



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

Escuela Técnica Superior de Arquitectura

Análisis comparativo de edificios de vivienda colectiva con
estructura de madera en Holanda

Trabajo Fin de Grado

Grado en Fundamentos de la Arquitectura

AUTOR/A: Prats Montolio, Eulalia

Tutor/a: Sentieri Omarrementeria, Carla

CURSO ACADÉMICO: 2023/2024



ESCOLA TÈCNICA
SUPERIOR
D'ARQUITECTURA

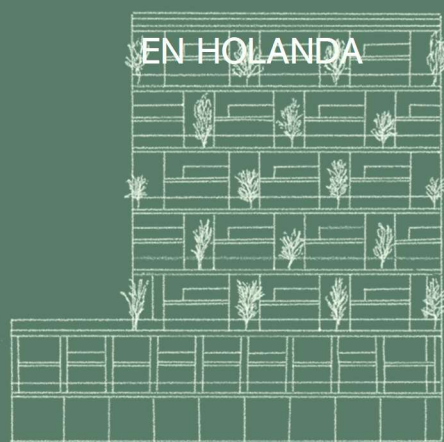
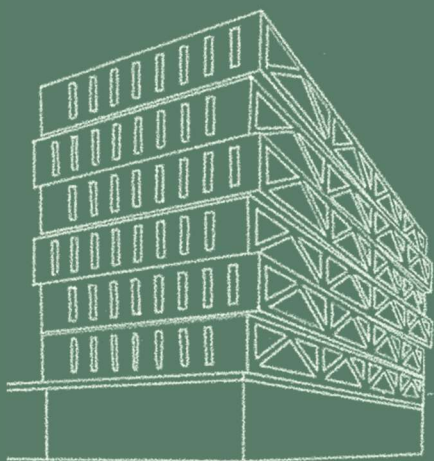


UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA

TRABAJO FINAL DE GRADO

ANÁLISIS COMPARATIVO DE EDIFICIOS DE

VIVIENDA COLECTIVA CON ESTRUCTURA DE MADERA



ALUMNA

EULALIA PRATS MONTOLIO

GRADO EN FUNDAMENTOS DE LA
ARQUITECTURA

TUTORA

CARLA SENTIERI OMARREMENTERÍA

CURSO 2023 - 2024

AGRADECIMIENTOS

A mi familia, que siempre me ha apoyado durante todo el proceso; y a mis amigos, que sin ser todos una, el camino no hubiera sido tan fácil.

RESUMEN

Los edificios de madera en altura representan un cambio significativo hacia una arquitectura más sostenible y respetuosa con el medio ambiente.

El presente trabajo analiza la aplicación de estructuras de madera en edificios residenciales en altura, enfocándose en el país de Holanda, donde esta práctica está más en auge. A través del análisis de tres edificios en Ámsterdam, se destaca cómo la madera contribuye a una arquitectura más ecológica, ofreciendo flexibilidad en el diseño. A pesar de las barreras que enfrenta la madera, como la competencia con otros materiales como el hormigón o el acero, el éxito de rascacielos de madera está promoviendo su aceptación.

Palabras clave: edificios de madera en altura, estructura, vivienda, sostenibilidad, madera contralaminada, Open Building, Holanda

ABSTRACT

Timber high-rise buildings represent a significant shift towards more sustainable and environmentally friendly architecture.

This paper analyses the application of timber structures in high-rise residential buildings, focusing on the country of the Netherlands, where this practice is most in vogue. Through the analysis of three buildings in Amsterdam, it highlights how wood contributes to greener architecture by offering flexibility in design. Despite the barriers that wood faces, such as competition with other materials like concrete or steel, the success of wooden skyscrapers is promoting their acceptance.

Key words: tall timber buildings, structure, housing, sustainability, cross-laminated timber, Open Building, Netherlands.

RESUM

Els edificis de fusta en altura representen un canvi significatiu cap a una arquitectura més sostenible i respectuosa amb el medi ambient. El present treball analitza l'aplicació d'estructures de fusta en edificis residencials en altura, enfocant-se en el país dels Països Baixos, on aquesta pràctica està més en auge. A través de l'anàlisi de tres edificis a Àmsterdam, es destaca com la fusta contribueix a una arquitectura més ecològica, oferint flexibilitat en el disseny. Malgrat les barreres que afronta la fusta, com la competència amb altres materials com el formigó o l'acer, l'èxit dels gratacels de fusta està promovent la seva acceptació.

Paraules clau: edificis de fusta en altura, estructura, habitatge, sostenibilitat, fusta contralaminada, Open Building, Països Baixos.

“Es la Naturaleza y no la máquina,
el principal modelo para la arquitectura.”

“La arquitectura moderna no significa
el uso de nuevos materiales, sino
utilizar los materiales existentes de
una forma más humana.”

“La tarea del arquitecto consiste en
proporcionar a la vida una estructura
más sensible.”

Alvar Aalto (1898-1976)

ÍNDICE

1. OBJETIVOS Y METODOLOGÍA.....	10
2. MARCO TEÓRICO.....	12
2.1. CONTEXTO: EMERGENCIA CLIMÁTICA	13
2.1.1. Acuerdo climático internacional	13
2.1.2. Acuerdo climático en los Países Bajos.....	13
2.1.3. Impacto ambiental: consumos de CO2	14
2.1.4. Análisis del Ciclo de Vida.....	15
2.1.4.1. Pirámide de Materiales de Construcción.....	16
2.2. MADERA COMO SOLUCIÓN AMBIENTAL	18
2.2.1. Mass Timber	19
2.2.1.1. Tabla comparativa tipos de Mass Timber.....	23
2.2.2. Industrialización del CLT.....	24
2.2.3. Principales productores de CLT.....	25
2.2.1. Diseño y producción	26
2.3. ESCASEZ DE VIVIENDA EN HOLANDA	27
2.3.1. Objetivos en Ámsterdam	28
2.3.2. Open Building Collective	28
2.4. SITUACIÓN MUNDIAL EDIFICIOS EN ALTURA MASS TIMBER.....	31
2.4.1. Edificios en altura en Holanda.....	34
3. CASOS DE ESTUDIO.....	36
3.1. INTRODUCCIÓN.....	37
3.2. SITUACIÓN DE LOS EDIFICIOS.....	37
3.3. PATCH 22	38
3.4. BSH20A STORIES.....	46
3.5. HAUT	52
4. CONCLUSIONES.....	63
4.1. COMPARACIÓN 3 EDIFICIOS	64
4.2. CONCLUSIÓN PERSONAL.....	67
5. REFERENCIAS	68
6. ANEXO	76
6.1. ODS.....	76

1.OBJETIVOS Y METODOLOGÍA

OBJETIVOS

El objetivo principal del siguiente trabajo es el estudio de la aplicación de estructura de madera en edificios de vivienda colectiva en altura, mostrando cómo este material se ha introducido en el sector de la construcción y todas sus ventajas. El estudio se centrará en el país de Holanda, siendo uno de los países donde esta práctica está más en auge y dónde se ha difundido la filosofía del Open Building, que estará presente en los edificios analizados.

METODOLOGÍA

La metodología empleada comienza con una investigación del contexto actual, destacando la vuelta del uso de la madera en la construcción. Para ello, se ha analizado el impacto ambiental generado por el sector de la construcción y cómo la madera se ha convertido en una solución frente a la emergencia climática. Además, se han estudiado los diferentes sistemas constructivos que emplean madera, y su relevancia y aplicación específica en los Países Bajos. Con el fin de aplicar esta información recogida en el marco teórico, también se lleva a cabo un análisis comparativo de tres edificios residenciales en la ciudad de Ámsterdam.

2. MARCO TEÓRICO

2.1. CONTEXTO: EMERGENCIA CLIMÁTICA

En las últimas décadas, la sostenibilidad se ha convertido en tema de vital importancia en la agenda global.

El cambio climático es una amenaza global. Resultado de las actividades humanas como la quema de combustibles, la deforestación y la industrialización, representa una de las mayores amenazas para el medio ambiente y la humanidad. El aumento de las emisiones de gases de efecto invernadero ha llevado a un calentamiento global, provocando fenómenos extremos como olas de calor, sequías, inundaciones y huracanes más intensos y frecuentes.

La necesidad de adoptar prácticas más sostenibles en todos los sectores es esencial para mitigar los efectos del cambio climático y adaptarse a las consecuencias de este.

El objetivo de la sostenibilidad es satisfacer las necesidades del presente sin comprometer la capacidad de las futuras generaciones para satisfacer las suyas. Para esto, se deben enfrentar desafíos ambientales, sociales y económicos en todos los sectores.

2.1.1. Acuerdo climático internacional

En diciembre de 2015, en el nombrado Acuerdo de París, 195 países alcanzaron un acuerdo histórico para combatir el cambio climático y acelerar las acciones necesarias para conseguir un futuro sostenible con bajas emisiones de carbono. Este fue el primer acuerdo climático mundial con fuerza jurídica. Establece un plan de acción global para evitar el cambio climático limitando el calentamiento global a muy por debajo de los 2°C, con el objetivo de mantener el incremento por debajo de 1.5°C. Además, menciona que los gases emitidos por la actividad humana deben ser equivalentes a los que los océanos, árboles y suelos puedan absorber de manera natural, alcanzando unas emisiones de gases efecto invernadero (GEI) igual a cero neto.¹

"Cero Emisiones Netas" se refiere al balance que existe entre la cantidad de gases de efecto invernadero (GEI) emitidos hacia la atmósfera y la cantidad de gases de efecto invernadero eliminados.

2.1.2. Acuerdo climático en los Países Bajos

En los Países Bajos, también firmante del Acuerdo de París de 2015, el compromiso de ayudar a reducir las emisiones de gases de efecto invernadero se ha

¹ Linn, 2019

formalizado en el Klimaat Akkoord (acuerdo climático) de 2019. En este acuerdo, se han establecido los siguientes objetivos principales:²

- Una reducción de las emisiones de CO₂ en 2030 del 49% en comparación con 1990.
- Una reducción de las emisiones de CO₂ en 2050 del 95% en comparación con 1990.

Para ello, han establecido diferentes medidas que afectan tanto a la ciudadanía como a las empresas de los distintos sectores. Estas medidas están al alcance de toda la ciudadanía en su página web, donde se pueden resolver todas las dudas acerca de los cambios que se van a realizar.

2.1.3. Impacto ambiental: consumos de CO₂

El dióxido de carbono (CO₂), uno de los principales gases de efecto invernadero, es especialmente preocupante, por lo que hay que desplegar todas las estrategias posibles para reducir las emisiones de carbono.

Un grupo reducido de países es responsable de la mayoría de las emisiones de gases de efecto invernadero. Los 10 principales emisores suman más de dos tercios de las emisiones anuales globales.

² Lange, 2021

Estos países, con grandes poblaciones y economías, representan más del 50% de la población mundial y el 75% del PIB global. China lidera con el 26.1% de las emisiones globales, seguida por Estados Unidos con el 12.67%. La Unión Europea, que destacada por su compromiso con la sostenibilidad, contribuye con el 7.52%, e India con el 7.08%.

Son muchos los sectores que son responsables las emisiones de gases de efecto invernadero. La industria de la construcción es una de las mayores consumidoras de materias primas. En particular, la producción de cemento representa alrededor del 5 % de las emisiones de CO₂. Además, el uso de maquinaria pesada durante la construcción contribuye significativamente a las emisiones de dióxido de carbono, así como el transporte de materiales, que constituye entre el 6% y 8% de las emisiones totales de gases de efecto invernadero de un proyecto.³

³ Ge et al., 2021

Emisiones por sectores

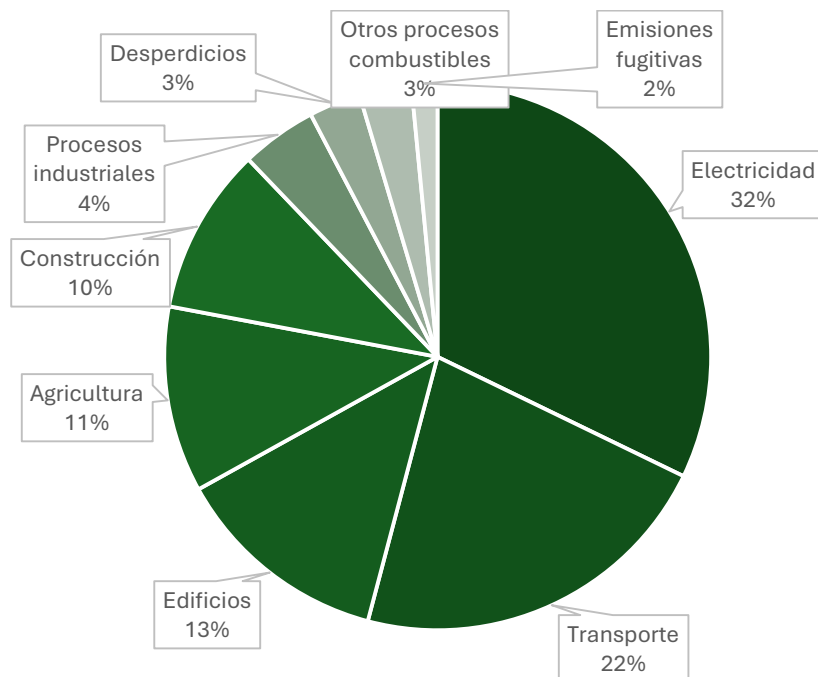


FIG 1. Emisiones de CO2 por sectores.

En general, el sector de la construcción es responsable del 39% del CO2 emitido a la atmósfera, por lo que casi la mitad de los GEI emitidos están relacionados con la construcción de edificios a lo largo de sus distintas fases: construcción, uso y demolición. Por lo tanto, este sector tiene un papel fundamental en la mitigación del cambio climático.⁴

2.1.4. Análisis del Ciclo de Vida

El Análisis del Ciclo de Vida (ACV), también conocido como Life Cycle Analysis (LCA), es una metodología que evalúa el impacto ambiental de un producto, proceso o sistema a lo largo de todo su ciclo de vida. Este análisis incluye todas las etapas, desde la extracción de materias primas hasta la disposición final del producto.

Este sistema es una herramienta esencial para tomar decisiones orientadas a la sostenibilidad, ya que permite identificar las etapas con más impacto en el medio ambiente y evaluar alternativas para reducir dicho impacto. En efecto, se utiliza recurrentemente en la evaluación de la sostenibilidad de edificios y construcciones, siendo clave en certificaciones como BREEAM, LEED, VERDE Y DGNB.



FIG 2. Etapas del ciclo de vida del carbono del edificio.

Etapas del ciclo de vida del carbono del edificio
Fuente: New Buildings Institute.

⁴ Linn, 2019

2.1.4.1. Pirámide de Materiales de Construcción

Para hacer más sencillo este proceso de análisis del ciclo de vida de los materiales, fue el Centro de Arquitectura Industrializada de la Real Academia Danesa (Cinark), quien decidió crear una Pirámide de Materiales de Construcción. Al igual que la pirámide alimenticia, es una herramienta digital que ayuda a los arquitectos y trabajadores en el sector a tomar decisiones sobre la sostenibilidad de los materiales que eligen, proporcionando una visión general de su impacto ambiental. Esta herramienta permite estudiar el impacto del material en las diferentes etapas de su vida: extracción de materias primas, transporte y fabricación.⁵

Además, los materiales que se incluyen en la pirámide pueden tener diferentes tipos de impactos:⁶

- **Potencial de Calentamiento Global (GWP):** Mide la huella de carbono, donde materiales metálicos tienen un impacto alto y materiales orgánicos pueden tener tasas negativas.
- **Potencial de Agotamiento del Ozono (ODP):** Evalúa la degradación de la capa de ozono, con los aislantes térmicos siendo los más nocivos.

- **Formación de Ozono Troposférico (POCP):** Cuantifica la creación de ozono a nivel del suelo, afectando la salud y el medio ambiente.
- **Potencial de Acidificación (AP):** Mide las fases que causan la acidificación de suelos y aguas.
- **Potencial de Eutrofización (EP):** Evalúa el aumento de nutrientes en ecosistemas que pueden causar desequilibrios.

La versión actual de la pirámide se basa en datos válidos para el norte de Europa y Escandinavia, pudiendo variar en otras regiones, pero siempre dando una versión general.

⁵ Souza, 2022

⁶ New Buildings Institute, 2022

Para abordar estos problemas relacionados con el impacto del sector de la construcción en el medio ambiente, es esencial reducir, detener y revertir estas emisiones, los edificios deben incrementar su resiliencia ante los impactos previstos de cambio climático.

Cuando hablamos de un edificio resiliente, hablamos de dar una respuesta ante el cambio climático. La resiliencia de un edificio implica el uso de materiales y prácticas sostenibles desde su diseño hasta su demolición. Se deben considerar tres sistemas: ambiental, tecnológico y biológico.

En este caso, el sistema tecnológico juega un papel muy importante. Este sistema abarca tanto los materiales y métodos constructivos como los procesos industriales. La elección de construir un edificio con una estructura de madera aumenta significativamente su resiliencia.⁷

Como se puede observar en la pirámide, los materiales de base biológica como es la madera se encuentran en la base de esta, donde el Potencial de Calentamiento Global (GWP), es decir, la huella de carbono está por debajo de 0 kg CO₂ eq / m³. En

particular, la madera contralaminada que es muy usada en estructuras de madera de edificios, tiene un impacto de -664.0 kg CO₂ eq / m³.

2.2. MADERA COMO SOLUCIÓN AMBIENTAL

La madera ha sido y sigue siendo un material muy utilizado en el sector de la construcción, debido a su fácil acceso y trabajabilidad. Aunque con la llegada del hormigón y el acero, su uso en estructuras se ha reducido, actualmente, con el compromiso por la sostenibilidad y la búsqueda de nuevos sistemas constructivos como la prefabricación modular en seco, el uso de madera está resurgiendo. Esto lo notamos especialmente en países de Europa central y del norte, como es el caso de Holanda.

Una de las principales ventajas de la madera, es el almacenamiento de dióxido de carbono que se produce ya que, antes de ser talado el árbol de donde proviene la madera, este realiza una absorción de CO₂, lo que permite en muchos casos que la emisión a la atmósfera sea negativa.

⁷ Morillón, 2020

Muchas empresas ahora cuentan con plantaciones controladas para evitar la deforestación mientras proporcionan los materiales necesarios. Esto no solo evita la tala y la contaminación de otros ecosistemas, sino que también ofrece una alternativa más limpia que otros sistemas constructivos.

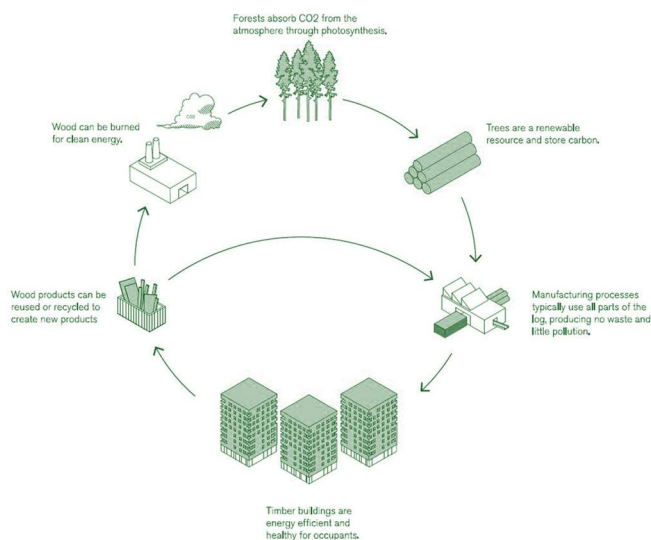


FIG 4. Ciclo de la madera como material renovable.

2.2.1. Mass Timber

La solución a todos estos problemas, la encontramos en el Mass Timber. Estos elementos pueden competir con el acero y el hormigón estructuralmente, y tienen

una huella de carbono negativa. Además, ayudan a uno de los mayores obstáculos actuales en los Países Bajos: la stikstofcrisis (crisis del nitrógeno). Esto es debido a que los elementos constructivos son relativamente ligeros y pueden ser levantados con equipos eléctricos, evitando las emisiones de nitrógeno.⁸

Hay diferentes tipos de Mass Timber, siendo estos los más comunes y utilizados en Europa.⁹

- Cross Laminated Timber (CLT):

Se trata de un producto relativamente nuevo e innovador que está ganando popularidad en la industria de la construcción gracias a sus capacidades técnicas y propiedades ambientales, así como a su investigación y desarrollo. Se desarrolló en Europa en la década de los 90 y su campo de aplicación se ha ampliado en los últimos años.

Los paneles de CLT se fabrican superponiendo capas de madera con sus fibras orientadas en ángulos rectos entre sus capas adyacentes y utilizando un adhesivo estructural. Estas capas

⁸ Lange, 2021

⁹ Abed et al., 2022

suelen ser impares, siendo las más comunes tres, cinco y siete.

Se presan y se recortan a tamaño exacto en la fábrica para simplemente montarlos en la obra. Además, gracias al uso de la tecnología CNC (Computer Numerical Control), los paneles se pueden perfilar con una alta precisión, reduciendo el desperdicio del material y los tiempos de ejecución.

Las dimensiones pueden llegar a ser muy grandes, hasta 18 metros de largo por 5 metros de ancho y tener un grosor de hasta 500 milímetros. Esto supone una gran ventaja a la hora de construir edificios, por lo que su aplicación puede ser techos, muros y forjados.

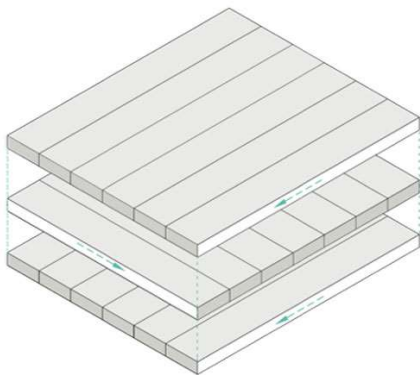


FIG 5. Axonometría funcionamiento de la madera contralaminada



FIG 6. Placa de madera contralaminada con los correspondientes huecos.

- **Glued Laminated Timber (Glulam):**

Es un producto creado en 1900 en Alemania pero que empezó a ser utilizado en Australia alrededor de 1950, aunque actualmente no se utiliza tanto como en Europa o América del Norte.

El tablero de Glulam se compone de varias capas de madera con las fibras de las láminas alineadas paralelamente a la longitud del elemento, unidas con un adhesivo duradero y resistente a la humedad.

Las dimensiones suelen estar limitadas por el transporte y la logística, pero generalmente pueden llegar a tener 50 metros de longitud, un ancho de 66-220 mm y un grosor de 180 – 630 mm.

La diferencia con el CLT viene dada sobre todo por las aplicaciones. El Glulam suele ser adecuado para

vigas y columnas debido a sus grandes tamaños y posibilidad de formas complejas.

Por otro lado, en cuanto a sus prestaciones estructurales, tiene unas excelentes propiedades de resistencia y rigidez. Es más fuerte que el acero estructural si lo comparamos con sus relaciones resistencia – peso.



FIG 7: Viga de Glulam.

- **Nail Laminated Timber (NLT):**

Este producto tiene más de un siglo de antigüedad, pero debido a la preocupación actual por la necesidad de sostenibilidad, está volviendo a resurgir.

Se fabrica colocando piezas de madera una junto a la otra y fijándolas con clavos, creando así, un elemento estructural sólido y resistente.

Las dimensiones estándar más comunes son 2x4 y 2x6, aunque pueden variar. Las aplicaciones suelen ser techos, muros y

forjados, aunque es muy útil ya que permite implementar formas curvas y voladizos.

Además, no requiere equipos especializados para su fabricación, pudiéndose ensamblar in situ con técnicas básicas de carpintería.

Dado que se ha utilizado durante más de un siglo, los códigos y estándares de construcción lo respaldan muy bien en comparación como otros sistemas más nuevos como el CLT.



FIG 8. Axonometría funcionamiento sistema NLT.

- **Dowel Laminated Timber (DLT)**

Se trata de un producto original de la década de los 90, desarrollado en Suiza. Es un poco menos conocido que los anteriores sistemas, pero se usa frecuentemente en Europa.

A pesar de tener un enorme parecido al concepto del NLT, en este caso, en lugar de utilizar clavos o tornillos para la unión de los paneles, se utilizan tarugos de madera dura. En cambio, las láminas son de madera blanda, y una vez insertados los tarugos, estos se expanden al alcanzar el equilibrio de humedad de ambas maderas, creando un ajuste por fricción. Este método también utiliza CNC para su fabricación, por lo que se necesitan equipos especializados

De este modo, se consigue un producto totalmente ecológico, siendo todos sus elementos de madera.

En cuanto a sus aplicaciones, son las mismas que las del NLT, techos, muros y forjados.

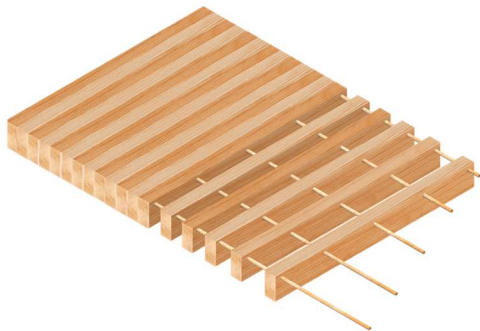


FIG 9. Axonometría funcionamiento sistema DLT.

2.2.1.1. Tabla comparativa tipos de Mass Timber

PRODUCTO	DIMENSIONES MÁXIMAS	APLICACIONES	VENTAJAS	DESVENTAJAS
CROSS LAMINATED TIMBER (CLT)	Largo: 18 m Ancho: 5 m Grosor: 500 mm	Techos, muros, forjados	Grandes dimensiones con gran estabilidad Alta resistencia y rigidez Fácil de fabricar Precisión	Coste elevado
GLUED LAMINATED TIMBER (GLULAM)	Largo: 50 m Ancho: 66-220 mm Grosor: 180-630 mm	Vigas y columnas	Alta resistencia y rigidez Eficiente estructuralmente Posibilidad de formas complejas	Coste elevado
NAIL LAMINATED TIMBER (NLT)	2 x 4 m 2 x 6 m	Techos, muros, forjados	No son necesarios equipos especializados Coste reducido	Laborioso Posibilidad de error humano
DOWEL LAMINATED TIMBER (DLT)	Largo: 18,7 m Ancho: 3,7 m	Techos, muros, forjados	Grandes dimensiones con gran estabilidad Fácil fabricación No son necesarios adhesivos	Dimensiones de paneles limitados Grosor limitado

FIG 10. Tabla comparativa tipos de Mass Timber

2.2.2. Industrialización del CLT

Centrándonos en el CLT, ya que es el sistema más usado actualmente, el más innovador y el que más se está investigando, podemos analizar su industrialización en profundidad.

El caso de la construcción industrializada de edificios es diferente a otros sectores industrializados, ya que otros productos se suelen fabricar en serie, delegando la responsabilidad del diseño y fabricación en los proveedores.

Por el contrario, en el sector de la construcción nos encontramos con que cada edificio es un prototipo único, por lo que el proceso de diseño y constructivo no es el mismo.

Para obtener un resultado eficiente, el diseño debe adaptarse lo máximo posible a la realidad y a las posibilidades del mercado. Por esto, en la fabricación de CLT, es muy importante que los proveedores y montadores trabajen junto a arquitectos y promotores para obtener un mejor resultado.¹⁰

El proceso de construcción industrializada consta de tres etapas:

1. Diseño: debe estar orientado a la fabricación y ensamblaje.

2. Producción: Las unidades industrializadas se fabrican mediante montaje mecanizado en instalaciones cerradas y controladas, garantizando la calidad.
3. Transporte y montaje: las unidades se transportan al lugar de la obra. Las dimensiones de estas están limitadas a veces por el medio de transporte.

Existen tres tipos de unidades industrializadas:

1. 1D o lineales: vigas, pilares
2. 2D o paneles: forman un plano, forjados, cubiertas, particiones y fachadas
3. 3D o modulares: parte de un edificio, viviendas completas prefabricadas o una habitación.

Las principales ventajas de la construcción industrializada son:

- Construcción sostenible y baja en emisiones de carbono.
- Optimización de recursos y consumo energético.
- Minimización de residuos generados.
- Mejora de la calidad de construcción.
- Alta eficiencia energética.
- Control y reducción de costos.

¹⁰ Palou, 2023

- Reducción y control de los tiempos de construcción.

2.2.3. Principales productores de CLT

Los países del norte de Europa son los principales fabricantes de madera maciza.

Estos son los líderes de mercado mundiales de madera contralaminada: ¹¹

1. Binderholz GmbH, Austria
2. Stora Enso, Finlandia
3. PFEIFER GROUP, Alemania
4. Mayr-Melnhof Holz Holding AG, Austria
5. HASSLACHER Holding GmbH, Austria

Los Países Bajos no son líderes de producción de CLT. Sin embargo, están rodeados de países que sí lo son, como Finlandia o Austria. Esto hace que tengan fácil acceso a plantas de producción de madera maciza y que el transporte a su país sea sencillo y relativamente económico.

1. **binderholz** ■

2.



3.



4.



5.



From **wood** to **wonders**.

¹¹ Mordor Intelligence, 2023

2.2.1. Diseño y producción

Para la etapa de diseño en la construcción industrializada, existen programas desarrollados por los propios fabricantes de CLT. Sin embargo, las herramientas BIM (Building Information Modeling) son la mejor opción para lograr un producto más preciso, permitiéndote el modelado 3D e incluyendo toda la información del proyecto.

Programas como Revit permiten trabajar en un mismo proyecto a diferentes niveles, definiendo todos los parámetros, como conectores, tipos de corte o soportes, que pueden modificarse de manera sencilla.

Además, muchos de estos programas incluyen softwares específicos para proyectos con CLT, como Wood Framing CLT para Revit de Autodesk. CadWork es otra herramienta destacada para el cálculo de estructuras de madera, permitiendo trabajar en todas las fases del proyecto.¹²

Estos programas generan modelos 3D que se exportan a dibujos CAD, lo que permite realizar mediciones y cortes con gran precisión, minimizando el desperdicio de materiales.

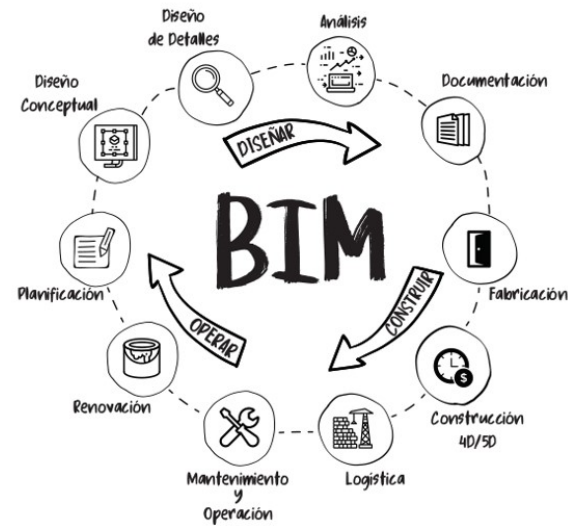


FIG 11. Funcionamiento de la metodología BIM. Diferentes niveles de trabajo.

Imagen: Cámara Argentina de la Construcción



FIG 12. Modelado 3D en agacad.

¹² Cantero, 2021

2.3. ESCASEZ DE VIVIENDA EN HOLANDA

Además de los desafíos mencionados anteriormente sobre el cambio climático, en los Países Bajos ha surgido otro gran problema: la escasez de viviendas. En los últimos años, la población ha aumentado considerablemente, sin embargo, la capacidad de vivienda no ha seguido el mismo ritmo. Se estima que, en 2025, la escasez será de 419.000 viviendas, un 5.1% del total de viviendas disponibles en los Países Bajos.¹³ Para resolver este problema, el gobierno holandés se ha comprometido a reducir este número al 2% para 2035.¹⁴

En conclusión, hay una alta demanda de viviendas adicionales en este país y estas nuevas casas deben construirse rápidamente.

ESCASEZ DE VIVIENDA EN EL MERCADO INMOBILIARIO

Porcentaje de viviendas a la venta sobre el stock total

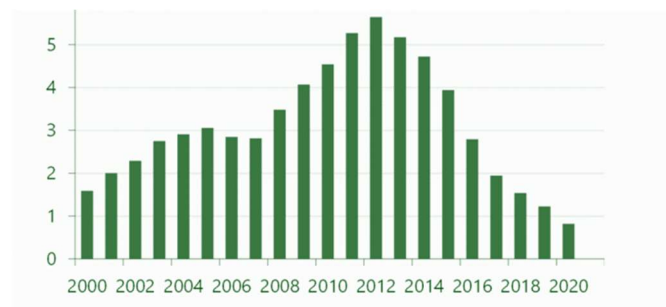


FIG 13. Escasez de vivienda en el mercado inmobiliario. Comparativa del porcentaje de viviendas a la venta sobre el stock total a lo largo de los años.

Hay que buscar una solución para producir todas estas viviendas lo más rápido posible sin incumplir los objetivos de reducción de emisiones de CO₂ del mencionado anteriormente Klimaat Akkoord.

Aquí entra el papel de la madera y su industrialización. Los elementos de Mass Timber son prefabricados y posteriormente, ensamblados en seco e in situ. Esto permite una mayor velocidad de construcción en comparación con otros sistemas de construcción con niveles de prefabricación mucho más bajos como serían las estructuras de hormigón armado.

¹³ Nieves, 2021

¹⁴ Lange, 2021

2.3.1. Objetivos en Ámsterdam

Además de los objetivos sostenibles que tiene Holanda como país, Ámsterdam, conocida por ser un referente en innovación, se ha planteado la meta de convertirse en una ciudad totalmente circular para el año 2050. Para facilitar esta transición hacia una economía circular, la ciudad ha desarrollado herramientas y metodologías accesibles al público en tres áreas principales: los flujos de residuos orgánicos y alimentarios, los bienes de consumo y el entorno construido.

Una de las principales iniciativas que tiene el municipio es el impulso de la reutilización de materiales de construcción a través de varias actividades:¹⁵

- La creación de un inventario digital de materiales que los arquitectos y otros profesionales puede utilizar.

Un ejemplo de esta iniciativa se refleja en el nuevo barrio de Buiksloterham, donde el 80% de los materiales empleados en los espacios públicos son reutilizados, reciclados o de origen biológico. Es en este barrio también

donde se pueden encontrar varios edificios en altura con estructura de madera.

- En 2021, Ámsterdam firmó el Green Deal para la construcción en madera, comprometiéndose a que para 2025, todos los edificios nuevos incluyan al menos un 20% de madera o biomasa en su construcción. La ciudad trabaja con los profesionales del sector para cumplir con este objetivo.

Con esta iniciativa se conseguiría una reducción de 220,000 toneladas de CO2 y una reducción considerable de emisiones de nitrógeno.

2.3.2. Open Building Collective

Open Building Collective es un grupo compuesto por 14 estudios de arquitectura e ingeniería holandeses que nace en 2019, fundando la plataforma OpenBuilding.co. Estos tienen un objetivo en común: defender y divulgar la arquitectura en base al modelo Open Building.

Defienden que este modelo reduce huella ecológica de los edificios y crea una arquitectura más sostenible. Mediante la separación entre subsistemas, el uso de una industrialización abierta y la flexibilidad, se crean

¹⁵ Ellen Macarthur Foundation, 2024

comunidades más saludables y se prolonga la vida útil de los edificios.

Su filosofía se basa en los principios desarrollados por N. John Habraken en los años 60 y el concepto de "Shearing Layers of Change" de Stewart Brand.

Habraken, con la Teoría de Soportes, defiende la separación en niveles de toma de decisiones dentro del entorno construido de la vivienda colectiva. Diferencia entre el nivel soporte (support), entendido como la parte desarrollada por el arquitecto, y de dominio común, y el nivel de relleno o unidades separables (infill), de dominio y control individual del usuario.

Por otro lado, también se basan en las ideas de Stewart Brand. En ellas, explica que un edificio no debe ser concebido como una unidad, sino como un conjunto de sistemas o capas, las cuáles tienen tiempos de obsolescencia diferentes.¹⁶

Estas capas son:

- Site: lugar donde se encuentra el edificio, parcela. Tiempo extenso.
- Structure: estructura, cambio limitado y costoso (30 - 300 años)
- Skin: envolvente del edificio (20 años)

- Services: Instalaciones (7- 15 años)
- Space Plan: Distribución interior con particiones (30 años).
- Stuff: objetos que forman parte del edificio, como mobiliario. Pueden ser cambiados con facilidad.

"El soporte representa las partes más permanentes del edificio, como la estructura, y puede verse como una estantería. El relleno representa la parte adaptable del edificio, o, en otras palabras, los libros."

(Habraken, 1961)

Las investigaciones llevadas a cabo sobre estos pensamientos dieron lugar en 1992 a la fundación del movimiento Open Building.

Varios años más tarde, en 2019, se creó la plataforma OpenBuilding.co. Estos son sus miembros:

- ANA Architecten
- Breed Integrated Design
- BNB Architecten
- Frantzen et al
- GAAGA

¹⁶ Vega, 2023

- Koschuch Architects
- MKA
- Mei Architects & Planners
- MVRDV
- Olaf Gipsier Architects
- Space and Matter
- Thijs Asselbergs
- SeARCH
- Aectual

La cultura de una arquitectura más sostenible está muy presente en Holanda, se puede ver en este tipo de grupos como Open Building Collective, que buscan el desarrollo de edificios residenciales con otro enfoque.

“No es sorprendente que, en estos últimos años, en Países Bajos, este grupo de arquitectos hayan encontrado en los principios de Open Building el instrumento clave para el diseño y desarrollo de proyectos residenciales. Tras la crisis económica al final de la primera década de este siglo, y la actual crisis climática, jóvenes arquitectos han desarrollado edificios residenciales que están suponiendo un ejemplo y representan una promesa para un futuro stock inmobiliario duradero, sostenible y enfocado en involucrar a sus usuarios”

(Kendall, 2021)

2.4. SITUACIÓN MUNDIAL EDIFICIOS EN ALTURA MASS TIMBER

En 2017, fruto del auge que estaban teniendo los edificios en altura de madera y los fondos que estaban recibiendo gracias a su popularidad, el Consejo del Código Internacional de la Construcción hizo algunos cambios en la normativa sobre edificios en altura hechos con madera. Aumentó la altura máxima permitida para la construcción de madera. Cambios que han servido para el desarrollo de la arquitectura en altura de madera en el mundo.

En 2017 también, el Consejo de Edificios Altos y Hábitat Urbano (CTBUH), publicó “Tall Timber: A Global Audit”, un estudio que recopilaba edificios en altura de más de 7 pisos realizados con Mass Timber a nivel mundial.¹⁷

Con este estudio se puede ver realmente el impacto que está teniendo esta tendencia en el mundo y en los diferentes continentes, así como qué función tienen la mayoría.



FIG 14. Revista CTBUH que incluye la sección “Tall Timber: A Global Audit”.

¹⁷ Safarik et al., 2022

Observando esta línea del tiempo realizada por el CTBUH, se aprecia la evolución de la altura de los edificios con estructura de madera en 10 años.

En el 2009, el edificio más alto realizado con una combinación de estructura de hormigón y madera era el Stadthaus en Londres, con una altura de 29 m y 9 pisos. En 2019, los edificios con este material habían aumentado de altura casi un 300%, hasta llegar a los 85 m y 18 pisos, con el Mjostarnet, en Noruega, con su estructura totalmente de madera.¹⁸

Actualmente, se ha superado esta altura con un edificio en Estados Unidos llamado Ascent, con una altura de 86.6 m y 25 pisos. Su estructura es una combinación de madera y hormigón.

En los siguientes gráficos (fig. 16, fig. 17, fig. 18.), se observa que en Europa la estructura de madera es mucho más utilizada que en otros continentes para construir edificios en altura. Además, la mayoría de ellos se han construido completamente con madera y menos de la mitad de ellos en combinación con hormigón.

En cuanto al uso, suelen ser edificios de uso residencial, seguidos de edificios para oficinas o uso mixto y algún edificio institucional.

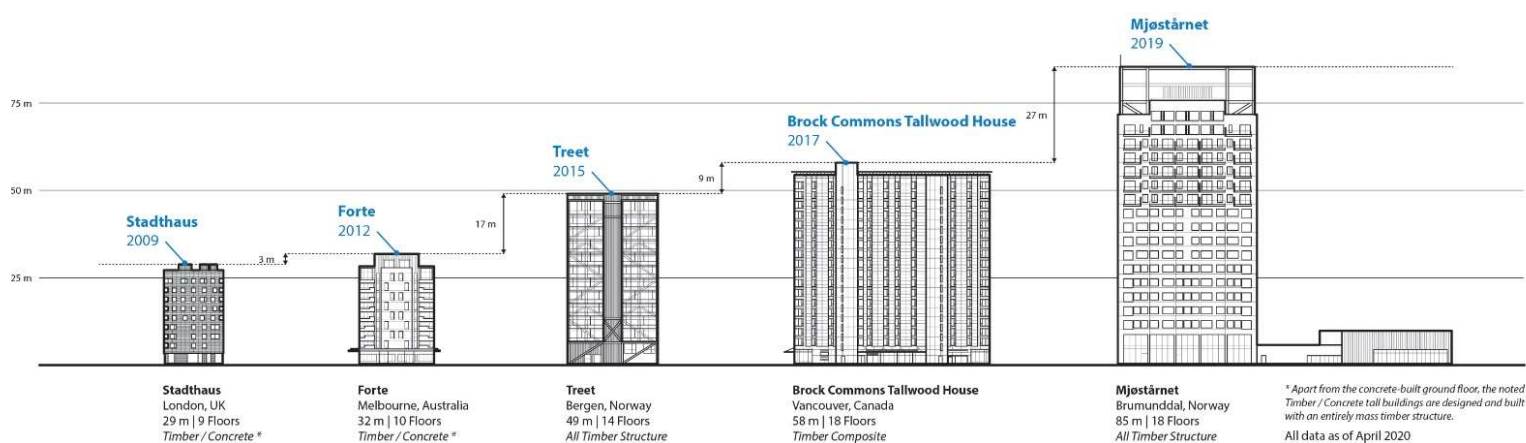


FIG 15. Evolución de los edificios más altos de madera del mundo.

¹⁸ CTBUH, 2020

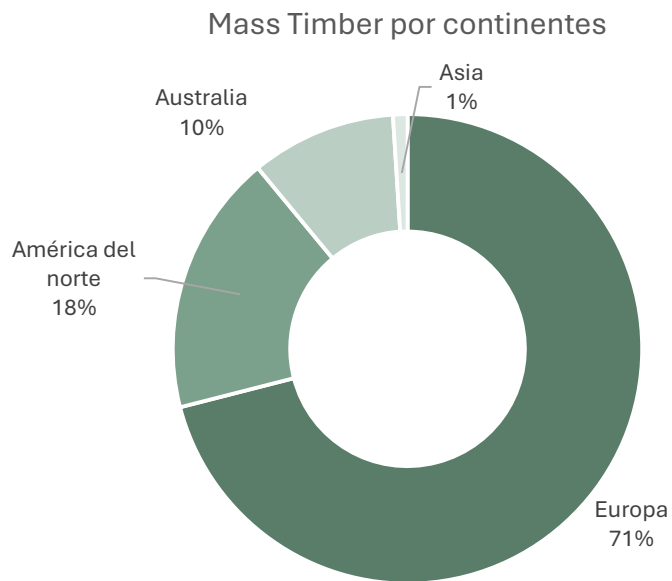


FIG 16. Gráfico porcentaje de edificios de madera por continentes.

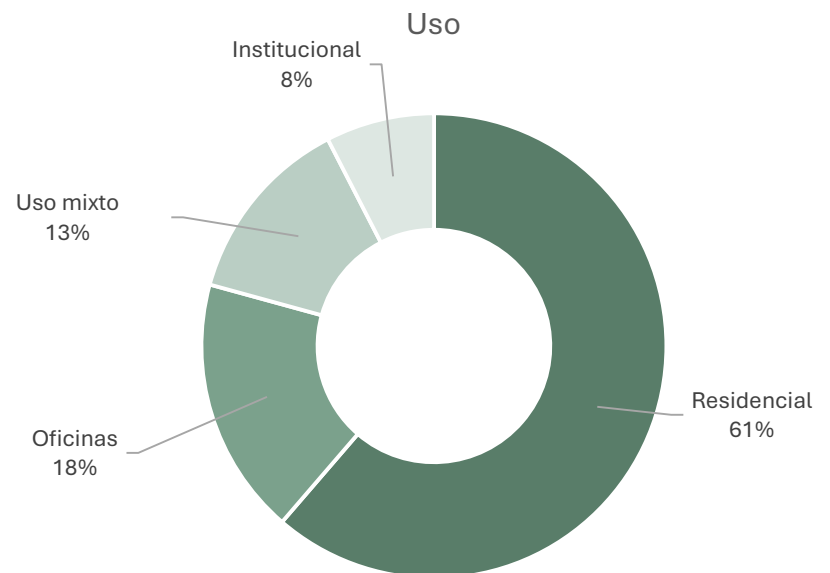


FIG 18. Gráfico porcentaje de cada uso de los edificios de Mass Timber.

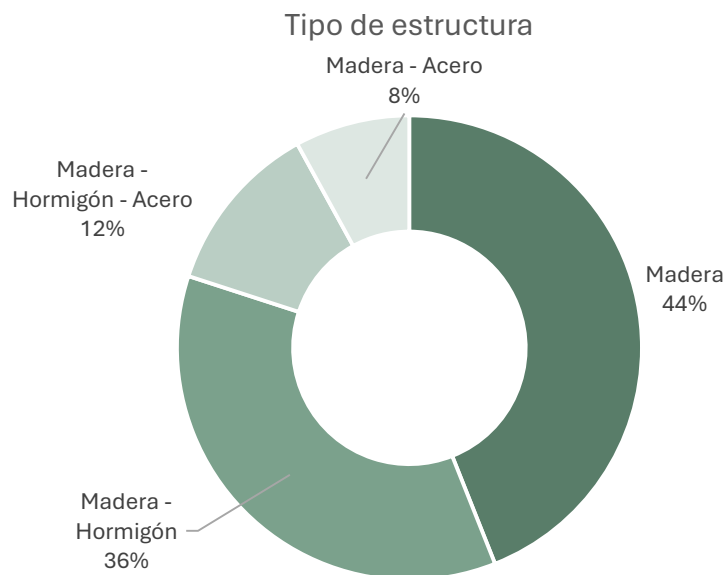


FIG 17. Gráfico porcentaje de tipo de estructura de edificios con Mass Timber en el mundo.

2.4.1. Edificios en altura en Holanda

El estudio de casos se centrará en Holanda. Hay varios edificios en altura construidos y en proceso de construcción, en los que la madera es la protagonista:

FIG 19. Tabla edificios más altos de Holanda construidos con Mass Timber. Elaboración propia con datos del CTBUH.ORG

Edificio	Ubicación	Arquitecto	Altura	Uso	Estado
Patch 22	Amsterdam	Frantzen et al architecten	30 m	Residencial	Construido
Top-up	Amsterdam	Frantzen et al architecten	30 m	Residencial	Construido
Stories	Amsterdam	Olaf Gipser Architecture	32 m	Residencial	Construido
Haut	Amsterdam	Team V Architecture	73 m	Residencial	Construido
Sawa	Rotterdam	Mei architects and planners	50 m	Residencial	Previsto construido para 2023
Hotel Jakarta	Amsterdam	SeArch	34 m	Uso mixto	Construido
De Karel Doorman	Rotterdam	Ibelings van Tilburg Architecten	70.5 m	Uso mixto	Construido



FIG 20. Vista edificio PATCH 22



FIG 21. Vista edificio BSH20A



FIG 21. Vista edificio De Karel Doorman



FIG 22. Vista edificio Top-up



FIG 23. Vista edificio Sawa

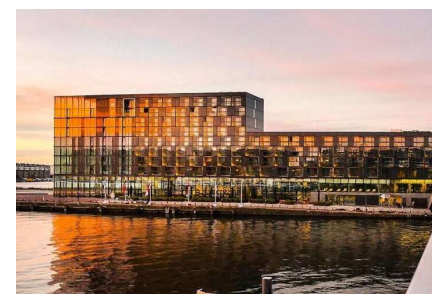


FIG 24. Vista edificio Hotel Jakarta



FIG 25. Vista edificio Haut

3. CASOS DE ESTUDIO

3.1. INTRODUCCIÓN

Para un análisis más profundo se escogen tres de los edificios residenciales que hay en Holanda, concretamente los tres se encuentran en Ámsterdam: Patch 22, BSH20A Stories y Haut.

Se estudiará qué tipo de estructura han empleado en cada una de las edificaciones y cómo esta afecta a la disposición interior del edificio. Además, se analizará cómo, durante los años, el sistema constructivo ha ido cambiando, y cómo han evolucionado las técnicas para poder conseguir edificios cada vez con más altura.

Por otro lado, se analiza cómo gracias a su estructura y sus prestaciones, se consigue un edificio adaptable y flexible, siguiendo la filosofía del Open Building.

3.2. SITUACIÓN DE LOS EDIFICIOS

Los edificios se encuentran en Ámsterdam, Holanda. Esta ciudad es la cuna del Open Building, y así se demuestra en su arquitectura.

Los primeros dos edificios analizados, Patch 22 y BSH20A Stories, se encuentran en el barrio Buiksloterham, un antiguo barrio industrial que se está reconviertiendo en un centro cultural al aire libre. Está

ubicado en el norte de Ámsterdam y ha experimentado cambios significativos durante las últimas décadas. Su plan de transformación se basa en la sostenibilidad, con el objetivo de crear un “barrio circular”, donde se reutilicen los recursos. Este desarrollo está atrayendo a arquitectos y urbanistas europeos.

Por otro lado, el tercer edificio, HAUT, se encuentra en el barrio de Amstelkwartier, una zona emergente al sureste de la ciudad. Este barrio forma parte de un plan de desarrollo urbano que busca revitalizar áreas antiguamente industriales, como es el caso también del anterior barrio. Además, este barrio también está diseñado bajo los principios de la sostenibilidad.

Concluimos, que ambos barrios son muy resilientes y buscan adaptarse al contexto actual, poniendo la sostenibilidad y la circularidad como objetivos.

3.3. PATCH 22

PATCH 22

Datos de proyecto

Ubicación: Johan van Hasselkade 266, 1032 LP
Amsterdam, Países Bajos.

Arquitectos: Frantzen et al Architecten

Superficie: 5400 m²

Año de construcción: 2015

Ciente: Lemniskade BV

Altura: 30 m, 7 alturas

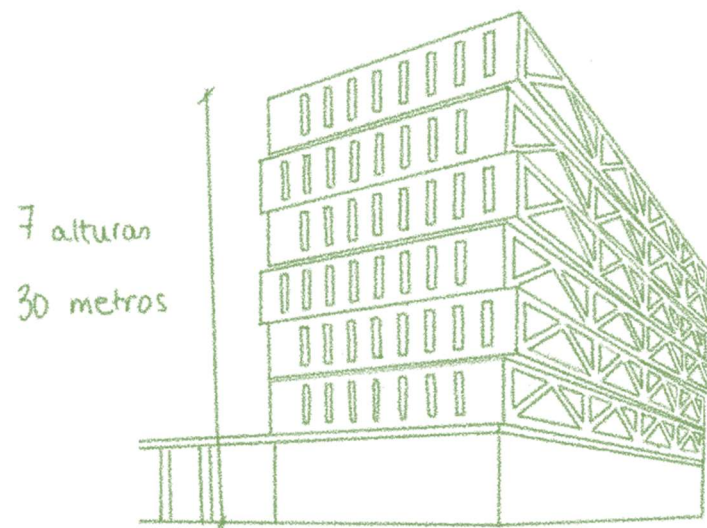


FIG 26. Boceto edificio Patch 22



FIG 27. Vista edificio Patch 22.

Patch 22 fue uno de los proyectos ganadores cuando en 2009, el ayuntamiento de Ámsterdam lanzó un concurso para el desarrollo sostenible del barrio de Buiksloterham, una antigua zona industrial en la región norte de Ámsterdam que se estaba convirtiendo en una zona cultural.

El arquitecto Tom Frantzen y el constructor Claus Oussoren, fundaron Lemniskade Projects, con el objetivo de poner en práctica su filosofía: la construcción sostenible es posible y, además, debería ser la norma en la arquitectura de hoy en día. De esta manera, consiguieron construir en 2016, el edificio más alto con estructura de madera en Holanda hasta hace pocos años.¹⁹



FIG 28. Plano de situación del edificio Patch 22.

OPEN BUILDING

Como se ha dicho anteriormente, Open Building Collective es un grupo compuesto por arquitectos y técnicos holandeses con el objetivo de la creación de edificios más resilientes, con mayor adaptabilidad y flexibilidad.

Este edificio ha sido construido en base a la filosofía de Open Building.

En primer lugar, por la flexibilidad de sus plantas. De hecho, las viviendas se conforman al gusto del cliente, como se puede observar en el apartado Do It Yourself de su página web.

Franzten quería crear pequeñas villas independientes a gusto del inquilino colocadas en un edificio en altura. Para ello, creó un edificio sin tabiquería inicial, dónde las separaciones se pudieran cambiar con el tiempo, cambiando incluso la función del edificio. En principio, las dos primeras plantas son de uso comercial y las 6 siguientes para uso residencial, aunque el edificio es adaptable. Esto resulta muy eficiente ya que se aumenta la vida útil de este. Está emplazado en un barrio nuevo y muy cambiante, por lo que el edificio puede ser hoy residencial y dentro de unos años, de oficinas, gracias también a su altura libre de 3,5 m.

¹⁹ Frantzen et al architects, 2017

Por otro lado, su estructura de madera encaja con sus principios de sostenibilidad y de circularidad. El uso de madera ayuda a almacenar grandes cantidades de CO₂ en su estructura. Además, la prefabricación de las piezas de CLT permiten una construcción sin tantos residuos y más eficaz debido a su precisión y a los cortos tiempos en obra.

ESTRUCTURA

Este edificio destaca por su estructura de Mass Timber. Se trata de un edificio con una estructura mixta de hormigón y madera, siendo este último material el predominante.

La planta baja y el bloque de comunicación vertical es de hormigón armado, sin embargo, el resto del edificio se desarrolla con madera.

El armazón estructural está compuesto de madera laminada encolada (glulam), para vigas y columnas, y madera contralaminada (CLT), conformando los muros. Por otro lado, los forjados son alveolares de hormigón armado permitiendo la flexibilidad del programa.²⁰

A pesar de su apariencia con los forjados inclinados en planta secuencialmente, la estructura es rectangular,

se trata de un esqueleto de columnas y vigas de madera que se unen en ángulos rectos. Se consigue este efecto de movimiento alargando las vigas transversales 30 cm.

Dimensiones aproximadas vigas glulam: 0.45 m x 0.8 m x 9 m.

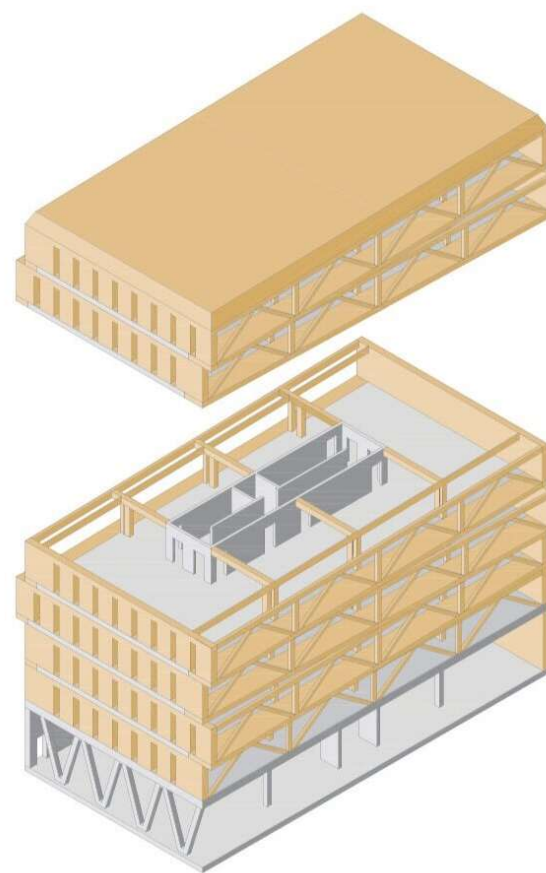


FIG 29. Axonometría general estructura.

²⁰ Schuler, 2018

PROCESO DE CONSTRUCCIÓN

Como se puede observar en las imágenes, el proceso de construcción de un edificio con paneles de CLT es un método en seco, lo que significa que no requiere el uso de materiales líquidos como mortero o cemento durante el montaje. En este caso, son imágenes del propio proceso constructivo del edificio Patch 22.

Estos paneles son previamente diseñados, calculados y cortados en la fábrica mediante tecnología avanzada, por lo que llegan a la obra y encajan con precisión unos con otros.

El proceso de montaje es rápido y ordenado ya que las piezas se transportan y se ensamblan directamente en la obra con ayuda de grúas y andamios.



FIG 30. Edificio Patch 22 en construcción con andamios



FIG 31. Ensamblaje de un muro de CLT



FIG 32. Vigas y columnas glulam del edificio Patch 22

ANÁLISIS INTERIOR

El edificio, aunque su función es adaptable y flexible, está principalmente destinado a uso residencial. En las dos primeras plantas se encuentran comerciales con dos grandes espacios a doble altura, rodeados de amplios ventanales que les permiten la entrada de luz natural. Desde esta planta baja, en el centro del edificio, se accede al núcleo de comunicaciones y a diferentes habitaciones que podrían funcionar como almacenaje.

En el ala izquierda del edificio, se encuentran cinco viviendas dúplex independientes. En la primera planta de cada dúplex hay una cocina, un salón-comedor y un baño, mientras que en la segunda planta hay tres habitaciones y otro baño.

En los pisos superiores del edificio principal, los residentes tienen la libertad de diseñar sus viviendas como se ha mencionado anteriormente. Gracias a la modulación de la planta, con tres grandes vigas que la recorren transversalmente, y dos muros portantes de CLT en sus lados, es posible modificar tanto la distribución como el número de unidades residenciales en cada nivel. Además, incluso pueden crearse dúplex con escaleras interiores. Esto permite una gran flexibilidad en el diseño, adaptándose a las

necesidades de cada residente y de cada época, alargando la vida útil del edificio.

A modo de ejemplo, en el siguiente plano se propone una configuración de planta con tres unidades residenciales. La primera vivienda, de 200 m², cuenta con un vestíbulo de entrada con un pequeño aseo a la derecha, que conduce a un distribuidor que da acceso al comedor y, en el lado opuesto, al salón. La cocina se encuentra al otro lado de la pared. Esta vivienda tiene tres habitaciones, una de ellas en suite, mientras que las otras dos comparten un baño accesible también por toda la vivienda.

En lado opuesto del edificio se encuentra una vivienda similar, también de 200 m², pero con una distribución simétrica. Esta unidad, en lugar de tres habitaciones, tiene dos más amplias, ambas en suite. Por último, se presenta una vivienda de menor tamaño, de 120 m², que dispone de dos habitaciones, ambas también en suite.

Todas las viviendas cuentan con amplias terrazas, dos de ellas ubicadas en las dos fachadas opuestas del edificio, lo que permite acceso al exterior desde todos los puntos de la vivienda.

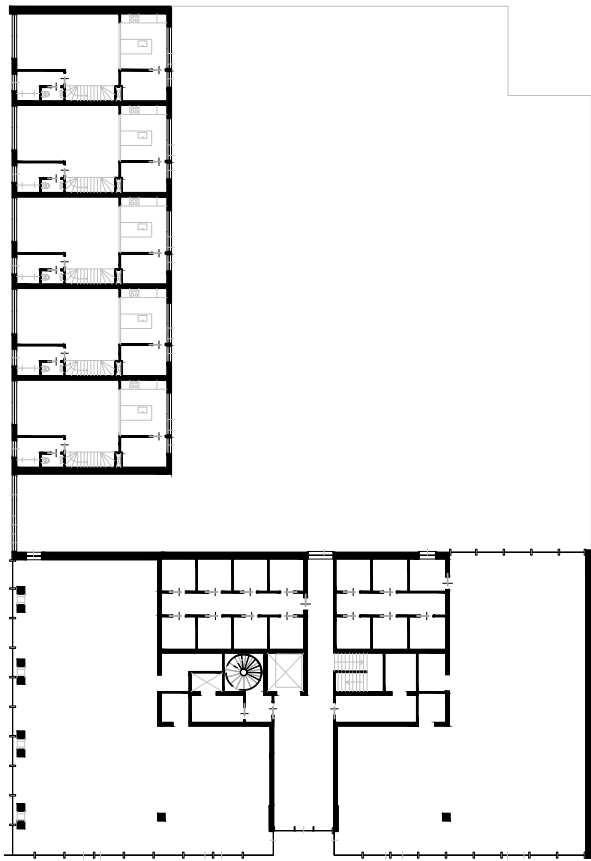


FIG 33. Plano de planta baja del edificio Patch 22 a escala 1: 500

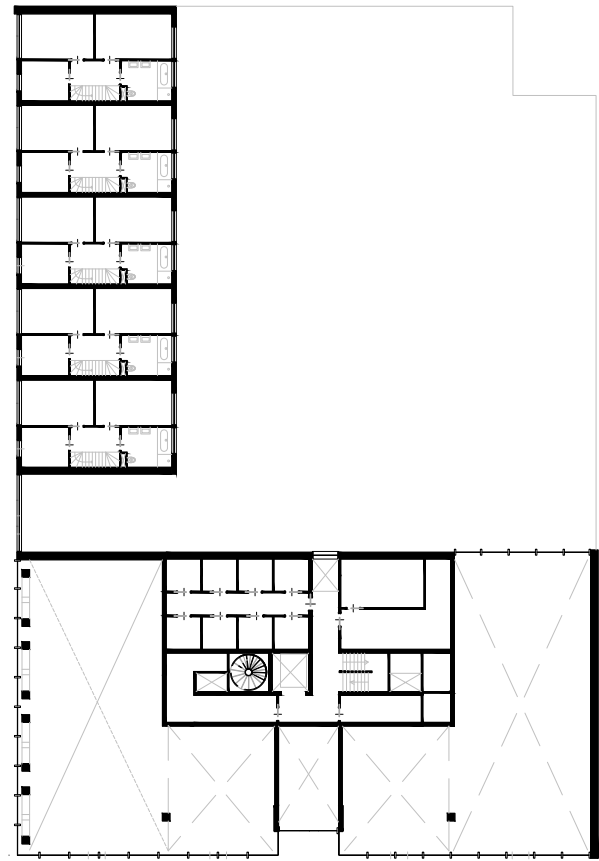


FIG 34. Plano de planta primera del edificio Patch 22 a escala 1: 500

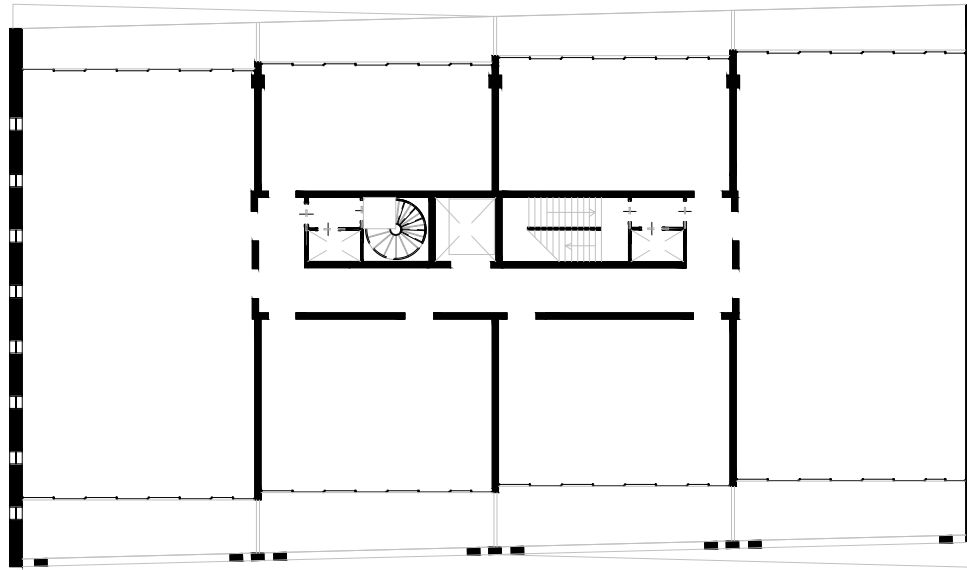


FIG 35. Plano de planta tipo sin distribución del edificio Patch 22 a escala 1: 200.

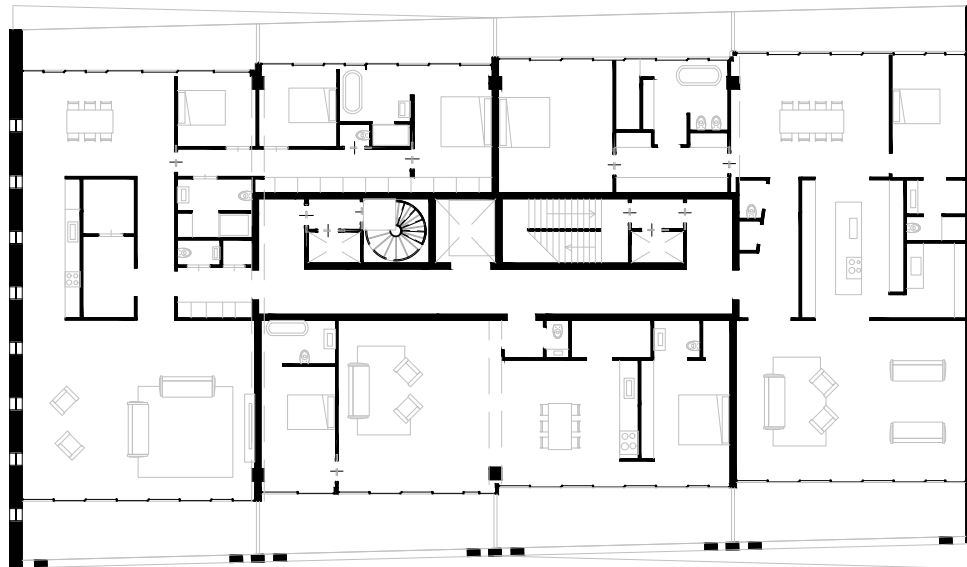


FIG 36. Plano de planta prototipo con tres viviendas del edificio Patch 22 a escala 1:200

3.4. BSH20A STORIES

BSH20A STORIES

Datos de proyecto

Ubicación: Ridderspoorweg 176, 1032 LL
Amsterdam, Países Bajos

Arquitectos: Olaf Gipsier Architects

Superficie: 5500 m²

Año de inicio: 2016

Año de finalización: 2021

Cliente: Bouwgroep BSH20A

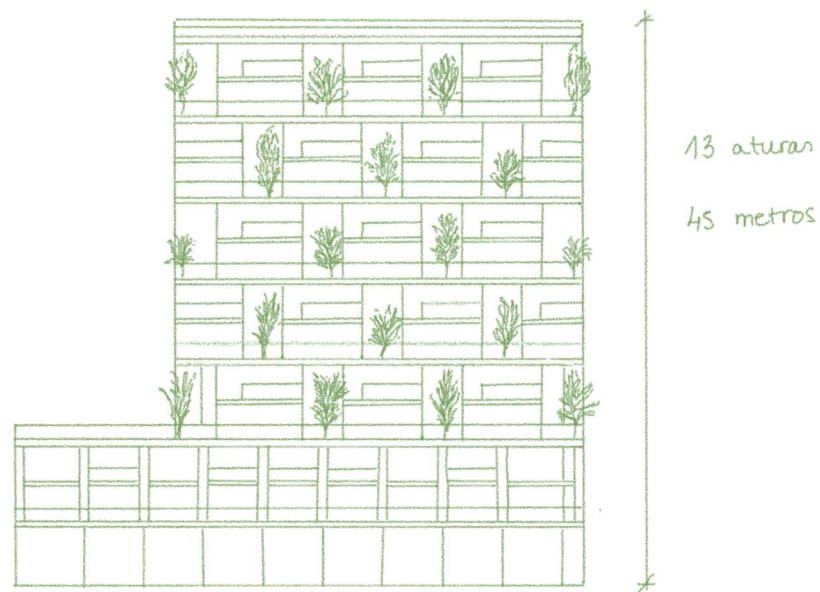


FIG 37. Boceto edificio BSH20A Stories



FIG 38. Vista fachada edificio BSH20A Stories

Este edificio está situado en un antiguo puerto industrial, en el mismo distrito que el proyecto explicado anteriormente, Patch 22. Buiksloterham, barrio que se está desarrollando culturalmente, quiere crear un entorno de vida urbana comunitaria, sostenible y saludable. Estas características se han querido reflejar en el BSH20A Stories, creado por el estudio holandés Olaf Gipser Architects que, además, ha colaborado por la cooperativa de vivienda BSH20A para asegurar un diseño sostenible tanto social como ambientalmente.

Se trata de una torre de 45 metros de altura, con 35 unidades entre espacios para vivienda y comerciales. Además, cuenta con un espacio de estacionamiento para vehículos en la planta baja, y varios espacios, tanto interiores como exteriores, para la vida colectiva.

Dispone de un espacio multifuncional y una terraza comunitaria usada como granja urbana. Los apartamentos tienen varios tamaños, oscilando entre los 43 y 182 metros cuadrados, variando su diseño también. Si embargo, todos cuentan con acceso a espacios comunitarios, como una cocina, el gimnasio y una sauna.²¹



FIG 38. Plano de situación edificio BSH20A Stories

Este proyecto también se incluye en el listado de edificios que se basan en la filosofía del Open Building por varios motivos:

- Construcción abierta: programa flexible y adaptable.
- Construcción sostenible: estructura de Mass Timber.

²¹ Astbury, 2022

ESTRUCTURA

Este edificio en altura de 45 metros está hecho principalmente de madera, aunque su estructura es mixta ya que se compone de varios materiales.

El zócalo del edificio, de 11 metros de altura, está hecho de hormigón prefabricado, así como el núcleo de circulación vertical. Por otro lado, los siguientes 34 metros de altura de la torre están diseñados con madera contralaminada (CLT). El grosor de los paneles para los muros portantes tiene es de 17 a 30 cm y absorben las cargas verticales alrededor de la zona de circulación.

Una particularidad de este edificio es la piel exterior que le rodea, una estructura metálica de acero blanco que forma las terrazas. Además, esta estructura sirve como sombra al edificio y crea un aspecto más industrial, que hace que se mimetice más en el barrio industrial de Buiksloterham.

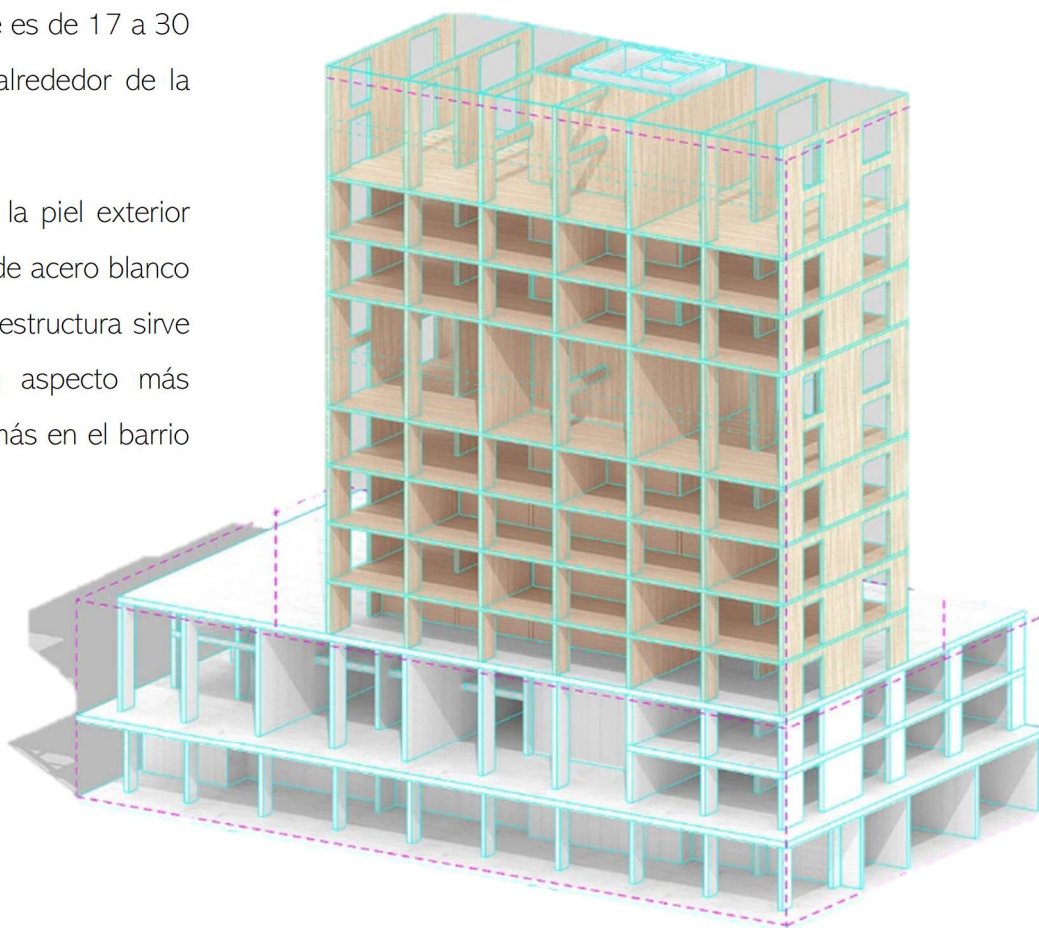


FIG 39. Axonometría de los materiales de la estructura del edificio BSH20A

ÁNALISIS INTERIOR

Al igual que el edificio Stories BSH20A, este edificio presenta una planta diáfana y flexible que permite configurar diferentes tipos de viviendas o incluso áreas comunes. Gracias a su diseño modular, con vigas transversales distribuidas cada 5 metros, cada planta puede modificarse libremente para adaptarse a distintas necesidades.

El edificio cuenta con un núcleo de comunicación en hormigón, mientras que el resto de la estructura está compuesto por madera contralaminada, un material que facilita la flexibilidad en el diseño interior de las plantas.

Como ejemplo, en la tercera planta, que es la primera sobre el zócalo de hormigón, se ha diseñado un prototipo de vivienda. Esta planta está conectada directamente con una zona común, que incluye tanto áreas interiores como exteriores. En el interior, se encuentra un gimnasio, un comedor y un espacio social accesible para todos los residentes del edificio. Desde esta área común, se accede a los jardines exteriores, que consisten en una granja urbana con diversas plantas.

Además de las áreas comunes, esta planta también alberga dos viviendas completamente equipadas. La primera vivienda, de 100 m², cuenta con dos habitaciones, un aseo, un baño y un salón que se abre a la cocina. La segunda vivienda, con 130 m², ofrece una cocina más amplia y también dispone de dos habitaciones.

Todo el edificio está rodeado de terrazas accesibles desde todas las viviendas, sostenidas por una estructura metálica. Al planificar la distribución de las plantas, se ha tenido en cuenta la ubicación de los espacios "servidos" y "sirvientes". Las zonas húmedas, como baños y cocinas, se han situado cerca de los patinillos para facilitar la instalación de servicios.

El grafismo de las distribuciones se ha realizado sin muros para destacar la flexibilidad de las plantas, indicando la adaptabilidad que tiene el edificio

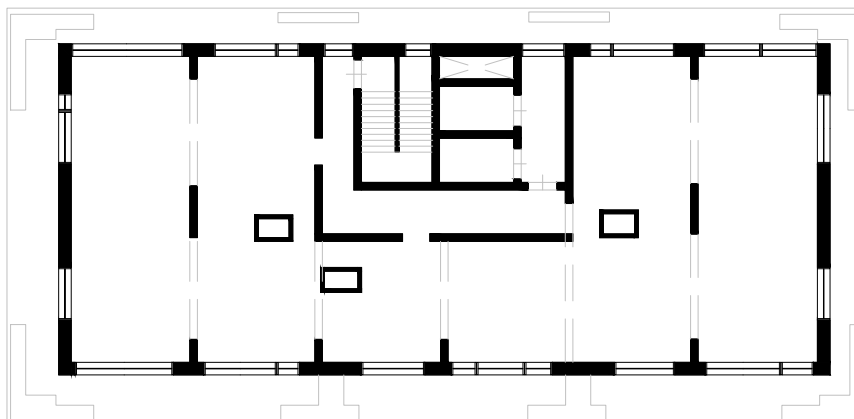


FIG 40. Plano de planta tipo sin mobiliario del edificio BSH20A a escala 1:200

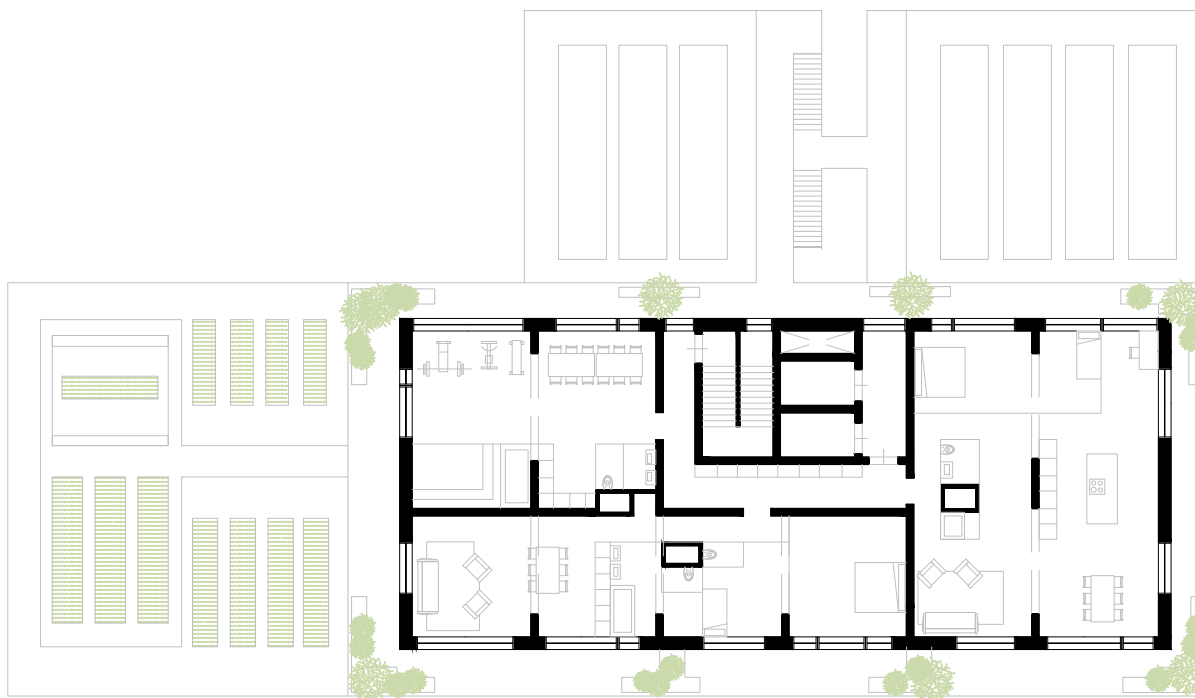


FIG 41. Plano de prototipo de planta con tres viviendas del edificio BSH20A a escala 1:200.

3.5. HAUT

HAUT

Datos de proyecto

Ubicación: Korte Ouderkerkerdijk 1, 1096 AC
Amsterdam, Países Bajos

Arquitectos: Team V

Superficie: 14500 m²

Año de inicio: 2016

Año de finalización: 2022

Cliente: Lingotto

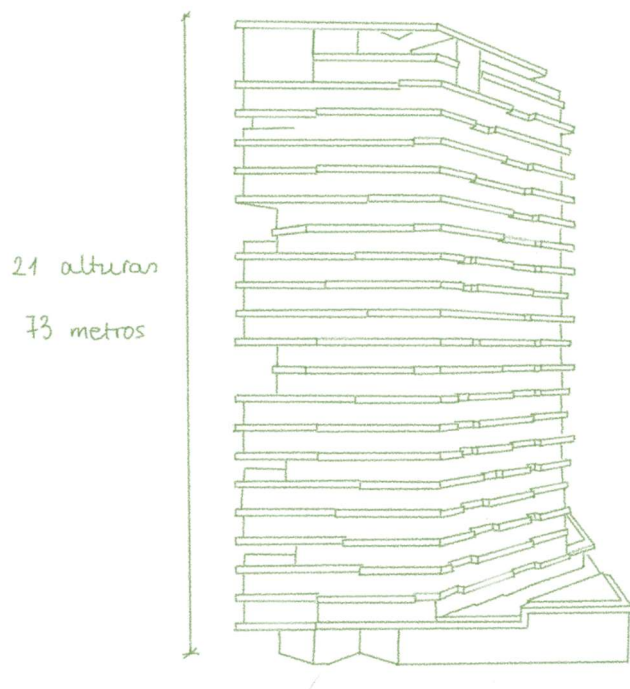


FIG 42. Boceto edificio HAUT



FIG 43. Vista edificio HAUT

Haut se ubica a orillas del río Amstel, junto al parque Somerlust, en un barrio anteriormente industrial, que se está reconvirtiendo, el distrito de Amsterlkwartier.

En 2016, el Ayuntamiento de Ámsterdam asignó la construcción de este edificio al estudio de arquitectura Team V Architecture. Esto fue gracias a su propuesta de construcción ecológica, creando un nuevo símbolo de sostenibilidad centrado en la madera, para la ciudad de Ámsterdam.

Este edificio residencial de 73 metros de altura es el más alto de Holanda con una estructura principalmente realizada con madera.

Cuenta con 50 pisos de seis tipos diferentes y de entre 100 y 225 m² y dos áticos. Además, en la planta baja hay espacio para un área comercial, así como estacionamientos en las plantas sótano y un área para bicicletas, principal medio de transporte en esta ciudad.

Por otro lado, sus plantas fueron muy flexibles desde el primer momento, como en el resto de los edificios analizados. Gracias a los planos flexibles y la construcción prefabricada de madera en la que las piezas de madera se podían cambiar, los compradores, tenían la libertad de personalizar su espacio.

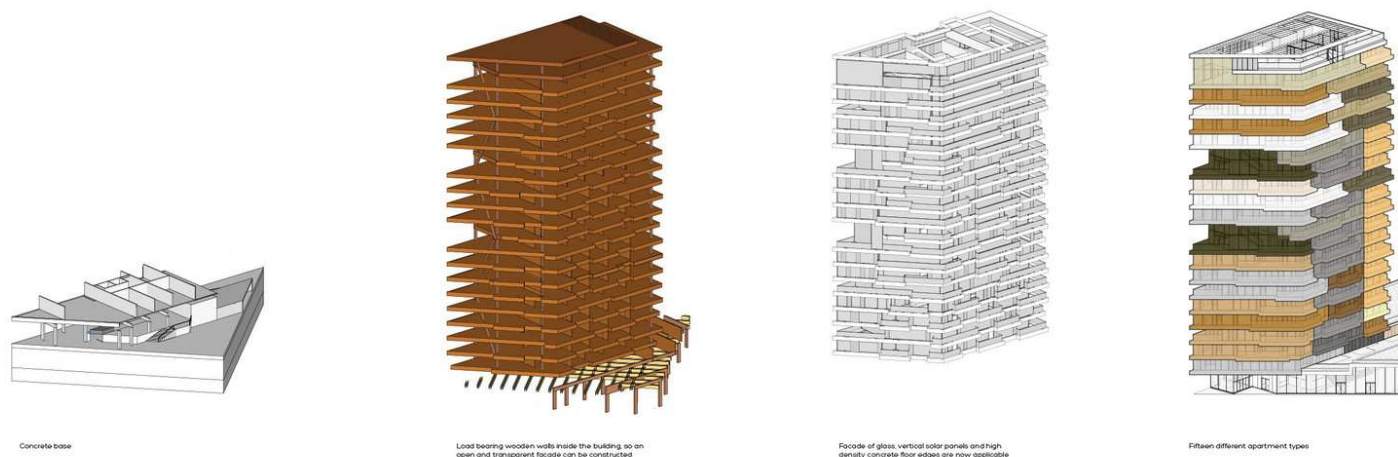


FIG 44. Diagramas del edificio HAUT. En orden, base del edificio, estructura de CLT, estructura de vidrio, y distribución de las diferentes viviendas.

ESTRUCTURA

El principio de Team V Architecture para el diseño del edificio Haut: “madera donde sea posible, acero u hormigón donde sea necesario”.

Haut contiene 2800 m³ de CLT, madera que crece en dos horas en los bosques de Austria, almacenando 2.500 toneladas de CO₂, lo que corresponde a la emisión anual de CO₂ de unos 400 hogares.²²

Se trata de una estructura híbrida, donde predomina la madera, aunque la cimentación, el sótano y el núcleo de comunicación vertical es de hormigón. Por otro lado, también tiene una estructura exterior metálica.

El objetivo era crear una arquitectura de calidad a la vez que sostenible, manteniendo las vistas al río Amstel y la entrada de luz. Por ello, se descartó una estructura portante en la fachada y, a diferencia de otros edificios con sus mismas características, este tiene muros portantes en su interior, sirviendo también de separación entre residencias. Estos muros de carga son de madera contralaminada (CLT).

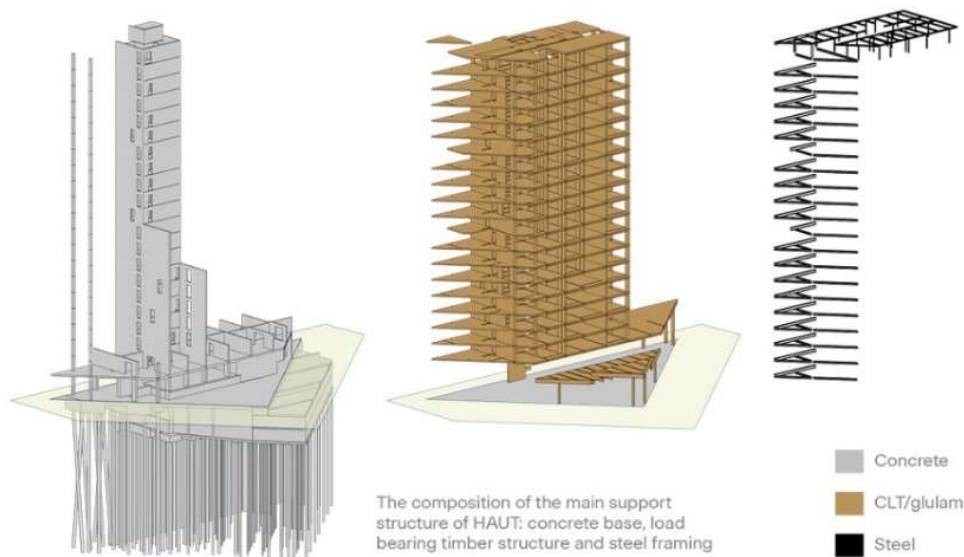


FIG 45. Diagramas de la estructura explotada del edificio HAUT, separada por materiales.

²² Geberit, 2024

Por razones arquitectónicas, los forjados iban a estar expuestos, para crear una sensación de confort. Para esto se elige un tipo de panel TCC (por sus siglas en inglés).

Se trata de un panel de CLT de 16 cm con una capa superior de hormigón de 8 cm. Está diseñado a medida por todas las partes participantes del proyecto, buscando una técnica innovadora y asequible y, utilizando la mayor cantidad de madera posible.

Este sistema híbrido funciona con la colaboración de sus dos capas, el CLT soporta las fuerzas de tracción y el hormigón soporta las de compresión.

Este suelo también aporta facilidades en el transporte ya que se obtiene un suelo relativamente delgado que no pesa. Esto permite la carga de gran cantidad de paneles y la aceleración de la obra.

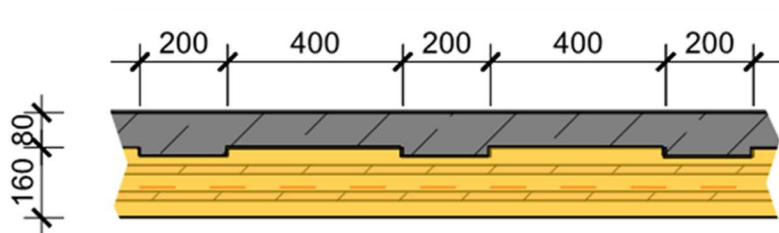


FIG 46. Detalle constructivo del forjado del edificio HAUT

En las zonas donde los forjados no apoyan en ningún muro portante, se han colocado vigas de Gluglam. Así se aumenta la rigidez del piso y se soportan las cargas de la fachada y el balcón y las transmiten a la estructura portante. Además, sirven para arriostrar el conjunto de la estructura, actuando como un amarre estructural.

Las columnas y vigas, sin embargo, son de Gluglam, siendo este tipo de Mass Timber muy apropiado en estos elementos.

Además, en los apartamentos donde los pisos tienen un voladizo, se colocan vigas de borde de hormigón armado apoyadas en dos columnas de hormigón. Se eligió esta opción porque la madera requería elementos muy grandes y no dejaba vistas a los apartamentos de la esquina.



FIG 47. Vista en obra del forjado del edificio HAUT

Por otro lado, la estructura de hormigón creada en la base de la torre funciona como un robusto “zócalo”. Consiste en dos sótanos, la planta baja y la planta primera.

Además, la estabilidad lateral y la protección antiincendios es proporcionada por el núcleo central hecho de hormigón. Los efectos torsionales resultantes de las cargas de viento los resisten dos muros de CLT.

El sistema de cimentación son pilotes de inyección de lechada con tornillos de acero “TUBEX”. En el diseño de la cimentación fue determinante la rigidez que necesitaba el edificio y, sobre todo, los suelos blandos que hay cerca de los canales de Ámsterdam. También fue importante la existencia de un terraplén en las inmediaciones.

En los primeros diseños se plantearon dos sistemas de construcción:²³

- Un sistema híbrido de acero – madera (marco arriostrado de acero y paredes de CLT)
- Un sistema híbrido de hormigón – madera (núcleo de hormigón y paredes de CLT)

DESAFÍOS SISTEMA ACERO – MADERA

El primer desafío fue que los conectores que se utilizan para los paneles CLT reduce la rigidez global de la pared un 70%, por lo que se intentó solucionar este problema. La solución fue la colocación de un amarre de acero a lo largo de la altura de la pared.

Por otro lado, también surgió otro problema. Los planos habían sido diseñados con una serie de aberturas en las paredes que comprometían su estabilidad al colocarlas una encima de la otra. Para solucionarlo, se colocaron las aberturas de manera escalonada, funcionando como piezas encajadas una en la otra y no dos piezas separadas completamente.

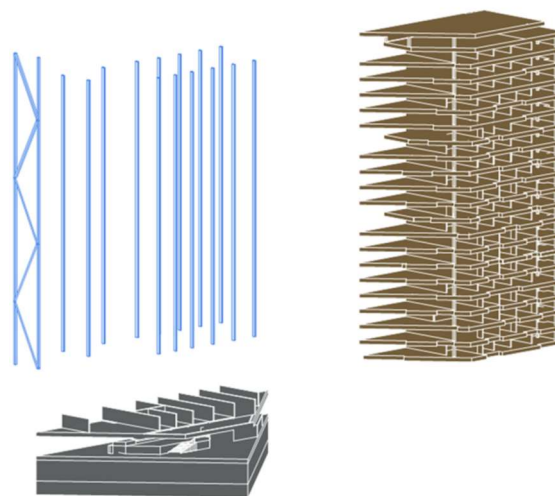


FIG 48. Esquema del sistema híbrido acero – madera

²³ Verhaegh, R. et al (2020).

DESAFÍOS SISTEMA HORMIGÓN – MADERA

Este sistema garantiza la estabilidad lateral del edificio gracias a un núcleo central de hormigón y dos paredes de CLT.

El primer problema que hubo fue a causa del diseño, el cual colocaba el núcleo de hormigón excéntricamente. Esta excentricidad introduce efectos torsionales a causa del viento, aumentando también las vibraciones. Para reducir estos efectos, las paredes portantes forman parte del sistema de estabilidad y el núcleo de hormigón extiende unas paredes hasta una cierta altura (ver FIG. 50).

Comparando estos dos sistemas, se llegó a la conclusión de que la alternativa de hormigón y madera era la más adecuada debido a varios factores, entre ellos, que era más sostenible.

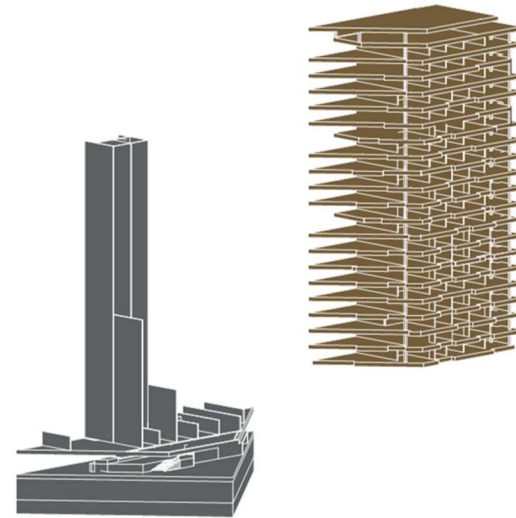


FIG 49. Esquema del sistema híbrido hormigón – madera. Solución adoptada para la construcción del edificio.

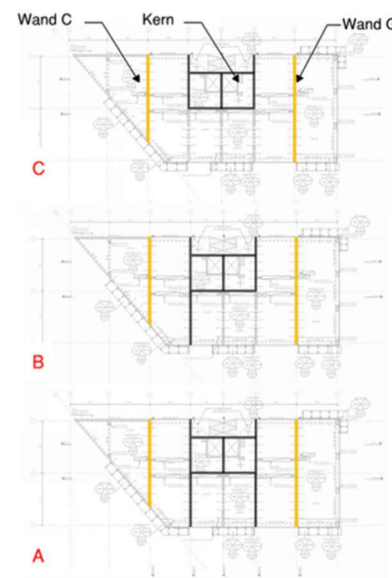
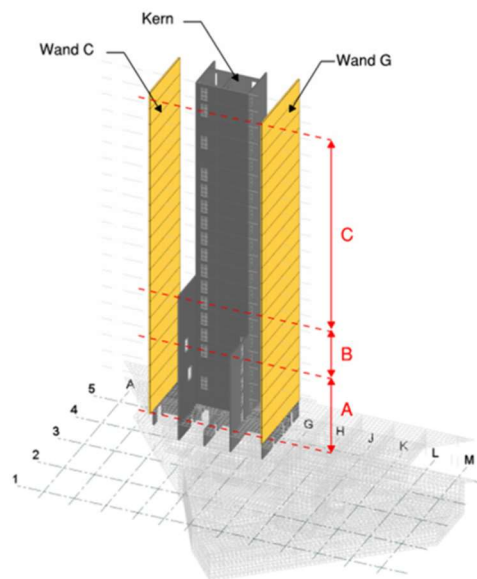


FIG 50. Esquema de solución adoptada para la estabilidad del edificio HAUT.

SOSTENIBILIDAD

El certificado BREEAM (Building Research Establishment Environmental Assessment Methodology) es un sistema de evaluación de la sostenibilidad de edificios, creado en el Reino Unido en 1990. Su propósito principal es promover la construcción sostenible evaluando diversos aspectos relacionados con el impacto ambiental y el uso eficiente de recursos en las edificaciones.

El certificado evalúa distintas áreas. En el caso de viviendas, se analizan los siguientes diez aspectos:²⁴

1. Gestión: Evalúa cómo se gestiona el proceso de construcción y operación del edificio. Esta categoría mide la planificación y la implementación de estrategias que aseguren una ejecución eficiente, minimizando errores, desperdicios y retrasos.

2. Salud y bienestar: Aquí se analiza cómo el diseño del edificio impacta en la comodidad, seguridad y salud de sus ocupantes. Aspectos como la calidad del aire interior, la ventilación natural, la iluminación natural y la acústica son clave para garantizar un entorno saludable.

3. Energía: La eficiencia energética es una de las categorías más importantes, ya que evalúa la cantidad

de energía que utiliza el edificio y cómo se gestiona su consumo. BREEAM considera la eficiencia de los sistemas de calefacción, ventilación y aire acondicionado (HVAC), el uso de fuentes de energía renovables, y la implementación de tecnologías que reduzcan el consumo energético, como iluminación LED y aislamiento eficiente.

4. Transporte: Esta categoría examina la accesibilidad y conectividad del edificio en relación con los medios de transporte disponibles. Se evalúa la cercanía del edificio a redes de transporte público, la infraestructura para bicicletas y la disponibilidad de estacionamientos para vehículos eléctricos.

5. Agua: Evalúa la eficiencia en el uso y gestión del agua dentro del edificio. Se tienen en cuenta las instalaciones que promuevan un menor consumo, como grifos y duchas de bajo flujo, inodoros de doble descarga y sistemas de reutilización de aguas grises y pluviales.

6. Materiales: Analiza el impacto ambiental de los materiales utilizados en la construcción, priorizando aquellos que son sostenibles, de bajo impacto y que poseen certificaciones ambientales.

²⁴ Econfort & Salud, 2023

7. Residuos: Esta categoría examina la gestión de residuos durante la construcción y la vida útil del edificio. Se mide la capacidad del edificio para reducir, reutilizar y reciclar residuos, tanto durante el proceso de construcción como en su uso diario.

8. Uso ecológico del suelo: Evalúa el impacto del edificio en el entorno natural. Se considera la reutilización de suelos ya urbanizados o degradados en lugar de nuevos desarrollos sobre áreas naturales.

9. Contaminación: En esta categoría se evalúa cómo el edificio minimiza la contaminación al aire, agua y suelo durante su construcción y operación.

10. Innovación: La categoría de innovación premia a aquellos proyectos que van más allá de los requisitos estándar de BREEAM, implementando soluciones o tecnologías que aporten beneficios adicionales en sostenibilidad. Aquí se incentiva la creatividad en el diseño y construcción, reconociendo avances pioneros que mejoren aún más la eficiencia energética o el bienestar de los ocupantes.

En septiembre de 2023, este edificio fue el primer proyecto residencial de los Países Bajos en ser reconocido por la certificación BREEAM-NL Outstanding. Este reconocimiento es otorgado a muy pocos edificios de gran altura en todo el mundo y es

el primero en Holanda en lograrlo. Se trata de la más alta certificación de sostenibilidad.

Anteriormente, ya había recibido el Premio Internacional BREEAM 2018, antes de ser construida, demostrando que se puede construir una arquitectura vanguardista con materiales naturales como la madera.



FIG 51. Certificación BREEAM-NL Outstanding otorgada al edificio HAU T.

ÁNALISIS INTERIOR

HAUT es sinónimo de lujo y sostenibilidad y así, se ha consolidado como pionero de los rascacielos de madera en Holanda. Este emblemático edificio se destaca por la innovación en su diseño estructural y su enfoque en la arquitectura sostenible. Una de sus principales características es la decisión de colocar la estructura portante en el interior del edificio, lo que permite que el perímetro esté completamente rodeado de grandes cristalerías. Esto no solo maximiza la entrada de luz natural, sino que también mejora la calidad espacial y visual,

La estructura del edificio se basa en cuatro muros portantes interiores que cumplen una doble función: separan las viviendas y también delimitan las estancias dentro de cada unidad. Estos muros, colocados a 6 metros de distancia entre sí, contribuyen a la estabilidad del rascacielos, distribuyendo las cargas de manera eficiente y proporcionando una base sólida para su altura.

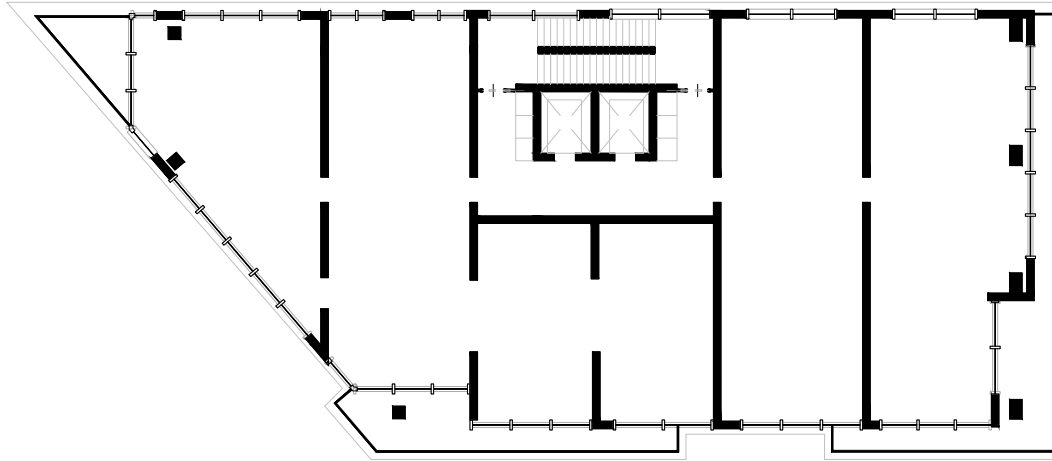
Una de las principales ventajas del sistema constructivo de HAUT, basado en madera contralaminada (CLT), es la posibilidad de modificar fácilmente la distribución interior de las viviendas. Los inquilinos pueden personalizar sus espacios según sus necesidades, lo que añade un componente de

adaptabilidad que no se suele encontrar en edificios de esta magnitud.

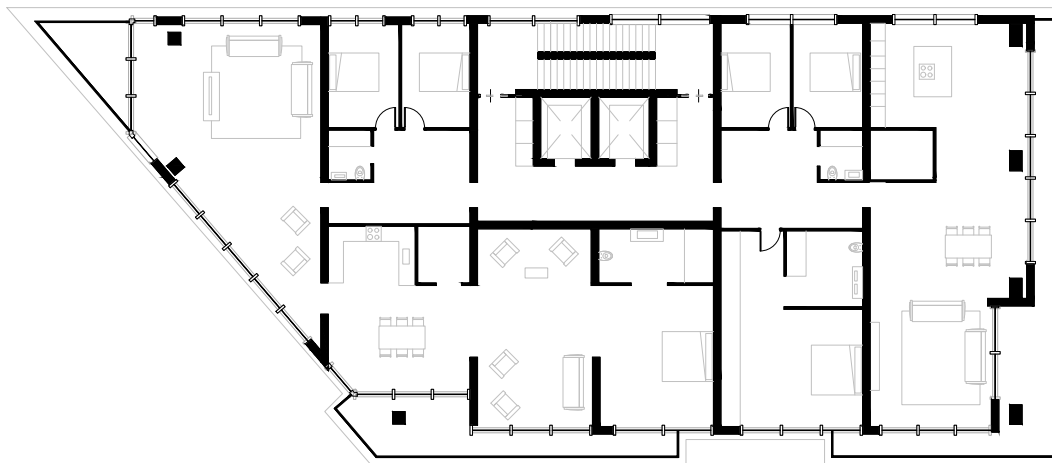
Como ejemplo, en uno de los pisos superiores, donde la terraza tiene una forma triangular, he dibujado dos amplias viviendas. La primera, con una superficie de 225 m², incluye un gran salón conectado a una terraza exterior, tres habitaciones, una cocina-comedor y una zona de lavandería.

En el mismo piso, se encuentra una segunda vivienda, algo más reducida, de 175 m². Esta unidad cuenta con tres habitaciones, una de ellas en suite, así como un salón, comedor y cocina integrados. Al igual que la primera vivienda, dispone de una zona de lavandería y amplios espacios bien iluminados.

Cada planta del edificio cuenta con balcones y terrazas que ofrecen a los residentes acceso directo al exterior, creando una conexión constante con el entorno y maximizando las vistas.



- FIG 52. Plano de planta tipo sin distribución del edificio HAUT a escala 1:200.



- FIG 53. Plano de planta prototipo con dos viviendas del edificio HAUT a escala 1:200.

4. CONCLUSIONES

4.1. COMPARACIÓN 3 EDIFICIOS

Al comparar los edificios Patch 22, BSH20A Stories, y HAUT, se pueden observar similitudes y diferencias tanto en su diseño arquitectónico como en sus principios de construcción y sostenibilidad.

1. UBICACIÓN Y CONTEXTO

Patch 22 está situado en Buiksloterham, una antigua zona industrial de Ámsterdam que está experimentando una transformación hacia un barrio cultural. Este edificio fue diseñado como parte de un proyecto sostenible orientado a la regeneración urbana.

Por otro lado, BSH20A Stories también se encuentra en Buiksloterham, cerca de Patch 22, y comparte el mismo objetivo de revitalización de un antiguo puerto industrial. Al igual que Patch 22, este edificio adopta la filosofía de Open Building para fomentar la sostenibilidad y la adaptabilidad.

En cambio, HAUT está ubicado a orillas del río Amstel, en el distrito de Amsterlkwartier, una zona industrial en proceso de transición. A diferencia de los anteriores, HAUT se distingue por su proximidad a un entorno natural.

2. ALTURA Y TAMAÑO

Patch 22, con 30 metros de altura y 5400 m², es el más bajo de los tres, y durante algunos años fue el edificio de madera más alto de los Países Bajos. En cambio, BSH20A Stories, con una altura intermedia de 45 metros y una superficie de 5500 m², destaca por su mayor altura, lo que lo convierte en un referente en la zona. Por otro lado, HAUT, con 73 metros de altura y una superficie de 14,500 m², es considerablemente más grande que los dos anteriores. Además, fue diseñado para convertirse en el edificio de madera más alto de los Países Bajos.

3. USO DEL ESPACIO Y ADAPTABILIDAD

El edificio Patch 22 se adapta a múltiples usos; específicamente, las dos primeras plantas están dedicadas a espacios comerciales, mientras que las plantas superiores se destinan al uso residencial. Esta flexibilidad se debe a la ausencia de particiones internas, lo que permite a los residentes modificar las configuraciones de sus viviendas según sus necesidades.

De manera similar, el edificio BSH20A Stories también presenta un uso mixto con espacios comerciales y residenciales. Sin embargo, se diferencia por su

énfasis en la comunidad, al ofrecer zonas comunes como una cocina, un gimnasio, una sauna y una granja urbana en su terraza. Además, la disposición de los espacios recae en los inquilinos, quienes inicialmente disfrutaban de un espacio libre para personalizar.

Por otro lado, el edificio HAUT es principalmente residencial, aunque incluye también espacios comerciales y un área para estacionamiento. Su principal atractivo radica en su flexibilidad, permitiendo a los compradores personalizar sus apartamentos mediante planos abiertos y una construcción modular de madera prefabricada.

4. MATERIALES Y SOSTENIBILIDAD

Patch 22 se distingue por su estructura principal de madera, utilizando una combinación de glulam y CLT. Este uso de madera reduce significativamente la huella de carbono del edificio al almacenar CO₂. La estructura mixta con hormigón está restringida a las áreas necesarias, como el núcleo de circulación y la base.

BSH20A Stories, al igual que Patch 22, emplea una estructura mixta con una base de hormigón y una torre de madera (CLT) de 34 metros. Sin embargo, destaca por su estructura metálica exterior, que no solo le

confiere un aspecto industrial, sino que también contribuye a la protección solar y a la creación de terrazas.

Por otro lado, HAUT sigue el principio de "madera donde sea posible, hormigón donde sea necesario". Con una estructura híbrida que utiliza 2800 m³ de CLT, demuestra cómo la madera puede ser empleada en grandes alturas. Además, HAUT ha sido galardonado con la certificación BREEAM-NL Outstanding, lo que subraya su contribución a la sostenibilidad a nivel internacional.

5. ESTRUCTURA

La estructura de los tres edificios se basa en un sistema común que combina madera contralaminada (CLT) con hormigón en algunas de sus partes. No obstante, la manera en que se distribuyen las cargas y se organizan los elementos estructurales presenta diferencias significativas entre ellos.

En los primeros dos edificios, Patch 22 y BSH20A Stories, las cargas se reparten principalmente en los muros portantes situados en la envolvente del edificio. Este enfoque implica que las paredes exteriores son responsables de soportar la mayor parte de las cargas verticales y laterales, lo que limita las posibilidades de

apertura y flexibilidad en las fachadas. Como resultado, estos edificios mantienen una configuración más tradicional con menos posibilidades para grandes ventanales o aberturas en las paredes exteriores.

Por el contrario, en HAUT, la estrategia es diferente. Aquí, los muros portantes se trasladan al interior del edificio, permitiendo que las fachadas exteriores sean completamente abiertas. Esta disposición no solo facilita la inclusión de grandes aberturas de suelo a techo, sino que también proporciona una mayor flexibilidad en el diseño de las fachadas y mejora la conexión visual y espacial con el entorno exterior. La estructura interna soporta las cargas, mientras que las paredes exteriores pueden aprovecharse para maximizar la luz natural y las vistas.

6. ENFOQUE COMUNITARIO

Patch 22 se enfoca en la flexibilidad y personalización de las viviendas; sin embargo, no pone un gran énfasis en las áreas comunitarias compartidas.

BSH20A Stories, por otro lado, destaca por su fuerte enfoque comunitario. Ofrece una variedad de espacios comunes, como la granja urbana en la terraza, lo que promueve tanto la sostenibilidad social como ambiental.

En contraste, HAUT no está tan centrado en la vida comunitaria como BSH20A. No obstante, se proyectó con el objetivo de ofrecer viviendas personalizables y un alto nivel de sostenibilidad, beneficiando así tanto a los residentes como a la ciudad.

En definitiva, Los tres edificios representan el futuro de la arquitectura sostenible en Ámsterdam, con un uso predominante de madera en sus estructuras y un enfoque en la flexibilidad y adaptabilidad de los espacios. Patch 22 y BSH20A Stories se centran más en la vida comunitaria y el desarrollo urbano sostenible, mientras que HAUT es un referente en altura, sostenibilidad, lujo e innovación mostrando un diseño más orientado a la eficiencia energética y la integración con el entorno natural.

Frantzen sobre el edificio Haut de la firma de arquitectura Team V Architecture: "Ese proyecto está siendo realizado por un promotor comercial, y jamás se habrían atrevido a hacerlo sin el éxito de este edificio", refiriéndose al Patch 22.

Con esta frase se concluye también que el edificio Patch 22 fue el inicio de los edificios en altura hechos con madera en Holanda. Gracias a la iniciativa de estos arquitectos, en apenas 5 años, se ha dado visibilidad a este tipo de edificios y se ha incrementado la altura de las nuevas construcciones.

4.2. CONCLUSIÓN PERSONAL

Los edificios en altura de madera representan un cambio radical en la forma de concebir la arquitectura. Esta tendencia es un gran avance hacia una arquitectura mucho más sostenible y respetuosa con el medio ambiente.

Gracias a este trabajo de investigación, he comprendido lo importante que es el impacto que tiene el sector de la construcción en el planeta. La madera es definitivamente la solución.

En un momento en que las ciudades están creciendo y la demanda de viviendas aumenta, estos edificios ofrecen una solución que, además de responder a la crisis climática, son rápidos de elaborar y mejoran la calidad de vida de sus residentes.

Además, el uso de madera permite una mayor flexibilidad y personalización en el diseño, algo muy importante en el futuro, ya que las ciudades son cada vez más cambiantes, así como las personas y las familias que habitan estas viviendas.

Existen barreras que superar en relación con este material, sobre todo por la competencia en el mercado de otros materiales como el hormigón o el acero. Sin

embargo, gracias a rascacielos de madera exitosos como el HAUT, se va tomando conciencia y la madera empieza a ser vista como un material viable.

En conclusión, estos edificios de madera representan la innovación tecnológica, así se ha demostrado en varios ejemplos que recorren toda Europa y son, el futuro de la construcción.

5. REFERENCIAS

- Abed, J.; Rayburg, S.; Rodwell, J.; Neave, M. (2022) A Review of the Performance and Benefits of Mass Timber as an Alternative to Concrete and Steel for Improving the Sustainability of Structures. Sustainability,14,5570. <https://doi.org/10.3390/su14095570>
- Astbury, J. (2022). Planted Surround Stories housing in Amsterdam by Olaf Gipser Architects. Dezeen. Disponible en enlace: <https://www.dezeen.com/2022/10/19/olaf-gipser-architects-stories-housing-amsterdam/>
- Dlubal. (2022). *Edificio residencial BSH20A "Stories" en Ámsterdam, Países Bajos.*
- Econfort & Salud. (2023.). *El certificado BREEAM: ¿Qué es y qué evalúa?* Econfort & Salud. <https://econfortysalud.com/passivhaus-y-arquitectura-bioclimatica/el-certificado-breeam-que-es-y-que-evalua/>
- Frantzen et al architects (2017). *The architect as developer. High-rise in wood.* Disponible en enlace: <https://patch22.nl/>
- Fundación Ellen MacArthur (2024) *El objetivo es la circularidad al 100%: Ámsterdam.* Disponible en enlace: <https://www.ellenmacarthurfoundation.org/es/ejemplos-circulares/configurando-una-economia-colaborativa-amsterdam>
- Ge, M. et al (2021) *Cuatro gráficos que explican las emisiones de gases de efecto invernadero por país y por sector.* Disponible en enlace: <https://es.wri.org/insights/cuatro-graficos-que-explican-las-emisiones-de-gases-de-efecto-invernadero-por-pais-y-por#>- Consultado 10. jul. 24

- Geberit. (2024). *Alto nivel junto al Amstel. HAUT, Ámsterdam (Países Bajos)*. Disponible en enlace: <https://www.geberit.es/know-how/proyectos-de-referencia/haut-amsterdam/>
<https://doi.org/10.21022/IJHRB.2020.9.3.213>
<https://growingbuildings.com/construccion-y-emisiones-co2-a-la-atmosfera/> Consultado 5. ago. 24
- International Code Council. (2018). Ad Hoc Committee-Tall Wood Buildings.
- Lange, M. (2021). *Mass Timber Construction in The Netherlands: The redesign of a traditionally built office tower in mass timber*. Eindhoven University of Technology.
- Linn (2019, marzo). *Construcción y emisiones CO2 a la atmósfera*. Growing Buildings. Disponible en enlace:
- Mordor Intelligence. (2021). *Tamaño del mercado de madera laminada cruzada y análisis de participación tendencias de crecimientos y pronósticos (2024-2029)*. Disponible en enlace: <https://www.mordorintelligence.com/es/industry-reports/cross-laminated-timber-market>
- Morillón, D. (2020) Edificios resilientes: una respuesta ante el cambio climático. Revista Mundo HVAC&R. Disponible en enlace: <https://www.mundohvacr.com/2020/01/edificios-resilientes-una-respuesta-ante-el-cambio-climatico/> - Consultado 12. Ago. 24
- New Buildings Institute (2022) *Lifecycle GHG Impacts in Building Codes*.
- Nieves V. (2021) *El precio de la vivienda se dispara en plena crisis en Holanda ante una escasez "inédita" de inmuebles*. Enlace disponible: <https://www.eleconomista.es/vivienda/noticias/11118631/03/21/EL-precio-de-la-vivienda-se-dispara-en-plena-crisis-en-Holanda-ante-una-escasez-inedita-de-inmuebles.html> - Consultado 12 Ago 2024

- Open Building Co. (2023). *OpenBuilding.co building for the future*. Disponible en enlace: <https://www.openbuilding.co/>
- Palou, O. (2023) *La complejidad del análisis de estructuras industrializadas con CLT (Parte II, las herramientas)*. Revista Madera y Construcción
- Pintos, P. (2022). HAUT Amsterdam Residential Building / Team V Architecture. Archdaily. Disponible en enlace: <https://www.archdaily.com/989552/haut-amsterdam-residential-building-team-v-architecture> - Consultado 16. ago. 24
- Safarik et al. (2022). *State of Tall Timber 2022*. CTBUH Research. CTBUH Journal. 2022 Issue I
- Schuler, T.A. (2018). Patch22's Timber Structure Faces the Weather. Architect magazine. Disponible en enlace: https://www.architectmagazine.com/technology/architectural-detail/patch22s-timber-structure-faces-the-weather_o
- Souza, E. (2022). ¿Cuál es el impacto ambiental de cada material de construcción?" [Qual o impacto ambiental de cada material de construção?] 30 jul 2022. ArchDaily en Español. (Trad. Rojas, Piedad) Consultado 3. ago. 24. Disponible en enlace: <https://www.archdaily.cl/cl/985875/cual-es-el-impacto-ambiental-de-cada-material-de-construccion> ISSN 0719-8914
- Vega, D. (2023). *Open Building Collective: Hacia una vivienda colectiva abierta*. Trabajo fin de grado. Escuela Técnica Superior de Arquitectura: Universidad Politécnica de Madrid.
- Verhaegh, R. et al (2020). *Haut - A 21-storey Tall Timber Residential Building*. International Journal of High-Rise Buildings, 9(3), 213–220.

IMÁGENES

- FIG 1. Emisiones de CO2 por sectores. Elaboración propia, con datos de Fuente: <https://growingbuildings.com/construccion-y-emisiones-co2-a-la-atmosfera/>
- FIG 2. Etapas del ciclo de vida del carbono del edificio. Fuente: New Building Institute
- FIG 3. La pirámide de materiales de construcción. Impacto que tienen en el medioambiente. Fuente: <https://www.archdaily.cl/cl/985875/cual-es-el-impacto-ambiental-de-cada-material-de-construccion/62bf40d1be2c390166ca23b0-what-is-the-environmental-impact-of-each-building-material-photo>
- FIG 4. Ciclo de la madera como material renovable. Fuente: <https://tectonica.archi/articles/construccion-con-madera-clt-en-el-estudio-waugh-thistleton-architects/>
- FIG 5. Axonometría funcionamiento de la madera contralaminada. Fuente: <https://xilonor.es/clt/>
- FIG 6. Placa de madera contralaminada con los correspondientes huecos. Fuente: <https://kallesoemachinery.com/laminated-wood-products/>
- FIG 7: Viga de Glulam. Fuente: <https://kallesoemachinery.com/laminated-wood-products/>
- FIG 8. Axonometría funcionamiento sistema NLT. Fuente: <https://www.thinkwood.com/mass-timber/nail-laminated-timber-nlt>
- FIG 9. Axonometría funcionamiento sistema DLT. Fuente: <https://www.thinkwood.com/mass-timber/dowel-laminated-timber-dlt>
- FIG 10. Tabla comparativa tipos de Mass Timber Elaboración propia
- FIG 11. Funcionamiento de la metodología BIM. Diferentes niveles de trabajo. Fuente: Cámara Argentina de la Construcción.
- FIG 12. Modelado 3D en agacad. Fuente: <https://agacad.com/blog/webinar-clt-panels-walls-floors-roofs-revit>
- FIG 13. Escasez de vivienda en el mercado inmobiliario. Comparativa del porcentaje de viviendas a la venta sobre el stock total a lo largo de los años. Fuente: <https://www.eleconomista.es/vivienda/noticias/11118631/03/21/El-precio-de-la-vivienda-se-dispara-en-plena-crisis-en-Holanda-ante-una-escasez-inedita-de-inmuebles.html>

- FIG 14. Revista CTBUH que incluye la sección "Tall Timber: A Global Audit". Fuente: https://store.ctbuh.org/journal/263-2022-issue-i-digital-only.html?search_query=timber&results=14
- FIG 15. Evolución de los edificios más altos de madera del mundo. Fuente: <https://www.ctbuh.org/audit-of-mass-timber-construction>
- FIG 16. Gráfico porcentaje de edificios de madera por continentes. Elaboración propia con datos de <https://www.ctbuh.org/audit-of-mass-timber-construction>
- FIG 17. Gráfico porcentaje de tipo de estructura de edificios con Mass Timber en el mundo. Elaboración propia con datos de <https://www.ctbuh.org/audit-of-mass-timber-construction>
- FIG 18. Gráfico porcentaje de cada uso de los edificios de Mass Timber. Elaboración propia con datos de <https://www.ctbuh.org/audit-of-mass-timber-construction>
- FIG 19. Tabla edificios más altos de Holanda construidos con Mass Timber. Elaboración propia con datos del <https://www.ctbuh.org>
- FIG 20. Vista edificio PATCH 22. Fuente: <https://www.arkitectureonweb.com/es/-/proyectos/patch22>
- FIG 21. Vista edificio BSH20A. Fuente: <https://www.dlubal.com/es/descargas-e-informacion/referencias/proyectos-de-clientes/001275>
- FIG 22. Vista edificio Top-up. Fuente: <https://vdndp.nl/en/projecten/top-up-in-amsterdam/>
- FIG 23. Vista edificio Sawa. Fuente: <https://mei-arch.eu/en/projects/sawa/>
- FIG 24. Vista edificio Hotel Jakarta. Fuente: <https://hoteljakarta.com/>
- FIG 25. Vista edificio Haut. Fuente: <https://www.archdaily.com/989552/haut-amsterdam-residential-building-team-v-architecture>
- FIG 26. Boceto edificio Patch 22. Elaboración propia
- FIG 27. Vista edificio Patch 22. Fuente: <https://www.arkitectureonweb.com/es/-/proyectos/patch22>
- FIG 28. Plano de situación del edificio Patch 22. Fuente: <https://www.arketipomagazine.it/patch-22-frantzen-et-al-architecten-amsterdam/>
- FIG 29. Axonometría general estructura. Fuente: <https://www.openbuilding.co/>
- FIG 30. Edificio Patch 22 en construcción con andamios. Fuente: <https://www.arketipomagazine.it/patch-22-frantzen-et-al-architecten-amsterdam/>

- FIG 31. Ensamblaje de un muro de CLT. Fuente: <https://www.arketipomagazine.it/patch-22-frantzen-et-al-architecten-amsterdam/>
- FIG 32. Vigas y columnas glulam del edificio Patch 22. Fuente: <https://www.arketipomagazine.it/patch-22-frantzen-et-al-architecten-amsterdam/>
- FIG 33. Plano de planta baja del edificio Patch 22 a escala 1: 500. Elaboración propia
- FIG 34. Plano de planta primera del edificio Patch 22 a escala 1: 500. Elaboración propia
- FIG 35. Plano de planta tipo sin distribución del edificio Patch 22 a escala 1: 200. Elaboración propia.
- FIG 36. Plano de planta prototipo con tres viviendas del edificio Patch 22 a escala 1:200. Elaboración propia.
- FIG 37. Boceto edificio BSH20A Stories. Elaboración propia
- FIG 38. Plano de situación edificio BSH20A Stories Fuente: <https://solarlux.com/en-gb/inspiration/case-studies/stories-amsterdam.html>
- FIG 39. Axonometría de los materiales de la estructura del edificio BSH20A. <https://olafgipser.com/projects/residential-building-bsh/#8>
- FIG 40. Plano de planta tipo sin mobiliario del edificio BSH20A a escala 1:200. Elaboración propia
- FIG 41. Plano de prototipo de planta con tres viviendas del edificio BSH20A a escala 1:200. Elaboración propia.
- FIG 42. Boceto edificio HAUT. Elaboración propia
- FIG 43. Vista edificio HAUT. Fuente: <https://www.archdaily.com/989552/haut-amsterdam-residential-building-team-v-architecture/633188a4a1533e1d6a16778d-haut-amsterdam-residential-building-team-v-architecture-photo>
- FIG 44. Diagramas del edificio HAUT. En orden, base del edificio, estructura de CLT, estructura de vidrio, y distribución de las diferentes viviendas. Fuente: <https://www.archdaily.com/989552/haut-amsterdam-residential-building-team-v-architecture/6331871de4235314b4264ae8-haut-amsterdam-residential-building-team-v-architecture-diagram>
- FIG 45. Diagramas de la estructura explotada del edificio HAUT, separada por materiales. Fuente: <https://www.archdaily.com/989552/haut-amsterdam-residential-building-team-v->

[architecture/6331871ca1533e1d6a167782-haut-amsterdam-residential-building-team-v-architecture-structure-diagram?next_project=no](https://www.architecture.com/projects/6331871ca1533e1d6a167782-haut-amsterdam-residential-building-team-v-architecture-structure-diagram?next_project=no)

- FIG 46. Detalle constructivo del forjado del edificio HAUT. Fuente: Haut – A 21-storey Tall Timber Residential Building.
- FIG 47. Vista en obra del forjado del edificio HAUT. Fuente: Haut – A 21-storey Tall Timber Residential Building.
- FIG 48. Esquema del sistema híbrido acero – madera. Fuente: Haut – A 21-storey Tall Timber Residential Building.
- FIG 49. Esquema del sistema híbrido hormigón – madera. Solución adoptada para la construcción del edificio. Fuente: Haut – A 21-storey Tall Timber Residential Building.
- FIG 50. Esquema de solución adoptada para la estabilidad del edificio HAUT. Fuente: Haut – A 21-storey Tall Timber Residential Building.
- FIG 51. Certificación BREEAM-NL Outstanding otorgada al edificio HAUT. Certificado emitido por Dutch Green Building Council. <https://worldgbc.org/gbc/dutch-green-building-council/>
- FIG 52. Plano de planta tipo sin distribución del edificio HAUT a escala 1:200. Elaboración propia.
- FIG 53. Plano de planta prototipo con dos viviendas del edificio HAUT a escala 1:200. Elaboración propia.

6. ANEXO

6.1. ODS



Los ODS u Objetivos de Desarrollo Sostenible son un conjunto de 17 objetivos establecidos por las Naciones Unidas en 2015 como parte de la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible. Tiene como objetivo abordar los principales problemas globales y conseguir un desarrollo económico, social y ambientes más sostenibles durante los 15 años siguientes, hasta 2030.

La construcción con estructura de madera está muy vinculada a estos objetivos.

- **ODS 9:** Industria, innovación e infraestructura. Este objetivo es uno de los más relacionados con el tema. Busca promover la industrialización sostenible, construir infraestructuras resilientes e incentivar la

innovación. La utilización de madera en la estructura de los edificios fomenta el desarrollo y aplicación de nuevas tecnologías y sistemas constructivos que son respetuosos con el medio ambiente.

- **ODS 11:** Ciudades y comunidades sostenibles. Con este objetivo se pretende promover ciudades inclusivas, seguras y sostenibles. La construcción de viviendas colectivas con estructura de madera está muy vinculada ya que ofrece soluciones de vivienda que reducen el impacto ambiental, utilizando un recurso natural como es la madera.
- **ODS 12:** Producción y consumo responsables. Este objetivo promueve la gestión sostenible y el uso eficiente de los recursos naturales. La construcción con madera, con la evaluación del ciclo de vida de este material, hace que el tema esté relacionado con este objetivo.
- **ODS 13:** Acción por el clima. La utilización de madera en la construcción puede ayudar a combatir el cambio climático, dado que los edificios con estructura de madera suelen

tener una huella de carbono más baja con respecto a aquellos construidos con materiales tradicionalmente usados como el acero o el hormigón. Además, la madera en los bosques, estos actúan absorbiendo CO₂ del ambiente.

Por lo tanto, la construcción con madera está muy relacionada con los Objetivos de Desarrollo Sostenible, gracias a las técnicas constructivas, la industrialización y el ciclo de vida de los edificios construidos con este material.

