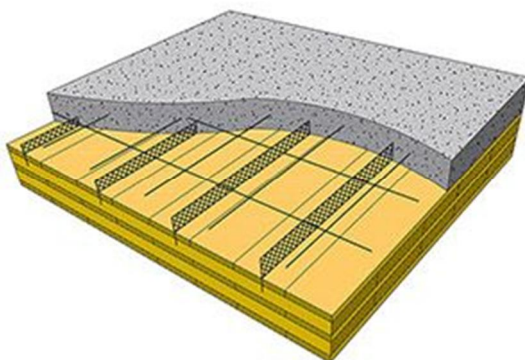


Figura 17: Composición del sistema de piso y etapa de montaje.

Organiza:

8. Mjøstårnet (la torre del lago Mjøsa)

- **Año de comienzo y finalización de obra:** 2017 – 2019 (18 meses)
- **Ubicación:** Brumunddal, Noruega
- **Cantidad de pisos:** planta baja y 17 pisos
- **Sistema estructural utilizado:** el edificio tiene una base de aproximada de 17 x 37 m. Fundado mediante una platea apoya en pilotes diseñados a tracción y compresión. Las cargas verticales y horizontales son tomados por columnas, vigas y diagonales de madera. Las secciones típicas de columnas son 63 x 63 cm y 72x 81 cm. Se utilizan paneles CLT para los núcleos de circulación vertical, pero no son considerados para la estabilidad transversal del edificio. El sistema de piso en los primeros diez pisos está compuesto por paneles CLT, mientras que los siete pisos restantes están compuestos por losas prefabricadas de 30 cm de espesor con el fin de otorgar la masa necesaria para el comportamiento dinámico adecuado.
- **Altura del proyecto:** 85.4 m
- **Superficie total:** 11.300 m²
- **Cantidad de CO₂ retenido:** -

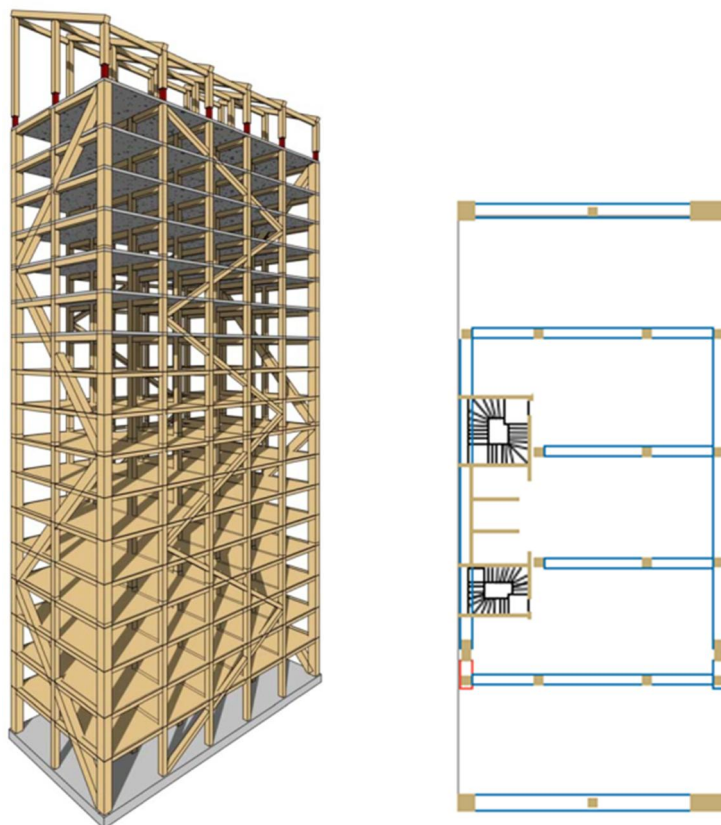


Figura 18: vista isométrica de la estructura y planta tipo de estructura.

Organiza:

9. Haut Amsterdam

- **Año de comienzo y finalización de obra:** 2019 – 2022
- **Ubicación:** Ámsterdam, Países bajos
- **Cantidad de pisos:** dos subsuelos, planta baja y 21 pisos
- **Sistema estructural utilizado:** sistema híbrido compuesto un núcleo vertical de hormigón armado, columnas y tabiques en madera de MLE y CLT respectivamente, y un sistema de piso compuesto de losas de hormigón y paneles de CLT.
- **Altura del proyecto:** 73.0 m
- **Superficie total:** 14.500 m²
- **Cantidad de CO₂ retenido:** -



Figura 19: composición por materiales de la estructura.

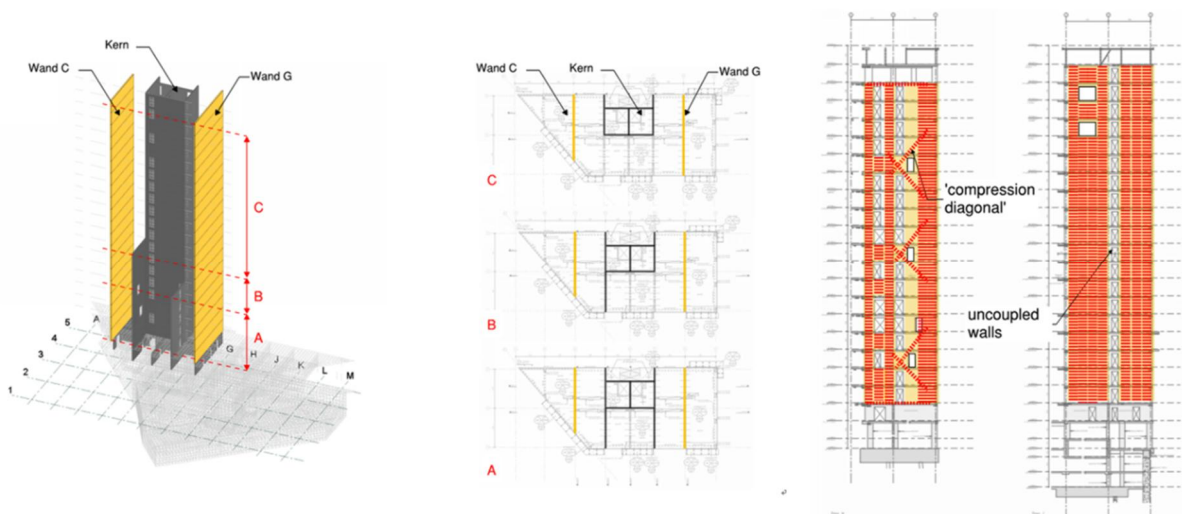


Figura 20: sistema de estabilidad transversal y elevación de muros CLT.

Organiza:

10. Ascent

- Es el edificio más alto del mundo, al momento, construido con madera
 - **Año de comienzo y finalización de obra:** 2020 – 2022 (24 meses)
 - **Ubicación:** Milwaukee, Wisconsin, Estados Unidos
 - **Cantidad de pisos:** planta baja y 24 pisos
 - **Sistema estructural utilizado:** sistema híbrido que combina hormigón armado y madera. Utiliza pilotes y losas de fundación de hormigón armado. La planta baja y los primeros seis niveles están contruidos en hormigón armado, con el sexto nivel sirviendo como planta de transferencia de cargas debido al cambio de modulación entre las plantas de estacionamiento y las de vivienda. Cuenta con dos núcleos de hormigón alojan escaleras y ascensores, proporcionando estabilidad y rigidez adicional a la estructura. A partir del séptimo nivel, la estructura se construye con columnas y vigas en MLE y losas de CLT.
- Altura del proyecto:** 87.0 m
- **Superficie total:** 30136 m²
 - **Cantidad de CO₂ retenido:** 7.200 toneladas

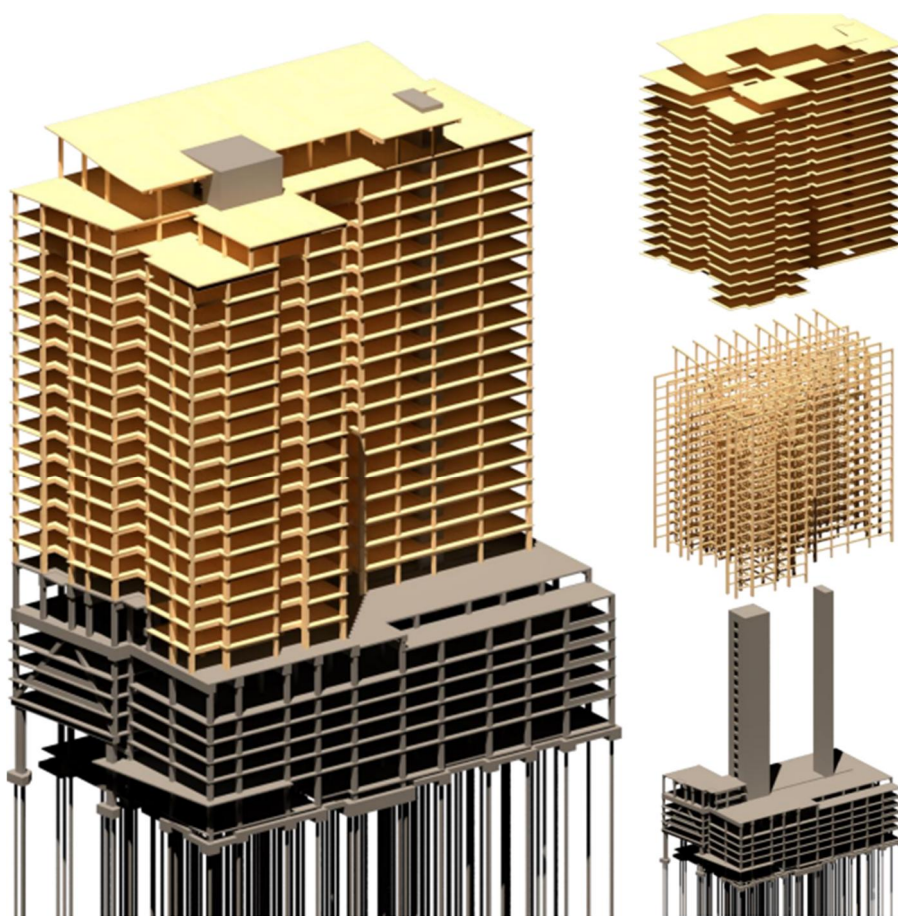


Figura 21: composición por materiales de la estructura.

Organiza:

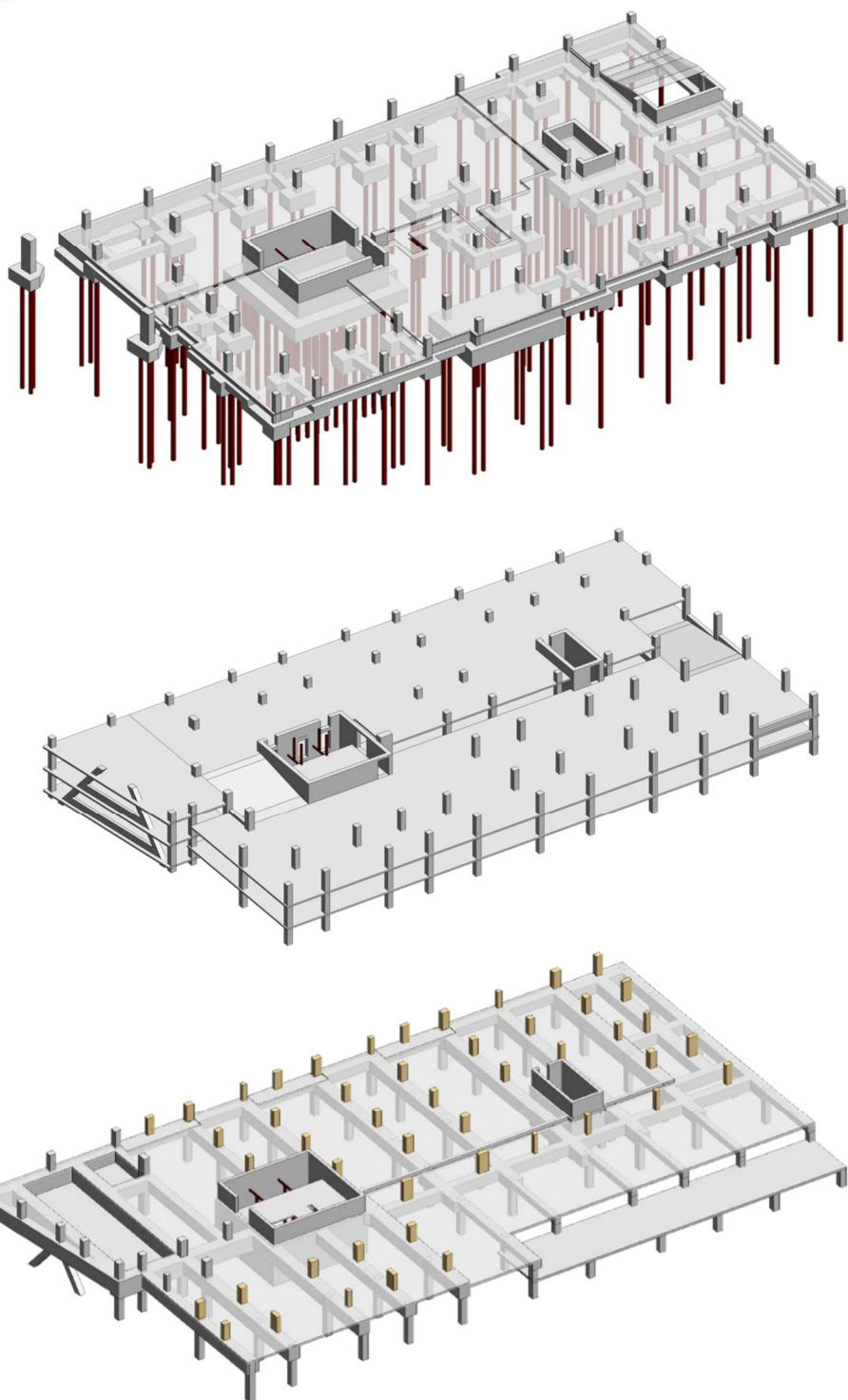


Figura 22: planta de fundaciones, planta de estacionamiento, planta de transferencia.

Organiza:

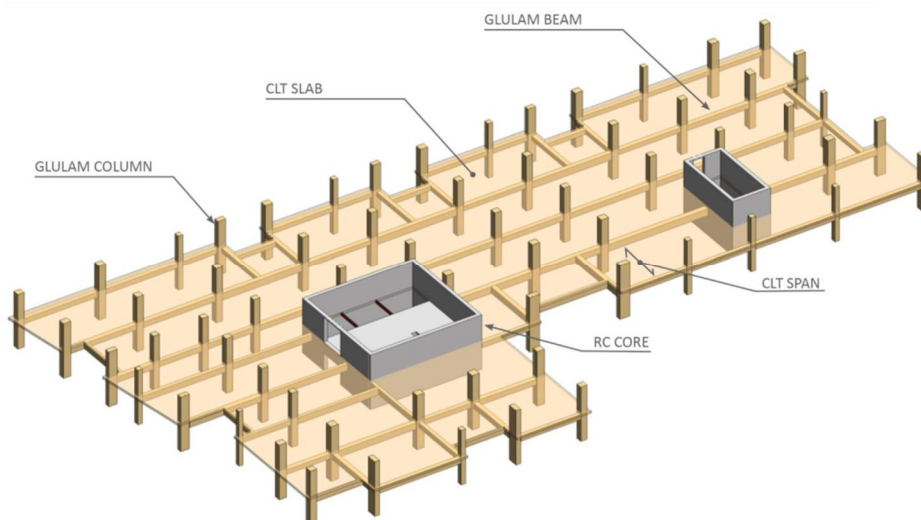


Figura 23: planta residencial típica.

CONCLUSIONES

El desarrollo de proyectos utilizando sistemas estructurales de madera laminada encolada (MLE) y contralaminada (CLT) en Argentina representa una oportunidad crucial para avanzar hacia una construcción más sostenible y eficiente. La dependencia continua del hormigón armado no solo perpetúa las altas emisiones de carbono y el significativo impacto ambiental de la industria de la construcción, sino que también limita la innovación y el aprovechamiento de materiales renovables como la madera.

La adopción de MLE y CLT ofrece múltiples ventajas, incluyendo una reducción considerable en las emisiones de gases de efecto invernadero, mayor rapidez en el montaje, precisión en la fabricación, y. Además, la utilización de madera contribuye a la retención de carbono, una ventaja significativa en la lucha contra el cambio climático.

La implementación exitosa de estos sistemas en otros países ha demostrado su viabilidad y beneficios, abriendo el camino para que Argentina aproveche estas tecnologías. Iniciar proyectos con MLE y CLT no solo impulsará el desarrollo de una industria maderera sostenible y local, sino que también posicionará al país a la vanguardia de la construcción ecológica y eficiente.

Es imperativo que Argentina dé el paso hacia la construcción con madera, alineándose con las tendencias globales y las necesidades urgentes de sostenibilidad. Dejar atrás la construcción predominante de hormigón armado no solo es una elección ecológica, sino también una estrategia económica y tecnológica para el futuro de la infraestructura del país.

Organiza:

REFERENCIAS

- [1]. <https://www.woodworks.org/learn/mass-timber-clt/tall-mass-timber/>
- [2]. Micheal Green, Why we should build wooden skyscrapers, TED Talking 2013
- [3]. https://www.ted.com/talks/michael_green_why_we_should_build_wooden_skyscrapers?lan-guage=it
- [4]. <https://divisare.com/projects/239891-kaden-klingsbeil-architekten-bernd-borchardt-e3>
- [5]. <https://en.wikipedia.org/wiki/Stadthaus>
- [6]. Cragig Liddell, Stadhaus, murray grove: 9 storey timber high rise
- [7]. Lend Lease - Forte` - Creating the World's Tallest CLT Apartment Building – Think Wood Webinar 2013
https://www.youtube.com/watch?v=pHpthNBiYqE&ab_channel=ThinkWood
- [8]. Ole Herbrand Kleppe - Construction of Treet – How and Why – Conference 2017
https://www.youtube.com/watch?v=NzSMZI1Nk6E&ab_channel=TZB-info
- [9]. <https://www.dalston-works.co.uk/>
- [10]. https://en.wikipedia.org/wiki/Brock_Commons_Tallwood_House
- [11]. <https://www.infobuildenergia.it/progetti/hoho-il-grattacielo-in-legno-alto-ben-84-metri/>
- [12]. <https://www.hoho-wien.at/>
- [13]. Tyson Infanti - Case Study: HoHo Vienna, An 84m Tall Timber Giant – WoodSolutions Webinar Series – 2020
https://www.youtube.com/watch?v=rGOlr37uhbw&ab_channel=WoodSolutions
- [14]. Mjostarnet - construction of an 81 m tall timber building – Abrahamsen – 2017
- [15]. Rune Abrahamsen, Mjostarnet – Structure, Supply and Fabrication, WoodSolution Webinar Series 2020
https://www.youtube.com/watch?v=baqxbkfTue0&ab_channel=WoodSolutions
- [16]. <https://www.archdaily.com/989552/haut-amsterdam-residential-building-team-v-architecture>
- [17]. <https://hautamsterdam.nl/en/>
- [18]. Jordan Komp – Ascent Tower: The evolution of mass timber construction - 2024

Organiza: