

# Optimización en madera masiva. Parámetros de diseño para un edificio de vivienda en Talca, Chile

**Cristian Lefevre Labbé**

Escuela de Arquitectura, Pontificia Universidad Católica de Chile

calefevre@uc.cl

Artículo producido a partir de la tesis desarrollada en el Magíster en Arquitectura

Sustentable y Energía

Profesores guía: Juan José Ugarte y Andrés Sierra

<https://doi.org/10.7764/AA.2024.19>

## Resumen

En un contexto de crisis climática global, es necesario cuestionar la manera en que se lleva a cabo todo proceso que genere contaminación medioambiental o deterioro de los recursos naturales. El rubro de la construcción es, a nivel mundial, responsable de la emisión del 37% de los gases de efecto invernadero.

Considerando este impacto, la madera es considerada un material ideal para responder ante las exigencias de la arquitectura del futuro, debido a sus ventajas en sostenibilidad y su menor huella de carbono frente a otros materiales de construcción. Este artículo analiza soluciones constructivas en madera masiva y la manera en que la gestión de su construcción puede llevar a este material a altos estándares de eficiencia y optimización en un proyecto de arquitectura en Chile.

El proyecto en cuestión consiste en el diseño de un edificio residencial inscrito en un distrito de innovación también propuesto para la ciudad de Talca, a ubicarse en el terreno del Regimiento N°16 el cual presenta un potencial de expansión urbana real y un emplazamiento privilegiado cerca del río Claro en términos de cualidades paisajísticas. De esta manera, se evalúan las oportunidades de diseño que genera el cruce entre la problemática de la demanda habitacional, la integración urbana, la mixtura de usos, la densidad en altura y la construcción en madera masiva.

**Palabras clave:** madera masiva, CLT, gestión de la construcción, sustentabilidad, vivienda.



FIG. 01: Plan General de Distrito de Innovación para Talca, nutrido por el referente italiano MIND. Fuente: elaboración propia.

## INTRODUCCIÓN

El artículo da cuenta de un proyecto que se desarrolla sobre el cruce temático entre el contexto medio ambiental actual, la demanda habitacional en Chile, la gestión de la construcción como concepto y la madera masiva como posible medio de mitigación frente al impacto de la industria inmobiliaria. Para ello se revisan y analizan una serie de referentes internacionales de edificios en altura construidos en madera masiva<sup>1</sup>. Luego, se revisan las iteraciones en las posibilidades de diseño que ofrece la estandarización, para responder a soluciones eficientes en cuanto al aprovechamiento de superficie por el volumen de madera. Finalmente, se desarrolla una propuesta en torno a la optimización de los procesos de gestión de la construcción y el aprovechamiento de las cualidades espaciales y urbanas del sitio del Regimiento N°16 de Talca.

## CAMBIO CLIMÁTICO

Existe una relación inversa entre el crecimiento del volumen de biomasa y el de la producción antropogénica. Esto se refleja en la manera insostenible en que se han administrado los recursos naturales al servicio del desarrollo del habitar. En un periodo de tan solo 120 años, el impacto de la intervención humana ha logrado igualar en volumen a la biomasa terrestre, con una brusca aceleración desde los últimos 60 años.

La industria de la construcción en Chile está dentro de los rubros de mayor impacto en las

contribuciones nacionales al cambio climático, al generar el 56% de los desechos industriales sólidos (Sector inmobiliario y construcción 2022). En este contexto, la madera se ha posicionado como una alternativa altamente competitiva debido a múltiples factores, como: la capacidad de los árboles de capturar CO<sub>2</sub> en su proceso de fotosíntesis, su carácter de recurso renovable, la capacidad de reducir hasta un 84% el impacto en el cambio climático de una construcción (Banco Mundial 2020,10); su excelente desempeño como aislante térmico y, su facilidad para ser reutilizada.

## DEMANDA HABITACIONAL

La demanda habitacional es una problemática que involucra tanto a las personas allegadas que no tienen un lugar propio donde vivir, como también a todas aquellas familias que residen en hogares en malas condiciones. Actualmente, Chile se enfrenta a un desafío respecto a la provisión de vivienda para una creciente población, que parte de un déficit actual cuantitativo de más de 397.613 unidades en el país, y que, de considerar el déficit cualitativo, puede llegar a superar 1.303.484 unidades (Banco Mundial 2020,11).

## GESTIÓN DE LA CONSTRUCCIÓN

Según la Comisión Nacional de la Productividad (2020, 43) “En Chile, el sector de la construcción es una de las siete actividades económicas más importantes a nivel nacional, la cual aporta el

7,1% al PIB y un 8,5% al empleo nacional”. Desde la perspectiva productiva del país y las necesidades de sus habitantes, la eficiencia en la organización y ejecución de la construcción es crucial para la calidad de vida en la ciudad, dado a que está directamente relacionada con los plazos y la asequibilidad a la vivienda, la calidad tanto de la infraestructura pública como privada y el adecuado manejo de escombros y desechos.

Este artículo aborda la gestión de la construcción como un aspecto imprescindible para el desarrollo de proyectos ligados a la construcción en la actualidad, entendiendo sus falencias como oportunidades de progreso y haciendo hincapié en los puntos de mayor relevancia para mejorar su desempeño. Primero, considera mejorar la calidad y la coordinación de los proyectos desde el diseño, para reducir las pérdidas durante la etapa de construcción; segundo, estandarizar unidades de los proyectos, para aumentar los ritmos y reducir los plazos de ejecución, así como para disminuir errores. En tercer lugar, se apunta a optimizar la planificación y el control de todas las etapas de la cadena de valor del proyecto y, por último, a mejorar los rendimientos de ejecución de las partidas en obra, mediante optimización de procesos y capacitación de la mano de obra.

## MADERA MASIVA

Dentro de la industria de la construcción en Chile, la madera corresponde sólo al 14% de las edificaciones. Dentro de ese porcentaje, la mayoría

son proyectos de vivienda que utilizan estrategias constructivas tradicionales de entramado con madera aserrada.

La madera masiva es un material de construcción industrializado que comprende productos de madera con integridad estructural mejorada. Dentro de esta sección se encuentra el CLT (Cross Laminated Timber), el cual se compone a partir de la superposición perpendicular de capas de madera unidas con adhesivos estructurales. Es utilizada principalmente para muros, losas o techos. La alternativa a este material se denomina Glulam (Glued Laminated Timber). Este producto se compone de manera similar, pero con las capas direccionadas en el mismo sentido y se utiliza principalmente en vigas, pilares y columnas.

En este proyecto abordado en el presente artículo, se considera la madera masiva desde su potencial de desarrollo, como una posible solución a la densificación en altura, que permite optimizar los costos y tiempos para la ejecución de un edificio sustentable. Sus principales aportes se ven reflejados en la disminución de los tiempos de construcción, la posibilidad de trabajar con soluciones sofisticadas de alta calidad y productividad, su gran resistencia estructural, su capacidad de ser trabajado en seco y por ser altamente industrializable. Asimismo, se destacan las posibilidades que entrega para generar edificios de mayor estándar y desempeño con costos equivalentes a materiales tradicionales y, finalmente, la capacidad de crecimiento de bosques sustentables.

El trabajo se desarrolla con el objetivo de identificar las maneras en que se podría optimizar el uso de madera de ingeniería como sistema estructural viable en Chile, para luego evaluar en qué medida las propiedades de esta tecnología pueden compatibilizarse con la escala de un proyecto de vivienda en altura.

#### DISTRITO DE INNOVACIÓN EN TALCA

Se define el terreno del Regimiento N°16 de Talca como área de trabajo en vista de las oportunidades de diseño en un caso de expansión urbana real. Considerando las dimensiones del terreno, su contexto y las posibilidades que entrega el Plan Regulador Comunal para esa zona (U3, densificación residencial), se obtiene un área de 16.815 m<sup>2</sup> limitado a un uso de suelo máximo de 6.726 m<sup>2</sup> y 100.890 m<sup>2</sup> de construcción. Además, se ressignifica el valor histórico de los edificios preexistentes del Regimiento y se aprecian sus cualidades paisajísticas al localizarse cerca del río Claro y la cordillera de la Costa.

Posteriormente, se realiza un levantamiento de información sobre el referente internacional MIND, con el objetivo de nutrir el ejercicio de urbanización predial con estrategias en cuanto a densidad, paisajismo, vialidad y espacios

Normas de subdivisión y edificación		Predio (16.815 m <sup>2</sup> )
Coefficiente de Edificación	0.4	6.726 m <sup>2</sup>
Coefficiente de Constructibilidad	6	100.890 m <sup>2</sup>
Altura Máxima (para e. aislada)	Libre según rasante OGUC	-
Rasante	OGUC según Región del Maule	70°
Densidad Máxima	1.200 hab/há	2.017 hab
Distanciamientos		
Antejardín	Vías	Antejardín Mínimo
	≤ 20 m	3,0 m
	20 m ≤ 40 m	5,0 m
Adosamiento	Profundidad de Antejardín	Distancia Mínima a Línea Edificada
	3 m y < 5 m	2,0 m
	5 m y < 6 m	2,5 m

TABLA. 01: Normas de Subdivisión y Edificación según OGUC y Plan Regulador Comunal de Talca. Fuente: elaboración propia.

PISOS	SECCIÓN (cm)	m <sup>2</sup> x PLANTA	m <sup>2</sup> x m <sup>3</sup>	DRIFT
7	23 x 23	106,81	5,14	0,55
9	30 x 30	113,73	4,83	0,57
11	43 x 43	125,25	4,39	0,56

TABLA. 02: Desempeño de la tipología estructural según altura. Fuente: elaboración propia.

públicos desde un perfil sustentable (FIG. 01). De esta manera, se elabora un plan general para un futuro distrito de innovación para Talca, en donde la arquitectura del lugar además de su contexto urbano y paisajístico, busca explorar las ventajas de la madera masiva en la construcción de viviendas en altura y en edificios mixtos.

#### GESTIÓN Y OPTIMIZACIÓN

Con el objetivo de desarrollar una propuesta desde la eficiencia, el artículo explora criterios internacionales de eficiencia en la construcción de madera masiva, que se consideran plausibles para un edificio de vivienda en altura. Para hacer un uso eficiente de los materiales y reducir al mínimo los desechos, se consideran las dimensiones de los tableros preestablecidas por el mercado (1,22 m x 2,44 m) como parámetro inicial de diseño para las superficies, teniendo en cuenta los tabiques divisorios y los paneles de las fachadas. En cuanto a las losas y el núcleo, los elementos de Glulam y CLT son prefabricados y se hacen a medida. Dicho lo anterior, se procede a iterar las múltiples combinaciones posibles en búsqueda del módulo inicial a repetir. Se obtienen cinco resultados a partir de la combinación de 4, 5, 6 y 7 tableros, moviéndose desde los 11,9 m<sup>2</sup> hasta los 20,9 m<sup>2</sup>.

Una vez obtenidos los resultados de las distintas combinaciones, se procede a la iteración mediante el dibujo planimétrico (FIG. 02) y la simulación estructural en SAP2000 con el objetivo de optimizar al máximo las dimensiones de la grilla estructural para un

uso eficiente del material y así alcanzar la mayor cantidad de m<sup>2</sup> construidos con la menor cantidad de m<sup>3</sup> de madera.

#### SISTEMA CONSTRUCTIVO:

Con el objetivo de evaluar la eficiencia del sistema constructivo, a la luz de la iteración de la altura del edificio, se lleva a cabo la simulación del mismo ejercicio.

Se infiere un sobre dimensionamiento en la sección de 43 cm x 43 cm para los últimos pisos del caso más alto, lo cual abre la posibilidad de combinar secciones, tomando en consideración la deformación admisible.

#### OPTIMIZACIÓN DEL PROCESO CONSTRUCTIVO

Así como se dedica un especial esfuerzo al diseño del edificio y sus partes para lograr un máximo aprovechamiento de sus piezas y minimizar los volúmenes de desechos, se hace fundamental una eficiente organización de las etapas involucradas en la construcción.

Homologando el proceso industrial de Egoi Wood Group (2019) a la manera en la que trabaja CMPC en Chile —ya que aún el desarrollo de la madera masiva es incipiente en nuestro país—, se realiza una categorización de los elementos prefabricados en madera para, según sus dimensiones, identificar proveedores, alternativas de transporte y todas aquellas decisiones que aporten a la optimización del proceso constructivo (FIG. 03).

## OPTIMIZACIÓN DEL MATERIAL

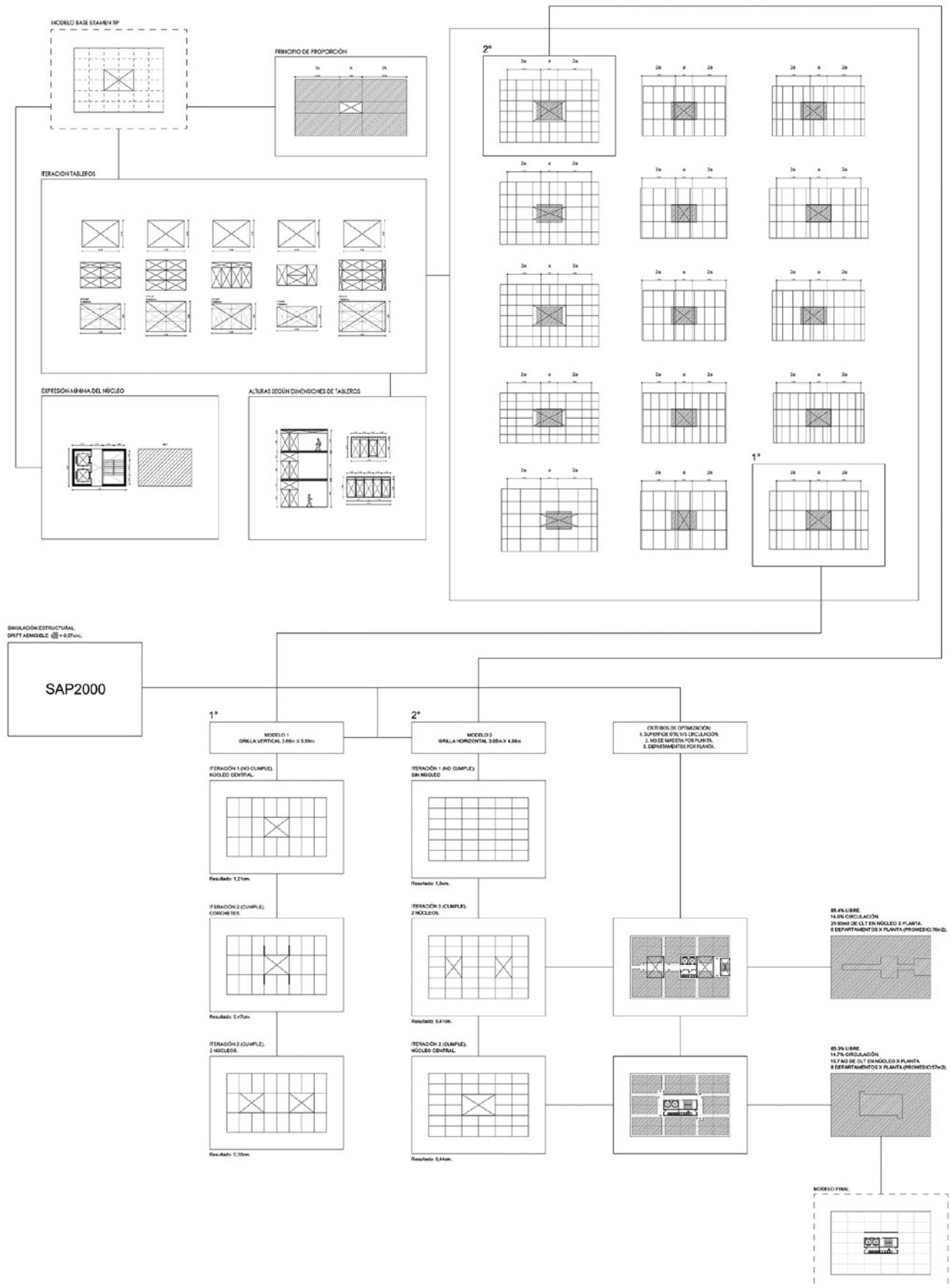
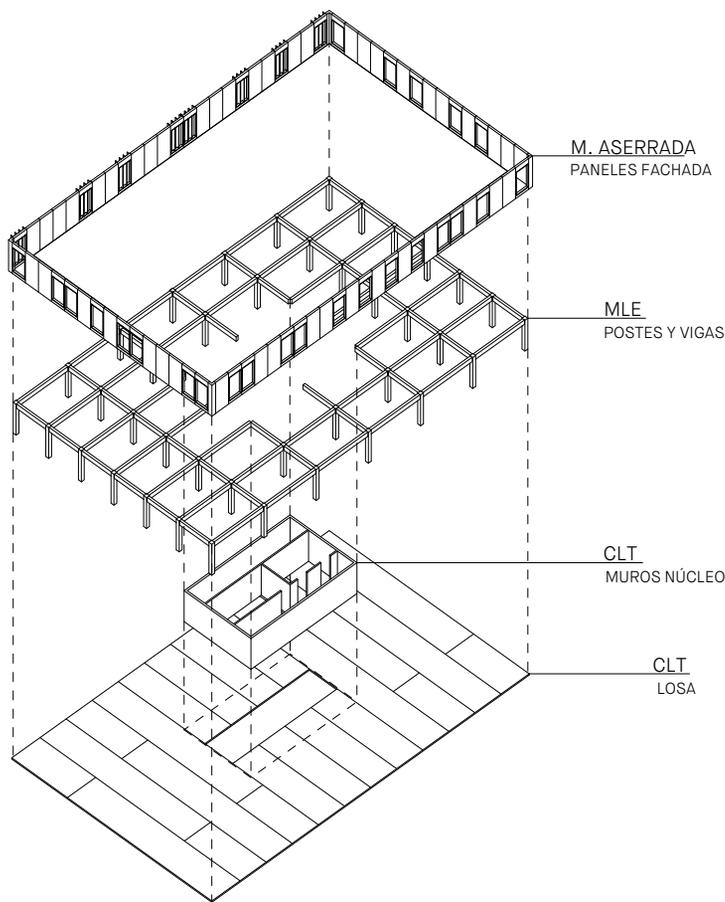
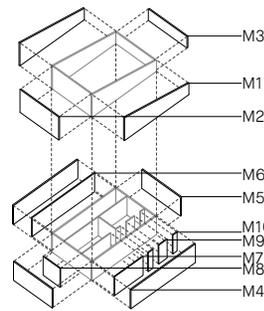


FIG. 02: Iteración de grillas en búsqueda del modelo óptimo. De esta manera, se logra mayor versatilidad en la distribución de las plantas a partir de una modulación y variación de la tabiquería. Fuente: elaboración propia.

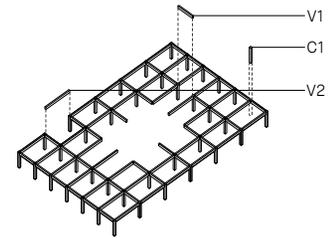
## OPTIMIZACIÓN DEL PROCESO CONSTRUCTIVO



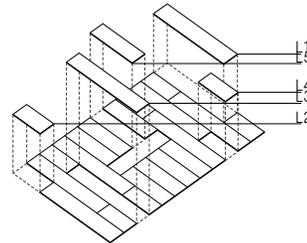
## DESPIECE DE MUROS:



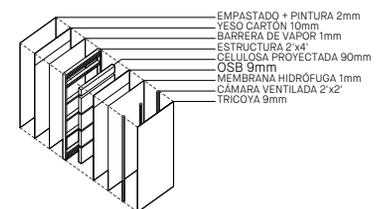
## DESPIECES DE POSTES Y VIGAS



## DESPIECE DE LOSAS:



## DESPIECE DE PANELES:



## DESPIECE DE PANELES:

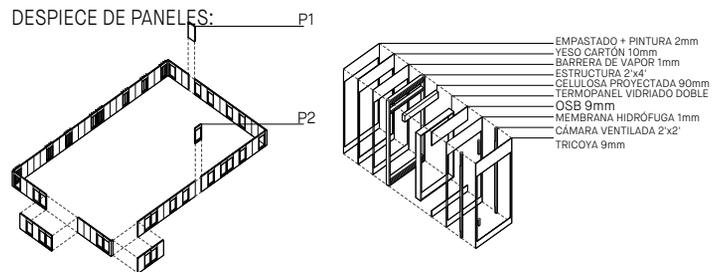


FIG. 03: Despiece de elementos para organizar su producción, transporte y montaje. De esta manera se estudia la manera más eficiente para la construcción del edificio disminuyendo al máximo los desechos y las emisiones de carbono. Fuente: elaboración propia.

## EDIFICIO DE VIVIENDA EN TALCA

## MICRO BARRIO

Se trabaja con un área denominada micro barrio, la cual es categorizada como U-3 por el Plan Regulador Comunal de Talca. Dicha categoría, propone una densidad habitacional máxima de 1.200 habitantes por hectárea, lo cual implica un plan de "densificación residencial".

Se analiza el conjunto habitacional Torres de Tajamar de la comuna de Providencia en Santiago, por su extensión vertical, espacios públicos y alto estándar de densidad (2.200 hab/ha) como un caso ideal de estudio para replicar en Talca. A partir de ello, se propone para los terrenos del Regimiento, un conjunto de geometría y proporciones similares, pero con torres de nueve pisos, aprovechando el máximo legal dentro de lo normado para el micro barrio elegido, ajustándose a las alturas y a la densidad del lugar. De esta manera, esta unidad funciona como un núcleo de desarrollo que luego se extrapola a la totalidad del distrito de innovación propuesto (FIG. 04).

## ESTRUCTURA Y USO DEL EDIFICIO

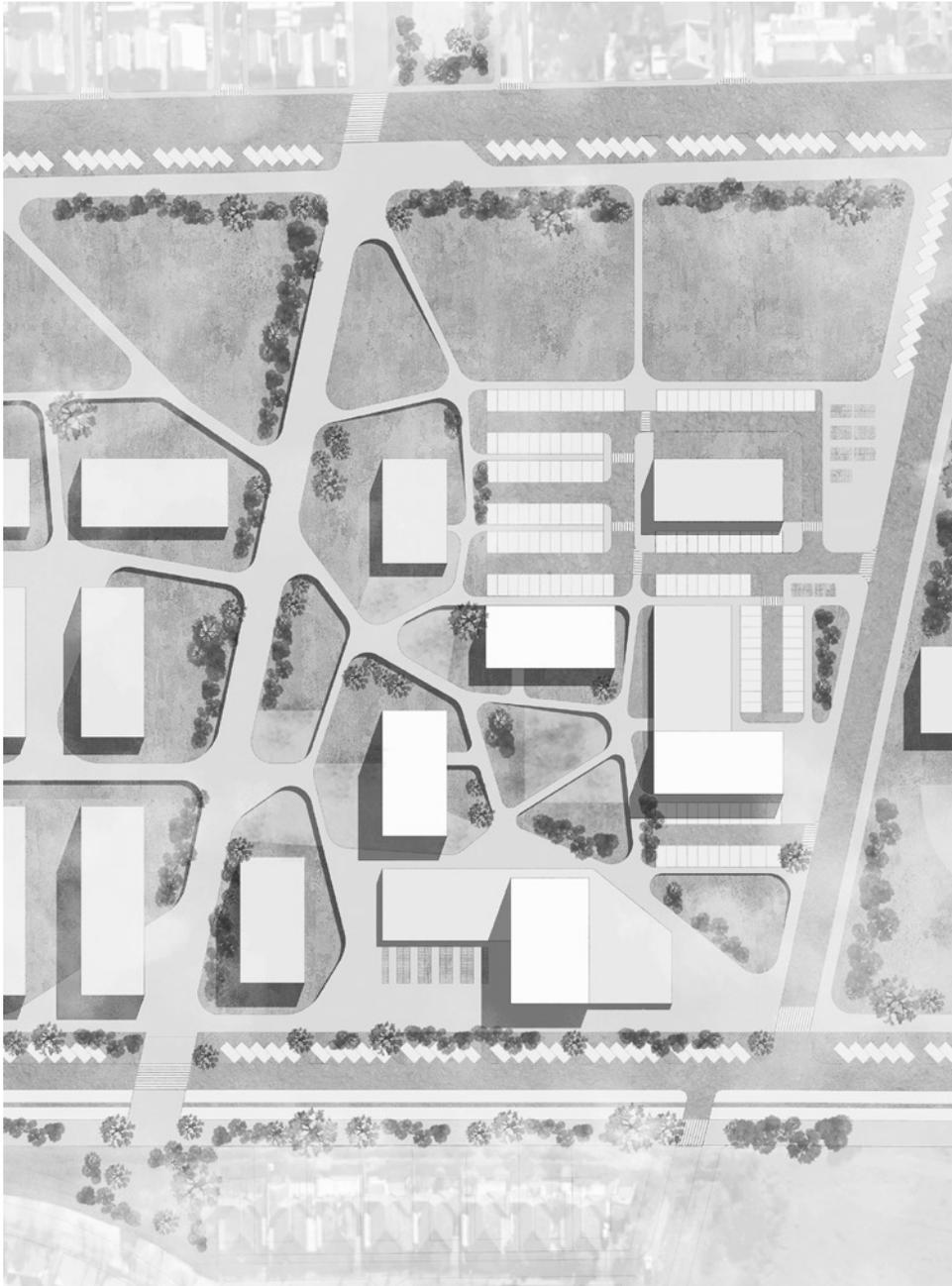
La estructura corresponde a un sistema mixto de madera masiva y hormigón armado, ya que es necesario elegir un material que resista los niveles de humedad. Considerando las condiciones climáticas de la ciudad de Talca, la proximidad del terreno seleccionado al río Claro, y el carácter público que conecta la totalidad del distrito a nivel de suelo, se levanta la estructura de poste y viga de madera sobre las primeras dos plantas del edificio construido en hormigón armado, evitando así el contacto directo de la estructura de madera con la humedad del terreno. El edificio se compone así de un podio de distinto material, para uso público.

El esqueleto de poste y viga (MLE), se apoya en el tutor rígido de CLT. Este último, es un elemento fundamental dentro de la tipología ya que se hace cargo, principalmente, de las cargas horizontales. Las columnas y vigas, por su parte, se distribuyen según la grilla descrita en la FIGURA 02, respondiendo a las cargas verticales. Además, la estructura de tabiquería permite la variación de las dimensiones de cada vivienda permitiendo

múltiples combinaciones según los requerimientos de tipos familiares diferentes, dando origen a diferentes tipologías de departamentos (FIG. 05).

Los pisos primero, segundo y octavo, contienen espacios de oficina, *co-living*, *co-work* y comercio. Desde el tercer piso hasta el séptimo, el programa principal del edificio es vivienda. Con ocho departamentos por planta y descontando los espacios comunes que le acompañan, el edificio cuenta con cuarenta unidades, para 140 personas aproximadamente. Con un total de 2.500 m<sup>2</sup>, esta categoría aporta con el 47% del programa total. Además, la fachada del edificio se modela según el aprovechamiento de la luz natural y la radiación solar, presentando celosías en su cara norte y oriente.

De esta manera, el edificio se estructura como una placa-torre que busca aprovechar al máximo las propiedades paisajísticas y urbanas de los terrenos del Regimiento, aprovechando las ventajas de la construcción en madera masiva. Así, se logra aprovechar la altura máxima de nueve pisos y explorando las posibilidades de la construcción en altura de este material en Chile, cuyo desarrollo



**FIG. 04:** Micro Barrio del Distrito. Se propone el conjunto de cuatro torres blancas, profundizando en la del borde inferior, enfrentada a la calle, inspirado en el desarrollo urbanístico de las Torres de Tajamar (Providencia, Santiago). Además, se potencian las áreas verdes y la conectividad urbana, en vistas del futuro distrito de innovación también propuesto. Fuente: elaboración propia.

en nuestro país es aún incipiente. Las plantas bajas se insertan al tejido urbano y a las áreas verdes, dotando de usos mixtos y esparcimiento a todo el distrito de innovación (FIGS. 6-10).

#### CONCLUSIONES

El proyecto recoge las ventajas de la madera masiva y sus parámetros de diseño para un edificio de vivienda enmarcado en la posibilidad de un futuro desarrollo urbano en un distrito de innovación propuesto, en donde esta misma construcción se inserta en un complejo de uso mixto. Para esto, se aprovechó la optimización del material en cuestión y sus parámetros de diseño, enfocándose principalmente en el desempeño estructural y

la optimización del material, considerando el potencial sostenible de la construcción en madera.

En términos de diseño estructural, gracias a la facilidad de montaje y su buen comportamiento frente a cargas horizontales y verticales, se genera un exitoso desempeño del sistema de poste, viga y núcleo, para edificios de mediana y gran altura de vivienda en madera. Esto permite pensar en un modelo potencialmente replicable en otras zonas e iniciativas en el país, que aprovecharía además las cualidades visuales y sostenibles del material.

En relación a la optimización de la madera, se reconoce la importancia de incorporar el material

en las dimensiones disponibles en el mercado en el proceso de diseño. Dicha consideración, permite disminuir costos, tiempo de construcción y el volumen de desechos, entre otros. Luego, se rescata el valor de la iteración por medio de softwares estructurales, lo cual permite optimizar el tamaño de las secciones de los elementos industrializados, evitando sobre dimensionamientos. Además, se escoge una altura de nueve pisos ya que, al homologar la propuesta en densidad con las torres de Tajamar de la comuna de Providencia en la ciudad de Santiago, se llega a un punto eficiente en metros cuadrados por volumen construido. Las fachadas se tratan de manera independiente para aprovechar las condiciones solares y proteger de la radiación.

Debido a la estructura de tabiquería previamente descrita, se destaca la flexibilidad del sistema constructivo, lo cual abre la posibilidad de albergar múltiples programas, separando los recintos y entregando variadas posibilidades de uso para cada módulo. Estos, en adición, se complementan para generar diferentes tipos de vivienda.

Finalmente, en materia de sostenibilidad, además de todo lo descrito anteriormente, el proyecto presenta un contraste considerable entre emisiones y capturas. En efecto, los elementos en madera absorben 854 toneladas de CO<sub>2</sub>, mientras los de hormigón emiten 730, y el acero 13,5, alcanzando un total neto de -110,5 toneladas de CO<sub>2</sub>. Dichos números, por su parte, reflejan el positivo alcance que tiene la madera como agente mitigador del cambio climático dentro de la industria de la construcción. De esta manera, la utilización de esta solución dentro de un caso factible, como lo es el Regimiento 16 de Talca, funciona como una oportunidad atractiva para responder al problema de la vivienda en nuestro país, fomentar el desarrollo sostenible, desarrollar tecnologías de construcción en madera y generar planes de crecimiento urbanístico en las ciudades de nuestro país.

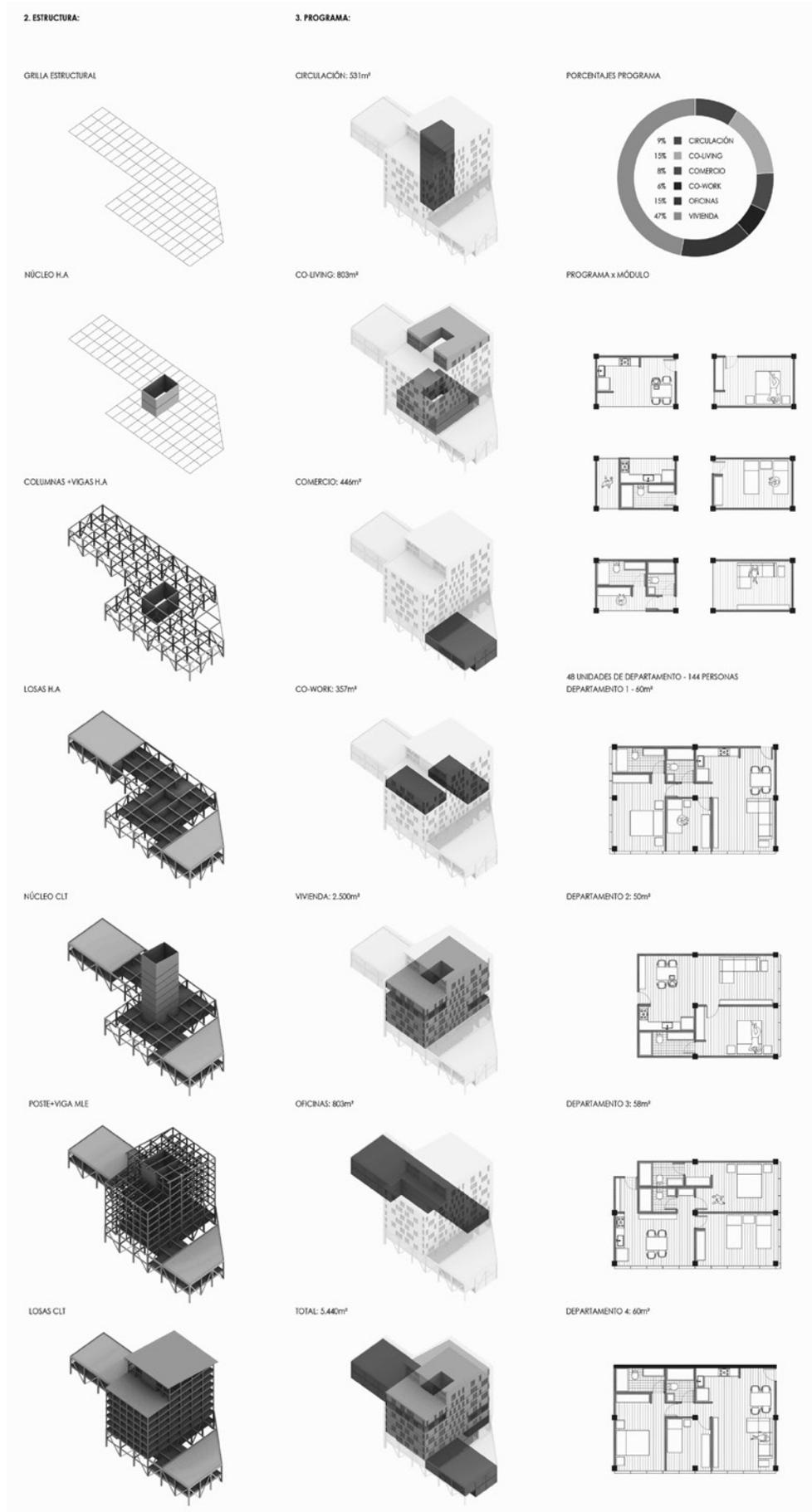


FIG. 05: Estructura y uso del edificio. Columna izquierda: estructura. Columna central: núcleo de circulaciones y usos. Columna derecha: programas, iteración del módulo y unidades de departamentos que dan a diferentes tipos de vivienda en el edificio. Fuente: elaboración propia.

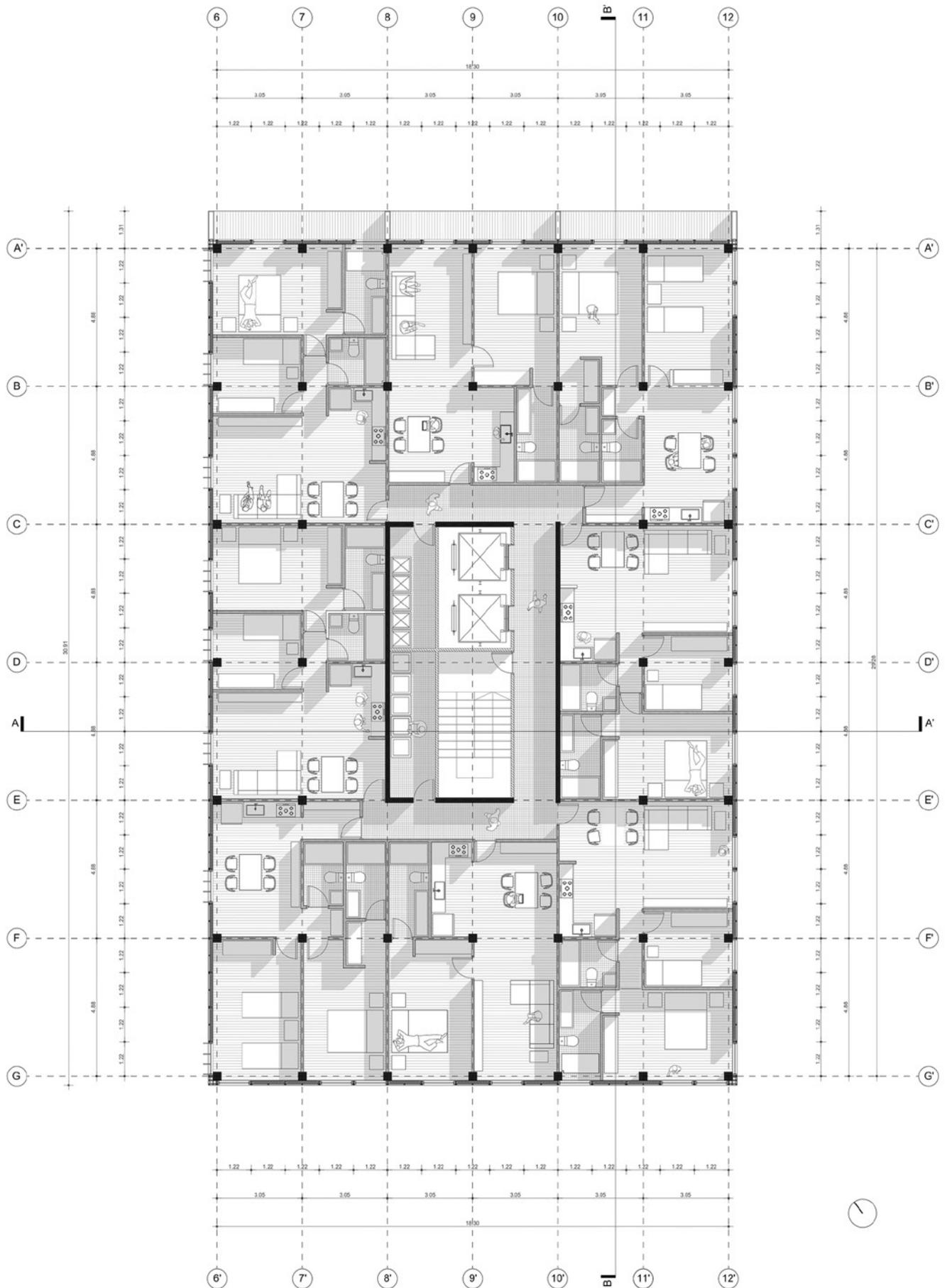


FIG. 06: Planta tipo del edificio. Fuente: elaboración propia

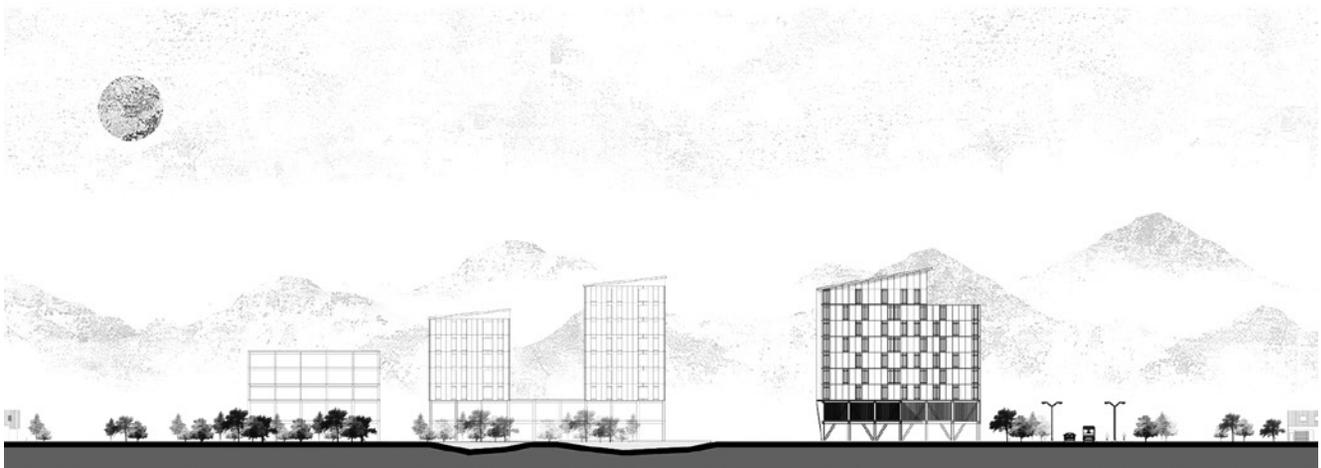


FIG. 07: Cortes del edificio. Fuente: elaboración propia.

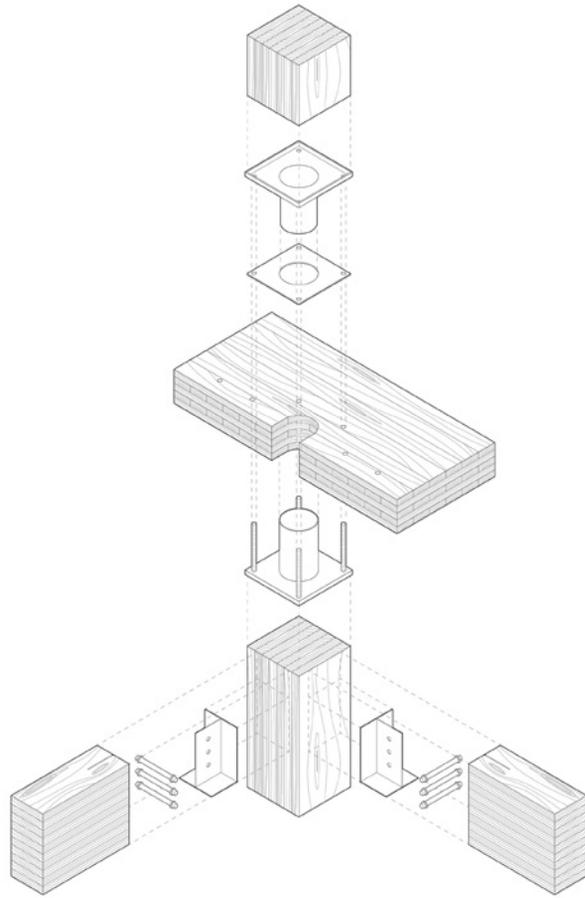


FIG. 08: Detalle constructivo que muestra el ensamblaje de las partes de madera masiva. Fuente: elaboración propia.



FIG. 09: Axonométrica de proyecto. Fuente: elaboración propia

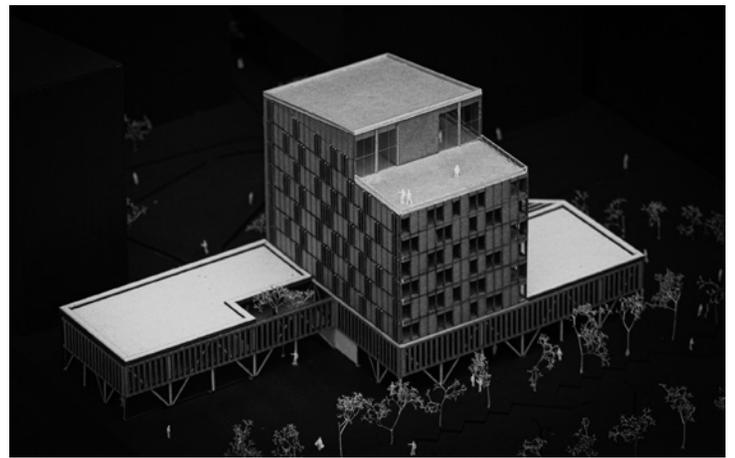


FIG. 10: Maqueta de proyecto. Vista exterior. Fuente: elaboración propia.

## NOTAS

1- El barrio de Vauban en Friburgo (Ubach 2022), la ciudad autosuficiente de Vicente Guallart en China (Dejtjar 2020) y el proyecto de Henning Larsen en Copenhagen (Crook 2020).

## BIBLIOGRAFÍA

Banco Mundial. 2020. *La construcción de viviendas en madera en Chile*. Washington: The World Bank.

Comisión Nacional de Productividad. 2020. *Productividad en el sector de la construcción*. Chile: Comisión Nacional de Productividad.

Crook, Lizzie. 2020. "Henning Larsen to Build Copenhagen's "First All-Timber Neighbourhood". *Dezeen*. Consultado el 5 de agosto de 2023. <https://www.dezeen.com/2020/01/13/faelledby-henning-larsen-copenhagen-timber-neighbourhood-architecture/>

Dejtjar, Fabian. 2020. "Vicente Guallart diseña una ciudad autosuficiente de madera con viviendas post-covid". *ArchDaily* en español, 5 de agosto de 2023. <https://www.archdaily.cl/cl/945171/vicente-guallart-disena-una-ciudad-autosuficiente-de-madera-con-viviendas-post-covid>

Egoín Wood Group. 2019. *Prontuario técnico para la construcción con paneles de Madera Contralaminados EGO CLT*. España.

Secretaría Comunal de Planificación. 2017. *Ordenanza local*. Talca: Municipalidad de Talca.

Sector inmobiliario y construcción son los más contaminantes en Chile. 2022. *Revista Energía*. <https://revistaenergia.com/sector-inmobiliario-y-construccion-son-los-mas-contaminantes-en-chile/>

Ubach, Kris. 2022. "Barrio de Vauban: la ciudad del future está en Friburgo". *National Geographic*. Consultado el 5 de agosto de 2023. [https://viajes.nationalgeographic.com.es/a/barrio-vauban-ciudad-futuro-esta-friburgo\\_17680](https://viajes.nationalgeographic.com.es/a/barrio-vauban-ciudad-futuro-esta-friburgo_17680)