Propuesta de vivienda vertical en entramado ligero de madera

Hatillo, San José, Costa Rica

Proyecto de graduación
Maickol Esteban Badilla López

TEC | Tecnológico de Costa Rica

ESCUELA ARQUITECTURA URBANISMO

Proyecto final de graduación para optar por el grado de Licenciatura en Arquitectura

Modalidad Proyecto Arquitectónico

Propuesta de vivienda vertical en entramado ligero de madera

Autor: Maickol Esteban Badilla López

Esta obra está bajo una licencia de Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional.

Constancia de Defensa Pública

El presente Trabajo Final de Graduación, titulado "Propuesta de vivienda vertical en entramado ligero de madera", presentado el día miércoles 08 de marzo del 2023, ha sido defendido ante el tribunal examinador integrado por el profesor tutor Arq. Erick Calderón, así como los lectores Arq. Enmanuel Salazar Ceciliano e Ing. Roberto Yglesias Cuadra; como requisito para optar por el grado de Licenciatura en Arquitectura de la Escuela de Arquitectura y Urbanismo del Instituto Tecnológico de Costa Rica.

El proyecto fue realizado por el estudiante Maickol Esteban Badilla López, carné 2017119937, el cual acuerda que este documento es de conocimiento público.

El tribunal calificador acuerda declarar el proyecto:

X	100
Aprobado	Calificación

ERICK CALDERON ACUÑA (FIRMA)
Firmado digitalmente por ERICK CALDERON ACUÑA (FIRMA)
Fecha: 2023.03.17 08:57:44 -06'00'

Arq. Erick Calderón Acuña
Tutor

Firmado digitalmente por ENMANUEL SALAZAR CECILIANO (FIRMA)
Fecha: 2023.03.20 22:00:06 -06'00'

Arq. Enmanuel Salazar Ceciliano
Lector

ROBERTO YGLESIAS CUADRA (FIRMA)
Firmado digitalmente por ROBERTO YGLESIAS CUADRA (FIRMA)
Fecha: 2023.03.21 09:11:05 -06'00'

Ing. Roberto Yglesias Cuadra
Lector

Maickol Esteban Badilla López
Estudiante

Agradecimiento

Le agradezco a mi familia y a todas las personas que me han guiado para que yo pueda lograr mi formación académica y como persona.

Este documento es el resultado de un esfuerzo en el que han cooperado mi profesor tutor y lectores, así como distintos compañeros y profesores de carrera que han aportado vitales insumos para el resultado final.

Por último, le agradezco al lector que esté interesado en el tema de la construcción con madera, cada pequeño aporte es clave para fomentar este sistema constructivo dentro del contexto costarricense.

Resumen

Este proyecto explora el ámbito de la construcción con madera en entramado ligero para edificios de mediana altura, como una opción para incrementar el uso de este material en Costa Rica.

Como problema de diseño se resuelve un conjunto de uso mixto de vivienda, comercio y espacio público, ubicado en Hatillo, San José; enfatizando en la solución arquitectónica de un edificio tipo con una configuración geométrica adaptable a distintas tipologías de apartamentos según los perfiles de usuarios y los posibles emplazamientos que pueda tener la propuesta.

Como parte del rigor técnico de la investigación y del diseño, se realiza una verificación de los principales elementos estructurales en madera del edificio con el software Chage+Timber.

La propuesta se alinea con los Objetivos de Desarrollo Sostenible 9 y 11de las Naciones Unidas, correspondientes a Industria, Innovación e Infraestructura, y Ciudades y Comunidades Sostenibles.

Abstract

This project explores the field of light-framed wood construction in medium-rise buildings, as an option to increase the use of this material in Costa Rica.

As a design problem, a mixed-use complex of housing, commerce and public space is solved, located in Hatillo, San José; emphasizing the architectural solution of a typical building with a geometric configuration adaptable to different types of apartments according to user profiles and the possible locations that the proposal may have.

As part of the technical rigor of the research and design, a structural verification of the main wooden structural elements of the building is carried out with the Chage+Timber software.

The proposal is aligned with the Sustainable Development Goals 9 and 11 of the United Nations, corresponding to Industry, Innovation and Infrastructure, and Sustainable Cities and Communities.

Contenido

Capítulo 1: Aspectos Generales 10

Tema 12

Justificación 13

Delimitación 21

Problema de investigación 22

Objetivos 23

Estado de la cuestión 24

Marco teórico 31

Aspecto legal 64

Marco metodológico 65

Capítulo 2: Usuario 68

Usuarios: nuevos y existentes 70

- Modelo de Vivienda Urbana Inclusiva y Sostenible 70
- Población actual 72

Vivienda: consideraciones de diseño 76

- Ámbitos de una vivienda 76
- Vivienda, edificio y entorno 80

Aspectos programáticos 82

Capítulo 3: Análisis de Sitio 84

Análisis Macro 86

- Hatillo: orígenes y relevancia. 86
- Caracterización general 87
- Tejido urbano 90
- Movilidad 93
- Continuidad ambiental 95
- Uso del suelo 97
- Consideraciones 99

Análisis Micro 100

- Uso de suelo 100
- Topografía 101

Clima 104
Paisaje 105
Reglamentación pertinente 108
Consideraciones 109

Capítulo 4: La Propuesta 112

Síntesis de la propuesta 114

La propuesta arquitectónica 115
Conceptualización 115
Edificio Tipo 119
Verificaciones estructurales y técnicas 137
Protección bioclimática 158
Diseño prefabricación y montaje 159

La propuesta de emplazamiento 164

Conclusiones 206

De lo micro a lo macro 206

Sistema constructivo 211

Recomendaciones 214
Transición de la madera al concreto 214
Desarrollo de investigación 214
Conexión urbana 215

Referencias 216

Anexos 219

Capítulo 1: Aspectos Generales

En este capítulo se desarrolla el planteamiento de la investigación por medio de la descripción de los aspectos básicos que la fundamentan, como la temática, la justificación, la delimitación, el problema, los objetivos, el estado de la cuestión, el marco teórico, los aspectos legales y el marco metodológico.

Tema

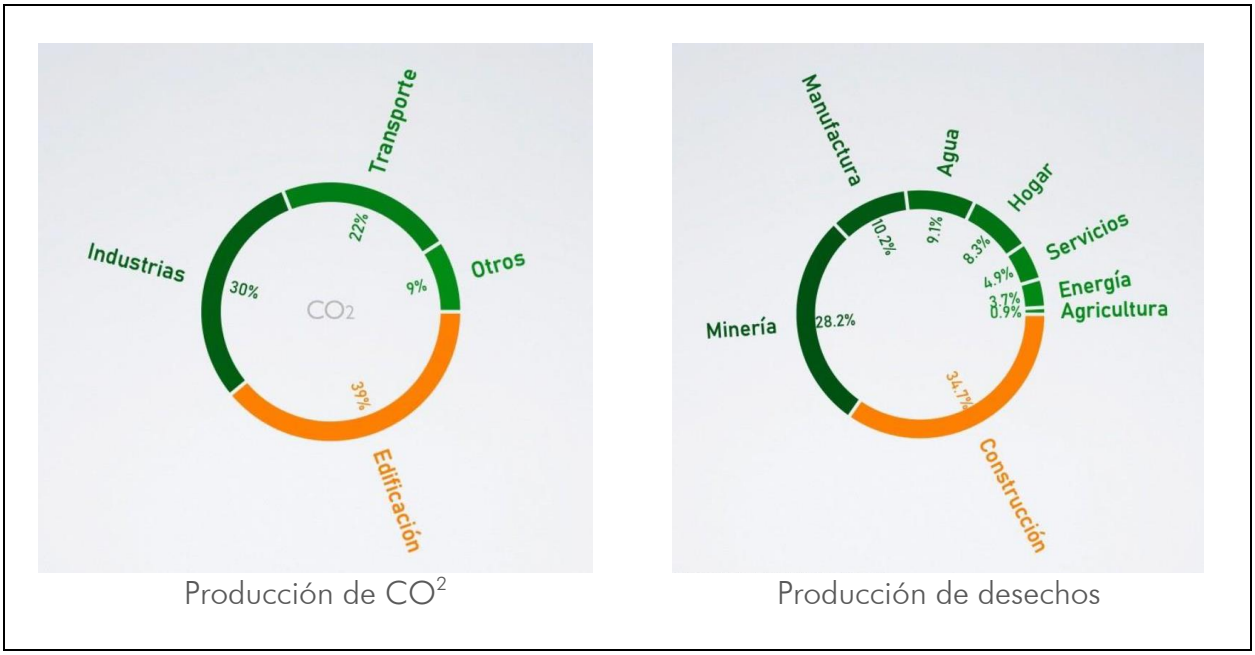
Esta investigación se compone de tres ámbitos para dar solución a un desarrollo en condominio de uso mixto con enfoque en vivienda vertical:

Imagen 1. Temáticas del proyecto. Fuente: elaboración propia.

Justificación

Ante las evidentes consecuencias del cambio climático alrededor del mundo, la realidad plantea le necesidad de un cambio que se puede abordar desde múltiples frentes y uno de ellos es el ámbito constructivo, donde la disciplina arquitectónica puede realizar un gran aporte desde el diseño sostenible.

Como indica Díaz (2012), la degradación del medioambiente tiene implicaciones en la sociedad y expertos de todo el mundo han coincidido que el clima cambia por causas naturales y causas antropogénicas. La industria constructiva (imagen 2) es de las más contaminantes en cuanto a producción de CO^2 y desechos, por lo que la producción de nuevas infraestructuras debe incorporar materiales con menos huella de carbono, además de que los diseño deben adaptarse al sitio, que aprovechen las variables climáticas y que promuevan el bajo consumo energético.



Producción de CO^2 | Producción de desechos

Imagen 2. Producción de CO2 y desechos por actividad. Fuente: Zilic, 2021

El material sostenible por excelencia es la madera y Costa Rica ha realizado esfuerzos notables por reforestar gran parte del territorio nacional, es así como el siguiente paso es explotar este recurso natural renovable en la industria de la construcción, pues como muestra la imagen 2, el uso de la madera como material constructivo no tiene gran relevancia en el país.

El caso de Costa Rica en el tema de reforestación es interesante porque es un ejemplo mundial en cuanto a recuperación de los bosques a lo largo del territorio nacional. Históricamente el cultivo del café moldeó gran parte de la economía costarricense y también afectó al territorio como tal, las montañas con su altura representaron un lugar idóneo para este cultivo y las exportaciones de café representaron el comercio más importante del país. Asimismo, la industria bananera tomó fuerza requiriendo cantidades de terreno aún mayores, infraestructura

y labor intensivo; esto ocasionó un efecto dominó con la tala de bosques y la producción de viviendas para trabajadores. (Buczak, 2016)

Sumado a lo anterior, durante la segunda mitad del siglo XX y luego de aplicar el Modelo de Sustitución de Importaciones, Costa Rica se volvió el mayor exportador centroamericano de carne para Estados Unidos hasta 1986, y en esta década fue cuando se tuvieron las mayores tasas de deforestación per cápita del mundo. Como indica la imagen 4, entre 1940 y 1987 Costa Rica perdió la mitad de sus bosques, sin embargo, los movimientos ambientalistas y de conservación tomaron fuerza en los años 90, para lograr que actualmente más del 52% del país esté cubierto por bosques. (Chavarría & Molina, 2018)

El siguiente paso que debe darse es la explotación de este recurso de manera controlada y sostenible. Como señalan Chavarría y Molina (2018), los principales mercados para incrementar el uso de la madera en Costa Rica son la construcción de muebles, la construcción de infraestructuras como edificios y el uso por parte de las instituciones públicas, el primero es el que le da mayor valor agregado a la madera, el segundo es el que necesita mayor volumen y el tercero es el máximo comprador potencial de este recurso.

Como explica Tuk (2019) un avance importante en el uso de la madera en Costa Rica es la obtención de datos sobre resistencia mecánica para maderas de plantación. A partir del año 2009 se realizaron cultivos experimentales con especies resistentes a plagas, rápido crecimiento y con potencial de uso industrial. Los Drs. Moya y Gonzalez, del Tecnológico de Costa Rica, obtuvieron muestras de estas maderas luego de 8 años de crecimiento para realizar ensayos mecánicos y obtener los valores para el diseño de estructuras. Así se obtuvieron esfuerzos permisibles para 9 especies distintas de madera: Teca, Amarillón, Acacia, Roble Coral, Ciprés, Melina, Jaúl, Chancho Blanco y Pochote.

A pesar de lo anterior el uso de la madera en Costa Rica no tiene un gran protagonismo, de acuerdo con datos de la ONF (imagen 3), el uso que consume mayor volumen de madera es la fabricación de tarimas para la exportación de productos. Luego se tiene su uso en construcción, donde su uso estructural tampoco es mayoritario, sino que el uso en formaletas es mayor.

Por otro lado, gran parte del uso de la madera en construcción que existe actualmente en Costa Rica deriva de madera importada de pino radiata de Chile, esto se debe a que esta madera cuenta con estudios técnicos que validan los esfuerzos admisibles para cada elemento y de esta forma posibilita su uso como material estructural.

Como se mencionó anteriormente, en Costa Rica ya se cuenta con investigaciones que determinan las propiedades estructurales de maderas de plantación nacional y es preciso que se generen propuestas innovadoras, realistas y con criterio técnico en base al uso de este material.

Imagen 3. Uso de la madera en Costa Rica en 2020. Fuente: ONF, 2021.

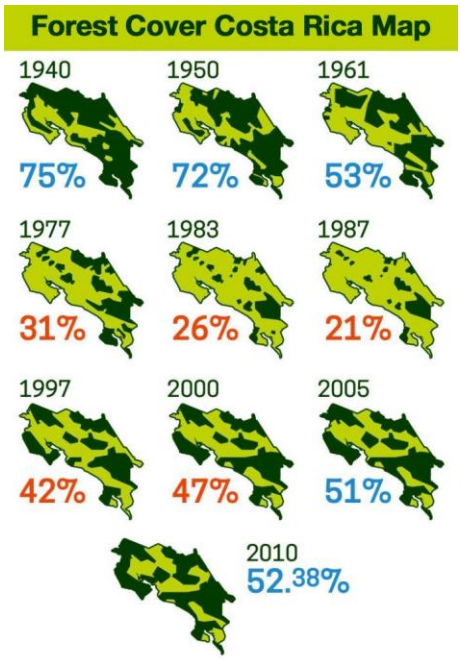


Imagen 4. Cobertura forestal de Costa Rica desde 1940-2010. Fuente: Buczak, 2016

La madera como material constructivo presenta una serie de cualidades que la hacen un material idóneo para esta actividad (imagen 5). Dentro del uso de la madera existen distintos sistemas constructivos que utilizan diferentes tratamientos de la madera, la versatilidad de este material ha permitido que se transforme en elementos prefabricados de madera laminada, contra laminada (CLT) y de entramado ligero, utilizando gran variedad de conectores que cada vez posibilitan más su uso en altura.

Imagen 5. Cualidades constructivas de la madera. Fuente: Zilic, 2021

El entramado ligero destaca por su facilidad de uso e industrialización utilizando elementos de madera aserrada que requieren menor costo para ser procesados y posibilitan un uso de la madera muy versátil; como lo muestra la imagen 6, el proceso constructivo inicia fuera del sitio mejorando la precisión de la construcción.

Imagen 6. Panel prefabricado de entramado ligero de madera. Fuente: Habitissimo.es,2017

El planteamiento de prefabricación dentro de un proyecto en entramado ligero es realmente importante, ya que como lo muestra la imagen 7, la toma de decisiones en etapas iniciales del proyecto conlleva una reducción de costos importante conforme se desarrolla la construcción, por eso el nivel detalle del diseño debe ser alto en cuanto a requerimientos técnicos en etapas tempranas del proyecto. (Jurado, 2014)

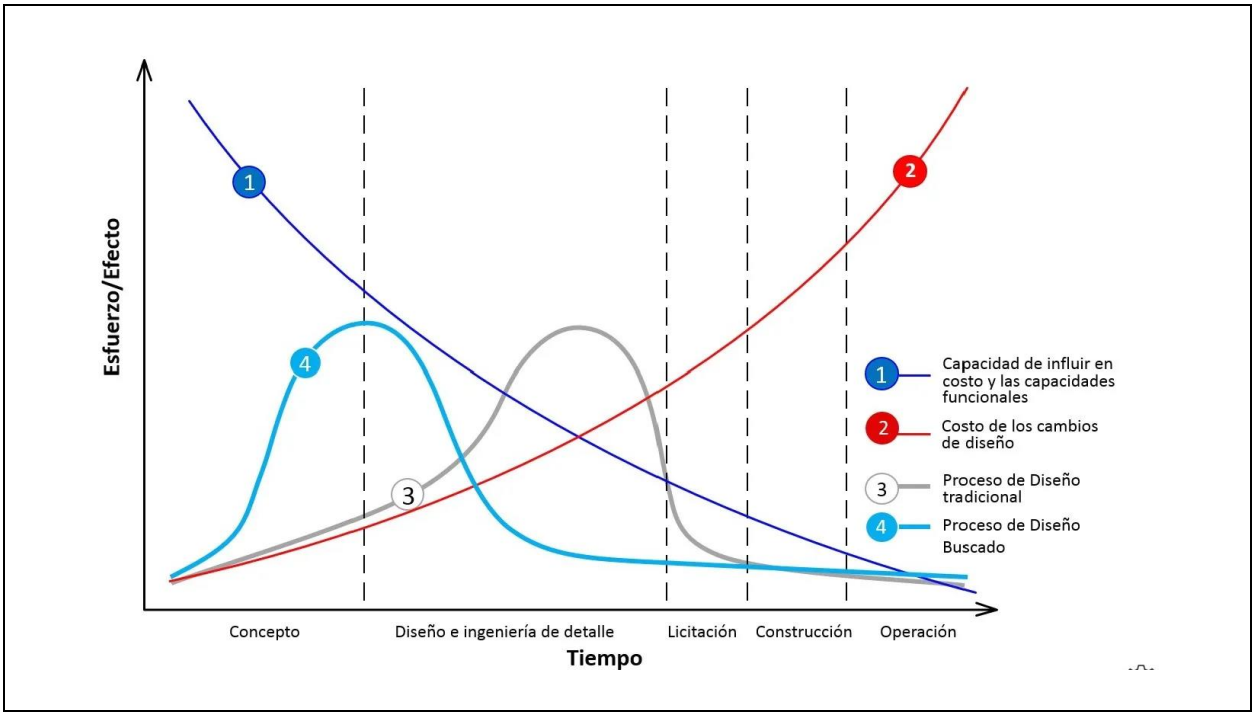


Imagen 7. Curva esfuerzo – tiempo, Patrick McLeamy. Fuente: Jurado, 2014.

Por otro lado, como se ha mencionado anteriormente, este proyecto se aborda desde el paradigma de la sostenibilidad, el cual parte de un planteamiento holístico que articula requerimientos económicos, sociales y constructivos para garantizar desarrollos más responsables con el medioambiente y la sociedad.

Los nuevos desarrollos no se deben limitar solamente al diseño del objeto arquitectónico, también se debe abordar el estudio urbano del sitio en el que se va a emplazar y de esta forma generar un aporte al lugar, en este caso se debe revertir la segregación urbana que se ha dado históricamente en el cantón de San José y por ende la segregación de usos resultante.

Actualmente la GAM muestra las consecuencias de un crecimiento urbano caracterizado por la segregación de usos habitacionales, comercio y servicios, más que todo de manera horizontal (imagen 8). Es así como se producen zonas dormitorio por la concentración de los servicios y fuentes de trabajo en diferentes lugares. Los desplazamientos desde las periferias generan un congestionamiento vial elevado y por las noches muchos lugares se vuelven inseguros por tornarse desolados y facilitar la delincuencia. Además, como indica Jiménez: "Hoy en día, las ciudades acogen a más del 50% de la población humana. Como consecuencia de ello, la demanda de suelo en las ciudades y en sus alrededores se ha incrementado considerablemente" (2011, p. 5)

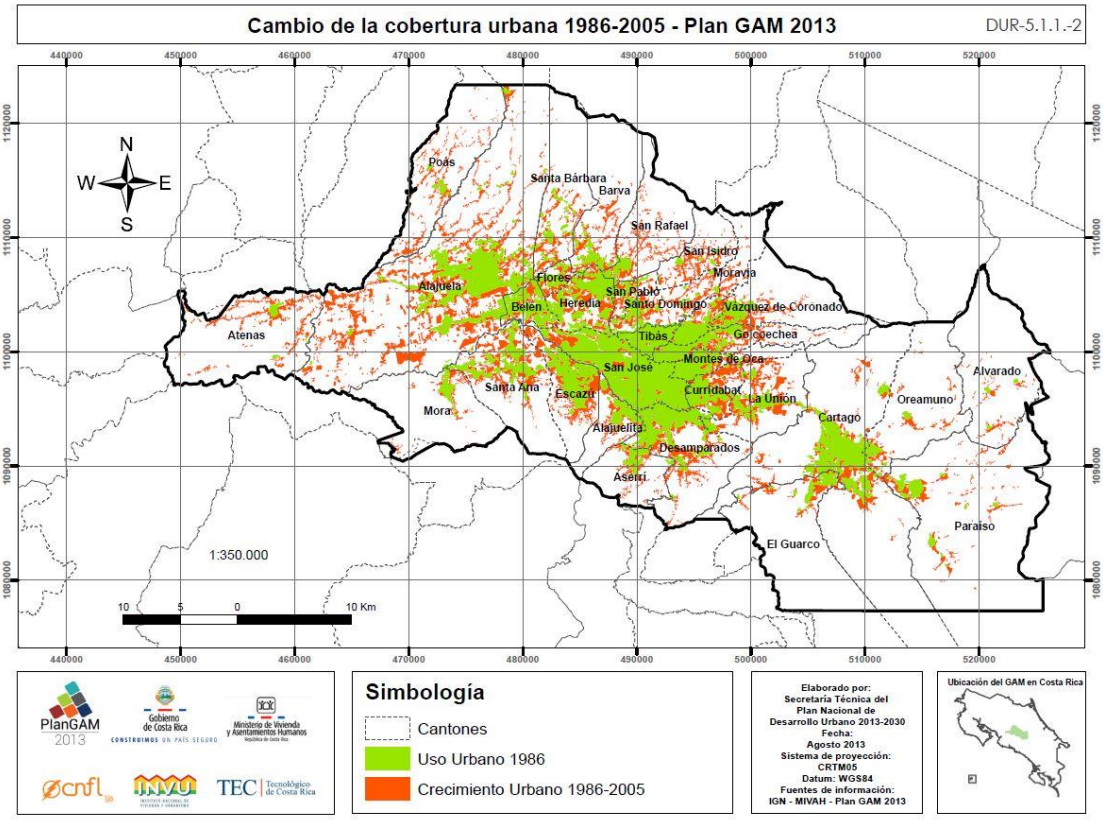


Imagen 8. Cambio de la cobertura urbana 1986 - 2005 GAM. Fuente: Plan GAM.

La mancha urbana está alcanzando los límites naturales por su expansión horizontal, lo cual afecta de forma directa el entorno que rodea al Valle Central y los recursos naturales presentes en estas zonas. Como menciona Martínez (2013), la Gran Área Metropolitana es apenas el 3,84% del territorio del país, aunque la población que vive en este porcentaje del territorio es del 54,7. Aunque la proporción de población es importante hay una predominancia de automóviles y no de peatones recorriendo las calles. Claramente este es un factor que incide en la intención de vivir en San José, los habitantes no pueden convivir con la contaminación que esto genera.

Lo anterior puede explicar el problema, pero no quiere decir que no se esté intentando solucionar, según Pacheco (2018), existen iniciativas que buscan fomentar la renovación urbana como San José Posible, San José Vive, Plan GAM, entre otros. Por lo que, sí se busca el desarrollo mediante la densidad, pero no enfocado en opciones de vivienda para las clases medias, sino que más bien se ha favorecido el desarrollo de condominios verticales cerrados que dificilmente se incorporan a la dinámica urbana. Lo anterior se debe a que gran parte de este repoblamiento depende en gran medida de actores privados, inversionistas o desarrolladores con un público meta de ingresos altos.

La aplicación de nuevos modelos de vivienda en altura que reactiven la dinámica urbana y no generen un impacto ambiental negativo es relevante no solo por el interés de la zona en cuestión, también es necesario estudiar las posibilidades de un sitio en específico de acuerdo con los beneficios que la densidad puede brindar y de esta forma buscar replicar los resultados en otros casos similares.

Asimismo, la realidad actual impactada por la pandemia ocasionada por el COVID-19, agravó los problemas presentes en localidades donde hubo expansión urbanística sin la mejor infraestructura pública. Algunas comunidades no cuentan con el debido recurso hídrico para enfrentar las nuevas condiciones sanitarias (Céspedes, 2020). La poca variedad de usos dentro de los centros urbanos representa un sistema frágil que no puede funcionar de forma independiente por la falta de población, es así como el repoblamiento igualitario debe darse para garantizar la sostenibilidad de los centros urbanos.

En síntesis, existen ciertos factores que se deben tomar en cuenta:

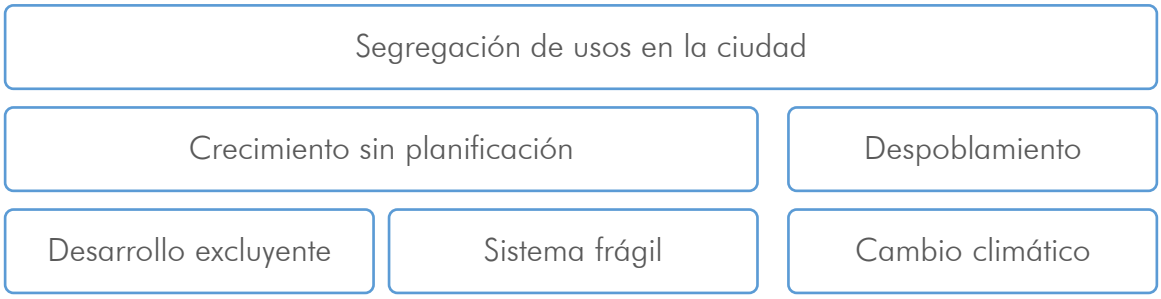


Imagen 9. Algunos problemas que presenta la GAM. Fuente: elaboración propia.

La accesibilidad de los distintos desarrollos de vivienda es vital para los usuarios finales. La Política Nacional de Vivienda y Asentamientos Humanos 2013 a 2030 tiene como enfoque en el eje físico-espacial "desarrollar asentamientos humanos congruentes con su entorno natural, que incluyan edificaciones, espacios abiertos, infraestructura de servicios y equipamiento social, a fin de coadyuvar a la reducción del déficit habitacional" (Ministerio de Vivienda y Asentamientos Humanos, 2013)

De lo anterior se desprende que la dotación de vivienda debe hacerse de manera integrada con distintos requerimientos. La ONU denomina vivienda adecuada aquella que cumpla las siguientes condiciones mínimas: seguridad en la tenencia, disponibilidad de servicios e infraestructura, asequibilidad, habitabilidad, accesibilidad, localización y adecuación cultural (Organización de las Naciones Unidas, 2010)

El cumplimiento de las condiciones anteriores ayuda a garantizar el derecho a la ciudad para todos y todas, de esta manera el presente proyecto se alinea con criterios de construcción asequible, configuración espacial flexible, dotación de espacio público e integración a la trama urbana.

Por otro lado, en esta investigación se aportará una nueva opción de edificio que utilice un sistema constructivo distinto a los que comúnmente ha utilizado el INVU en sus propuestas de vivienda vertical como la mampostería de bloques de concreto, se explorarán las posibilidades que brinda el entramado ligero en madera en el ámbito de vivienda vertical de mediana altura en el contexto de Costa Rica.

El abordaje de la investigación contiene implicaciones desde el ámbito urbano que incluye el diseño macro a modo de plan maestro para toda la finca. Y, por otro lado, el ámbito arquitectónico que conllevará el desarrollo de la propuesta edilicia desde los requerimientos de sostenibilidad y modulación para un edificio de vivienda vertical que utiliza el entramado ligero de madera como estructura primaria.

Los siguientes aspectos son ejes centrales de la investigación:

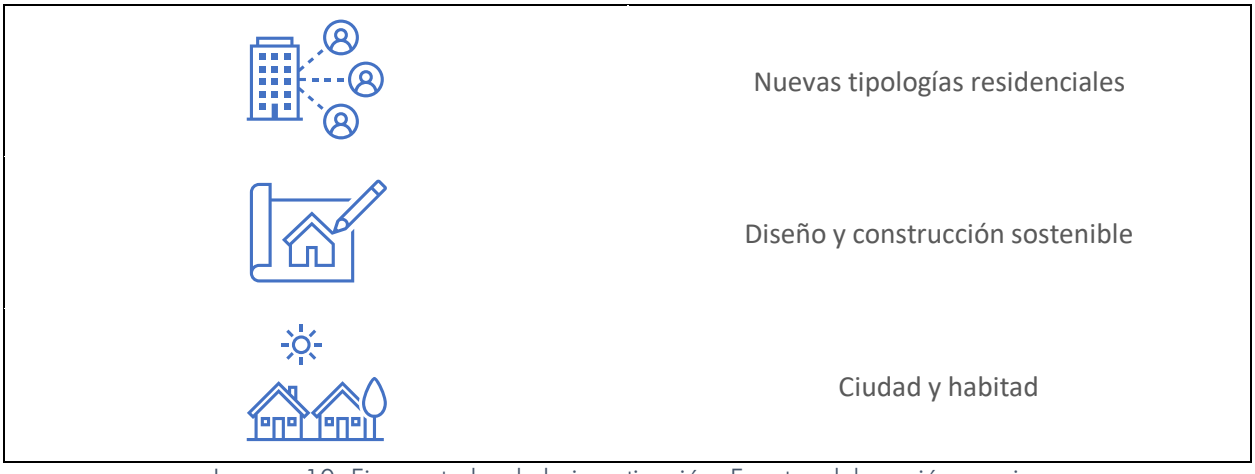


Imagen 10. Ejes centrales de la investigación. Fuente: elaboración propia.

Delimitación

Física

El proyecto corresponde a un desarrollo en condominio de uso mixto con enfoque en vivienda vertical ubicado en un predio propiedad del INVU en Hatillo 2 que cuenta con un área de 65 180m2. Dicho predio tiene una ubicación relacionada con el distrito de Hatillo, Hospital y Mata Redonda; para lo cual se va a determinar una zona macro de estudio compuesta por estos 3 distritos. (imagen 11)

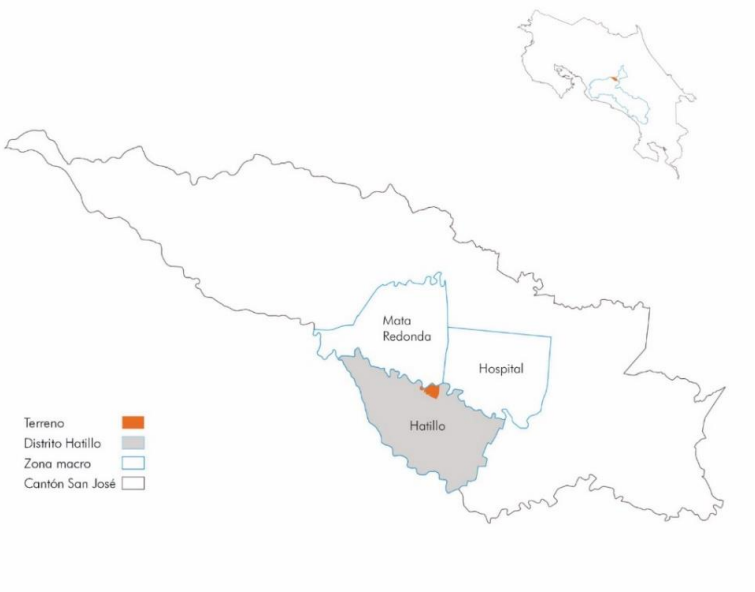


Imagen 11. Delimitación física del proyecto. Fuente: elaboración propia con datos del SNIT.

Social

La investigación toma como punto de partida la población existente en la zona y la nueva, particularmente población de clase media. En capítulos posteriores se detalla de manera precisa los perfiles de usuario.

Disciplinaria

El abordaje de esta investigación parte de la disciplina arquitectónica que se enriquece de otros ámbitos como la ingeniería en construcción para concretar una propuesta de diseño sostenible con criterios de prefabricación y montaje, además del diseño urbano y de sitio para definir un emplazamiento que se integre a la trama urbana y mejore la dotación de espacio público.

Temporal

Para la realización de la investigación se trabaja bajo el cronograma lectivo del segundo ciclo del año 2022 y el primer ciclo lectivo del año 2023.

Problema de investigación

Lo anterior se va a amalgamar en función del sitio de estudio, finca del INVU en Hatillo 2, donde se propone un planteamiento de uso mixto que se enfoca en la solución de vivienda asequible bajo el planteamiento de una construcción sostenible que utiliza el entramado ligero de madera como estructura principal, además de la dotación de espacio público y comercios.

Al observar el distrito de Hatillo se percibe como una zona altamente urbanizada, sin embargo, como en muchas zonas de la GAM, este desarrollo ha sido principalmente horizontal. Hoy en día las condiciones en las que vivimos son muy distintas: los usuarios son muy variados, se requiere mayor densidad y compacidad urbana, hay una mayor demanda, debemos mitigar los efectos del cambio climático y existen nuevas teorías de desarrollo urbano que nos obligan a replantear el desarrollo que deben tener las ciudades. En función de lo anterior deben idearse las nuevas tipologías residenciales.

Así el proyecto responde al problema de cómo solucionar un planteamiento de uso mixto que beneficie a la población local y a la futura, de acuerdo con una mayor dotación de espacio público, nuevas tipologías residenciales, comercios y servicios en la zona a partir de un sistema constructivo que puede ser más eficiente y sostenible como el entramado ligero con criterios de prefabricación.

Pregunta de investigación

De lo expuesto anteriormente, se desprende la siguiente pregunta de investigación:

¿Cuál es la propuesta de anteproyecto arquitectónico de un desarrollo en condominio de uso mixto y edificio tipo con enfoque en vivienda colectiva en altura que utilice el sistema constructivo de entramado ligero de madera, en Hatillo 2, Costa Rica?

Objetivos

Objetivo general

Diseñar una propuesta de anteproyecto arquitectónico de uso mixto y de edificio tipo en Hatillo 2, San José, Costa Rica, con enfoque en vivienda colectiva en altura que utilice un sistema constructivo en entramado ligero de madera.

Objetivos específicos

1. Identificar las características de los distintos perfiles de usuario para la obtención de pautas de diseño arquitectónico.

2. Analizar las características físico-ambientales del terreno en estudio para el planteamiento de lineamientos espaciales, funcionales y constructivos en la propuesta arquitectónica.

3. Definir el anteproyecto arquitectónico de uso mixto y de edificio tipo con enfoque en vivienda colectiva en altura por medio del proceso proyectual.

Estado de la cuestión

El abordaje del tema constructivo actualmente no se puede aislar de sus consecuencias medioambientales, la necesidad de un desarrollo sostenible desde la comprensión del impacto que genera la industria de la construcción ahora es más relevante que nunca. Las consecuencias de un crecimiento carente de medidas sostenibles han ocasionado que la GAM tenga un desarrollo ineficiente con la segregación de usos en la ciudad y el despoblamiento de la zona central, donde actualmente existen opciones de vivienda, pero se proyectan como una opción para personas con altos ingresos económicos.

A continuación, se sintetizan los hallazgos relacionados con los distintos tratamientos de las tipologías residenciales; se evaluaron las metodologías utilizadas, los problemas enfrentados, las poblaciones y escenarios. Se tomaron como fuentes bibliográficas algunos trabajos finales de graduación, libros, políticas públicas y casos de estudio construidos. (imagen 12)

Imagen 12. Fuentes consultadas en el estado de la cuestión. Fuente: elaboración propia.

Dentro de políticas públicas destaca el Plan GAM que surge a partir del trabajo realizado entre el 2005 y 2012 con el PRUGAM y el POTGAM que tenían como finalidad actualizar el Plan de Desarrollo Urbano de la Gran Área Metropolitana hecho en 1982.Este plan tiene la estrategia de la recuperación de zonas urbanas por medio de las Centralidades Densas Integrales, la movilidad urbana, la vivienda colectiva y la rehabilitación de edificios. Este es un modelo de desarrollo que considera la vivienda vertical como centro del sistema urbano vinculado a sistemas de transporte público que reducen las distancias para que sean caminables y así reducir el traslado. (Pacheco, 2018)

Como se puede ver en la imagen 13, el enfoque de las CDI parte de la vivienda y el transporte a escala peatonal y también de manera colectiva como el autobús, jerarquizando cuales servicios o equipamientos sociales e infraestructura deben estar más cercanos de los centros de vivienda.

Del Plan GAM es necesario aprender su enfoque en la ciudad caminable y la centralidad desde la vivienda, y desde ese aspecto se debe tener como guía qué usos deben incorporarse en la propuesta de esta investigación. En la imagen 13 se expone que los usos más cercanos a la vivienda deben ser los juegos infantiles, áreas verdes y el comercio de cercanía.

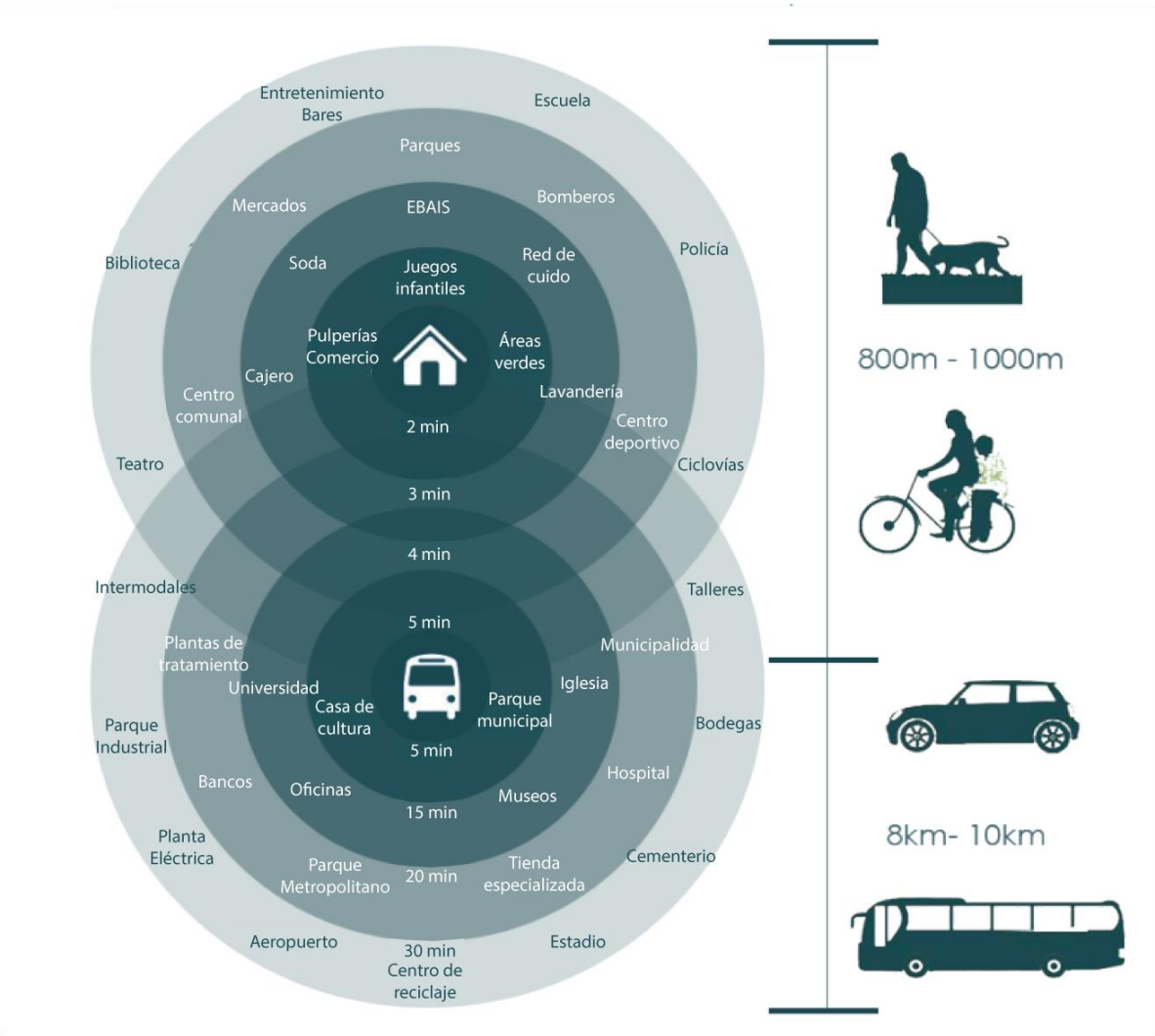


Imagen 13. Esquema de distancias convenientes para el modelo CDI. Fuente: Plan GAM 2013-2030.

En relación con proyectos inmobiliarios en altura de San José, Borrero (2015), en su tesis de licenciatura propone una Metodología de Análisis para la Implementación de Proyectos Urbanos en la Ciudad Compacta. Este estudio realiza un análisis de la situación actual que rige el diseño y construcción de proyectos en altura para comprender y proponer una solución a la carente integración con el espacio público de este tipo de proyectos, pues como señala Borrero:

> La incursión del Instituto Nacional de Vivienda y Urbanismo en el desarrollo de vivienda en altura para clase media y el reciente incremento en el número de proyectos inmobiliarios en altura en la ciudad de San José genera la necesidad de un análisis del repoblamiento y regeneración emergente que experimenta la ciudad. (2015, p. 7)

A partir del análisis que realiza Borrero (2015) determina lineamientos de intervención para una finca del INVU llamada Finca Echandi, donde destaca lo siguiente: generar sendas peatonales como parte del espacio público, se desincentiva el uso del vehículo y se promueve

el uso de la bicicleta, respetar los retiros obligatorios desde los ríos, densificar por medio de edificios de escala media con actividad flexible en planta baja como comercios y equipamientos sociales y fortalecer la actividad peatonal articulando el espacio público en planta baja con el comercio. En la imagen 14 se aplican estos lineamientos.

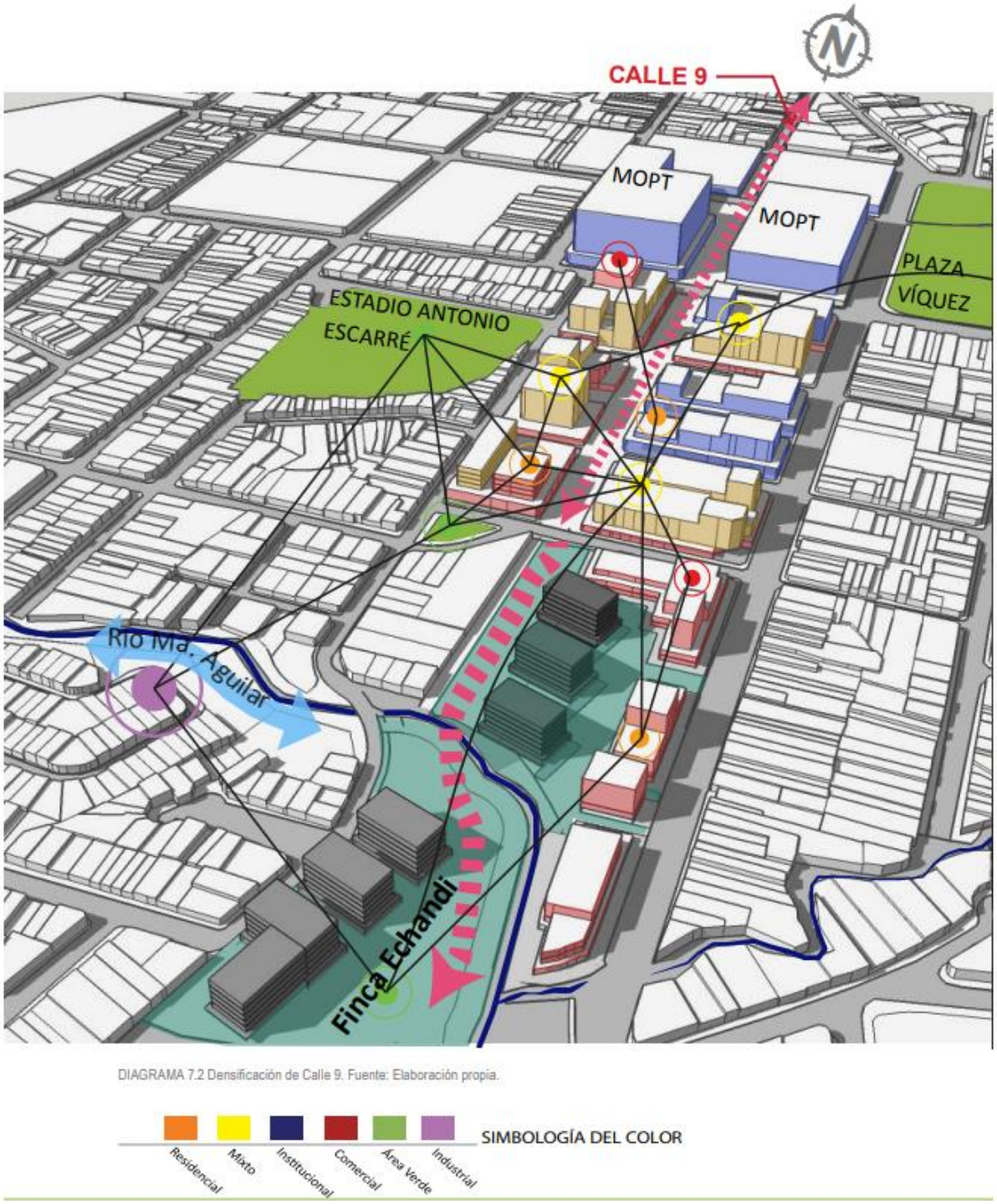


Imagen 14. Lineamientos de intervención de Finca Echandi, tesis de licenciatura "Metodología de Análisis para la Implementación de Proyectos Urbanos en la Ciudad Compacta". Fuente: Borrero, 2015.

El caso de estudio anterior es relevante porque aborda un problema similar al de este proyecto, como solucionar un conjunto de vivienda y uso mixto acompañado de pautas para fortalecer la ciudad compacta en San José.

De forma más puntal, Pacheco (2018) aborda la problemática del despoblamiento del centro de San José por medio de su tesis de licenciatura, Diseño de una Propuesta de Repoblamiento en el Casco Central de San José a través del Aprovechamiento de Edificios en desuso y/o subutilización. Específicamente, la arquitecta propone lo siguiente: "desarrollar una propuesta de vivienda en este distrito, aprovechando los edificios en desuso detectados, actuando como una propuesta modelo de reciclaje urbano para desencadenar acciones secuenciales de regeneración urbana en otras zonas de San José "(Pacheco, 2018, p. 9).

A diferencia de la presente investigación, el planteamiento de Pacheco (2018), no requiere construir nuevas infraestructuras y más bien se opta por reutilizar edificaciones con distintos usos. Aquí la lección es el planteamiento en la imagen 15, donde sigue siendo necesario el uso mixto con comercio en planta baja, zonas de uso compartido y residencia en niveles superiores del edificio Numar ubicado en el distro Carmen del cantón de San José.

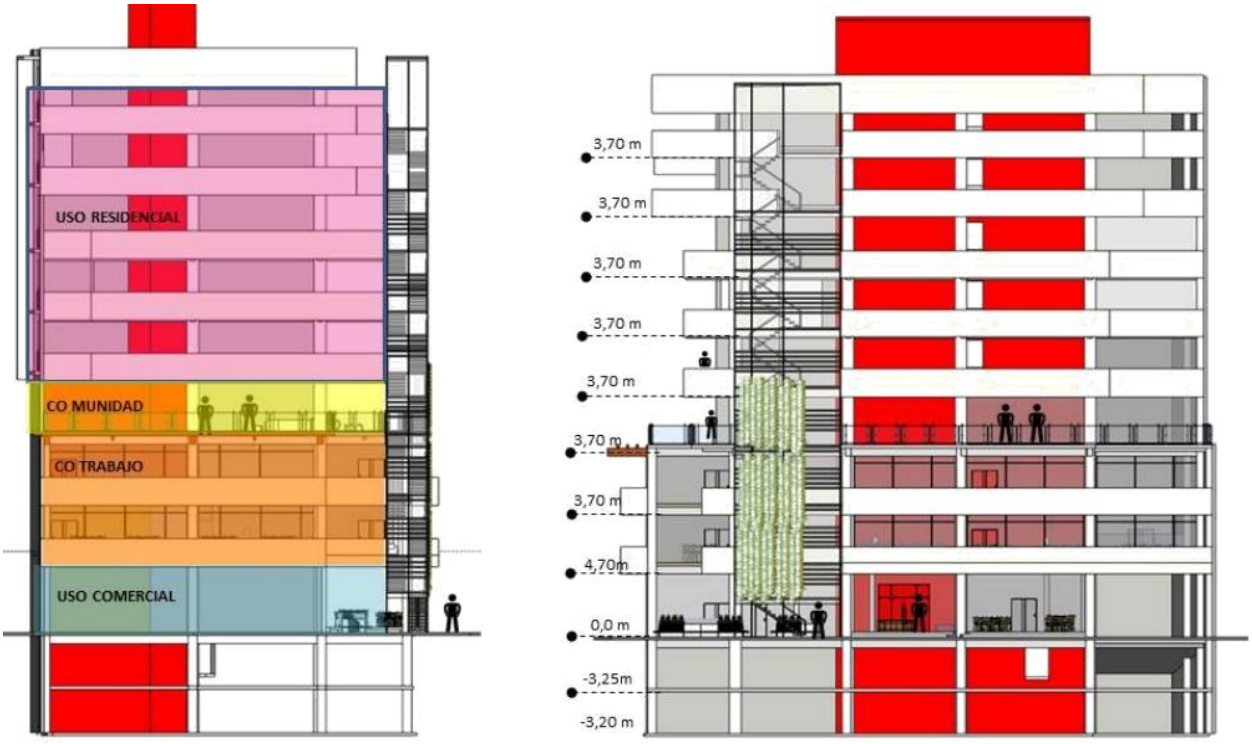


Imagen 15. Zonificación de usos en Edificio Numar, "Diseño de una propuesta de repoblamiento en el casco central de San José, a través del aprovechamiento de edificios en desuso y/o subutilización" Fuente: Pacheco, 2018.

En cuanto a construcción sostenible dentro del centro de San José destaca el proyecto Trópika, realizado por Salazar y Tames (2014). Esta propuesta surge como trabajo de graduación participante del Solar Decathlon Europe 2014, la cual es una competición que expone

soluciones de vivienda energéticamente eficientes, sostenibles y confortables. Dicha propuesta se enfocó en el tema de la construcción sostenible utilizando madera y se centra en el uso de la energía eléctrica producida con paneles fotovoltaicos, asimismo aborda la necesidad de un espacio habitacional adecuado a usuarios adultos mayores, pues es una población que proyecta un crecimiento importante en Costa Rica.

Imagen 16. Vista del complejo de vivienda, proyecto Trópica: propuesta habitacional para la población adulta mayor. Fuente: Salazar y Tames, 2014.

Este proyecto destaca por integrar múltiples aspectos de sostenibilidad dentro de una propuesta de vivienda vertical en mediana altura que se enriquece con la mezcla de usos en planta baja. Las edificaciones incorporan la madera como estructura primaria por medio del sistema poste viga, los espacios contemplan grandes ventanales que facilitan la ventilación e iluminación natural, además de que la relación interior/exterior de los apartamentos se soluciona con amplios balcones y pasarelas entre los edificios.

El concepto de minitorres libera el espacio para el peatón por medio de la densidad vertical y se mejora el tejido urbano con una mayor dotación de espacio público, que se concreta en distintas plazas, bulevares y zonas de juegos infantiles de acceso público. (imagen 14)

En cuanto a vivienda multifamiliar para clase media el INVU ha realizado proyectos relevantes donde destacan los multifamiliares Calderón Muñoz en la década de 1970, y el condominio Luis Alberto Monge en los años 80. Estos dos proyectos son importantes porque destacan la acción pionera del INVU en relación con proyectos de vivienda vertical que incorporaban comercios en planta baja, áreas verdes, parques infantiles y un emplazamiento que se integraba al tejido urbano. (Chaves y otros, 2019)

Calderón Muñoz

Luis Alberto Monge

Imagen 17. Proyectos de vivienda vertical del INVU: Multifamiliares Calderón Muñoz y Luis Alberto Monge. Fuente: Chaves y otros, 2019.

En ambos proyectos se observa que los conjuntos se integran con zonas verdes, plazas y circulaciones que se ramifican de acuerdo con criterios de privacidad para los residentes, sin embargo, como se observa en la imagen 17, el emplazamiento en ambos casos responde a formas muy distintas, lo cual depende de las condiciones de cada proyecto.

De lo anterior se pueden determinar ciertos avances y vacíos. Es importante señalar que la GAM es una zona ampliamente estudiada a nivel macro y eso lo demuestra el Plan GAM, así como el despoblamiento urbano, que está bien diagnosticado y hay varias iniciativas para revertir esta situación. Aun así, no hay estudios sobre la necesidad de un repoblamiento del centro de San José de manera equitativa, lo que puede llevar a un acceso desigual a la ciudad.

También es preciso señalar que instituciones públicas como el INVU han trazado una ruta a seguir en cuanto a la innovación en tipologías residenciales en altura para clase media, sin embargo, esos avances pueden estar desactualizados y carecen de planteamientos constructivos sostenibles como el entramado ligero de madera, así como nuevas tipologías en respuesta a la variedad de usuarios.

Marco teórico

Diseño y construcción sostenible

Bajo esta temática se realiza un abordaje de la concepción de desarrollo sostenible y la relevancia que tiene actualmente. Es necesario enfatizar en las implicaciones que conlleva dentro de la disciplina arquitectónica y constructiva, además de definir conceptos como arquitectura sostenible, construcción y material sostenible.

Actualmente la necesidad de un desarrollo sostenible es una idea cada vez más aceptada y en algunos casos exigida, esta situación ha surgido paralelamente a los problemas globales que se tienen por la contaminación y mal manejo de los recursos que se ha dado en los últimos años. (Bermejo, 2018)

Como señala Bermejo, una de las concepciones más aceptadas sobre desarrollo sostenible es la que plantea el Informe de Brundtland, que se explica como "el desarrollo que satisface las necesidades de la generación presente sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras para satisfacer sus propias necesidades" (2018, p. 16)

Lo anterior conlleva implicaciones en múltiples ámbitos, como la industria, salud, producción agrícola, transporte, entre otros. Uno de los principales obstáculos para lograr este desarrollo sostenible es el ámbito de la construcción, debido a la alta demanda de recursos que requiere y el ciclo de vida de los materiales que se usan, pues se generan residuos no biodegradables que permanecen largo tiempo en el planeta (Acosta, 2009).

A lo anterior también se le debe sumar la idea de vivir en armonía con la naturaleza, para lo cual la Declaración de Río no lo ve como un requisito del desarrollo sostenible, sino más bien como un derecho a una vida saludable y en armonía con la naturaleza. (Bermejo, 2018)

Ahora bien, dentro del ejercicio arquitectónico, (Ching & Shapiro, 2015) plantean que esta disciplina ya no solo tiene que responder en forma y función, sino que deben cumplirse una multiplicidad de factores donde surge el rendimiento como nuevo requisito, el comportamiento energético del edificio debe ser eficiente a lo largo de toda su vida útil, consumir menos energía y materiales sin dejar de proporcionar el confort necesario en la vida de las personas.

Dentro de las estrategias para lograr la incorporación de la sostenibilidad en arquitectura, Acosta (2009) propone las siguientes:

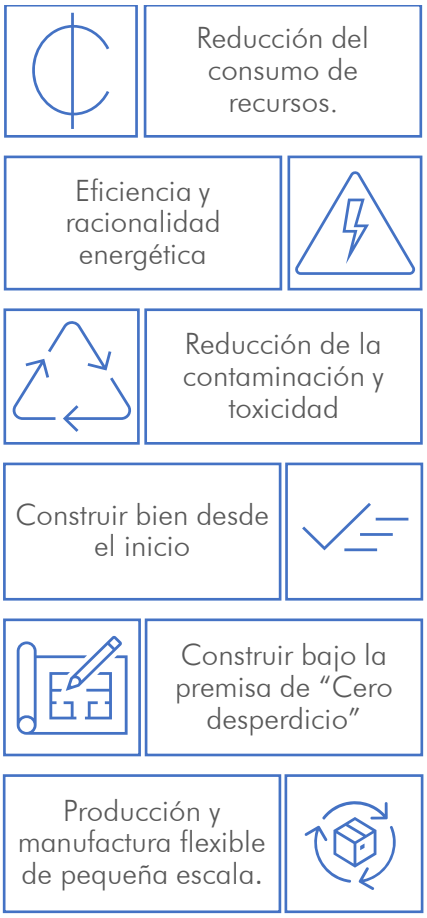


Imagen 18. Estrategias de sostenibilidad en arquitectura. Fuente: Acosta, 2009.

Asimismo, Marques y Lourero (2013) agregan los siguientes aspectos:

Imagen 19. Estrategias de sostenibilidad. Fuente: Marques y Lourero, 2013.

Para extender el entendimiento de material sostenible, Calkins (2008) menciona las siguientes recomendaciones:

- Utilizar materiales o productos con potencial de reutilización y des ensamblaje.
- Especificar materiales con cierto porcentaje de contenido reciclado.
- Usar materiales que se pueden reciclar.
- Especificar materiales que fueron hechos con recursos renovables.

De acuerdo con lo anterior, podemos entender como material sostenible la definición que nos proporciona Mata: "son aquellos que, cumpliendo las mismas funciones técnicas y garantizando la seguridad, consumen menos recursos no renovables o producen un menor impacto ambiental" (2010, p. 7).

El mismo autor proporciona la siguiente definición de construcción sostenible:

> Se entiende como aquella que, desde planteamientos respetuosos y comprometidos con el medio ambiente, utiliza adecuadamente el agua y los distintos tipos de energía; selecciona desde el proyecto y aplica eficientemente durante la obra recursos, tecnologías y materiales; evita los impactos ambientales; gestiona los residuos que genera en su ciclo de vida; busca un mantenimiento y conservación adecuados del patrimonio construido; reutiliza y rehabilita siempre que es posible, es rentable y resulta más accesible y saludable. (2010, p. 6)

Es así como la arquitectura sostenible debe considerar el consumo de los recursos, el impacto ambiental y los riesgos para la seguridad de las personas, derivado de los materiales, productos, procesos y sistemas constructivos utilizados.

Asimismo, como indica Reinberg (2009), se debe considerar lo siguiente:

> La arquitectura ecológica, más inteligente y sabia, no es únicamente más confortable y bella. También tiene la capacidad de proporcionar alegría a los sentidos. Así como un niño se desprende de la ayuda de sus padres y aprende entusiasta a caminar por sí mismo o un buen navegante reconoce (2009, p. 12)

Así que el desarrollo sostenible en la disciplina de arquitectura tiene que ver con el diseño eficiente energéticamente, los materiales utilizados y el proceso constructivo, sin olvidar la relación con el entorno y el usuario.

El desarrollo sostenible se concibe desde una perspectiva integral debido a que engloba criterios sobre transporte, industria, salud y producción agrícola. Dentro de esos aspectos las disciplinas arquitectónica y constructiva desempeña un papel muy importante en pro o en contra del medioambiente.

De tal forma que se determinan aspectos importantes como el desempeño energético de los edificios, los materiales utilizados deben ser sostenibles, se debe dar una reducción de los

desechos y un mejor control de estos, y el bienestar de los usuarios debe ser óptimo por medio del diseño confortable de los espacios.

Vivienda colectiva asequible

En este eje temático se pretende abordar el entendimiento de la vivienda colectiva en la época contemporánea para comprender cómo este modelo de vivienda se ha adaptado a las necesidades actuales. Para esto se detallan conceptos como vivienda colectiva, vivienda asequible, derecho a la vivienda, exclusión residencial y derecho a la ciudad.

Según Montaner (2015), el aporte de la disciplina arquitectónica ha sido de vital importancia para resolver nuevos modelos de vivienda que ataquen la necesidad de vivienda para las clases menos adineradas. Los primeros estudios en materia de vivienda colectiva se enfocaban en mejorar las relaciones de proximidad entre habitaciones y dentro de ellas.

Por otro lado, en Alemania, el Deutsche Werkbund tuvo como objetivo profundizar en la teoría sobre la sistematización, estandarización y homogenización del diseño desde el punto de vista industrial. De tal forma que se definió un modelo canónico de vivienda social como la casa plurifamiliar con escaleras que dan acceso a dos viviendas por rellano, cada una con cocina, estar-comedor, dos habitaciones y un baño, también se debe señalar que esta solución reduce los metros cuadrados en planta para disfrutar de la ventilación cruzada. Este modelo de vivienda es el resultado de una mentalidad racionalista, funcionalista y mecanicista que encontraba una solución tecnológicamente avanzada y repetible. (Dagen, N., & Gordon, M., 2019).

Aun así, el planteamiento anterior también generó nuevas insuficiencias, puesto que esta solución podía funcionar de forma genérica y descontextualizada, varias habitaciones pueden formar una vivienda y varias viviendas pueden conformar un edificio, estos podían formar un barrio y una ciudad. No se tomaban en cuenta los hitos esenciales de una ciudad como señala Aldo Rossi.

La vivienda colectiva es entendida según López (2012) como aquel modelo de vivienda en el que conviven grupos de personas sin ningún vínculo entre ellos, existen zonas de uso común como parqueos, vestíbulos, accesos, terrazas, entre otros; además de que existen algunos tipos básicos edificatorios, como la vivienda unifamiliar en hilera, el edificio de al menos dos plantas entre medianeras en una manzana cerrada, y el bloque exento de altura media en parcela independiente. El mismo autor hace referencia a la importancia de incorporar el entorno a los modelos de vivienda, por lo que señala lo siguiente:

> El diseño residencial debe ser consciente de que el sistema de calles y espacios públicos es mucho más que el residuo espacial de la simple o caprichosa acumulación de edificios. De su forma, dimensiones, calidad paisajística, complejidad funcional, dependen buena parte de la propia calidad, carácter y seguridad de los diferentes barrios y tejidos residenciales. (2012, p. 15)

Así mismo, una variante de vivienda asequible que ha surgido recientemente es la vivienda incremental, dicho modelo consiste en el desarrollo parcial de una vivienda con el objetivo de ser expandida posteriormente por los usuarios de forma independiente y de acuerdo con sus capacidades y necesidades. En la imagen 20 se observa un ejemplo de esta tipología de vivienda del estudio de arquitectura ELEMENTAL, quienes sostienen que si no se puede hacer todo entonces la construcción debe enfocarse en lo más difícil, lo que no se puede hacer individualmente y lo que garantiza el bien común en el futuro. (Escárcega, 2020)

Imagen 20. Vivienda incremental Villa Verde, estudio ELEMENTAL. Fuente: archdaily.cl, 2016.

Algo que se debe agregar también es la necesidad de generar modelos de vivienda lo suficientemente densos para pagar suelos caros y bien localizados. También el uso de sistemas constructivos modulares es necesario para reducir el costo de la construcción.

Woo y Mangin (2019) plantean el dilema de la vivienda asequible desde el punto de vista de los ingresos del posible beneficiario, ya que una vivienda asequible puede ser muy costosa para un usuario o más bien al contrario. Vivienda asequible es aquella que está al alcance de familias de ingresos medios o bajos, se estima que el costo de una vivienda no debe ser mayor al 30% de los ingresos familiares.

El estudio de la vivienda como derecho es un pilar del bienestar de cada individuo de una sociedad, que se inserta como una necesidad para el buen desarrollo de una ciudad. Cuando no se cumplen los requisitos mínimos en la situación residencial, como las condiciones óptimas de habitabilidad, se produce la exclusión residencial, un fenómeno cada vez más común en ciudades desarrolladas.

El desarrollo social sostenible se refiere a la dinámica de una comunidad que logra mejorar el nivel de vida, la economía, convivencia, autoconocimiento, inclusión, equidad, salud y bienestar psicológico. De tal forma que la vivienda se proyecta como un mecanismo esencial

en el proceso de integración social de cada persona. Para esto deben cumplirse determinadas características físicas, equipamientos e instalaciones, integración urbanística y social. (López, 2012)

El nivel de demanda de viviendas también está influenciado por la población, el crecimiento de esta y los estilos de vida. Las familias jóvenes requerirán soluciones de vivienda que incorporen espacios con vegetación y seguridad para los niños. (Couch, 1990)

Es evidente que muchos procesos de exclusión social se inician a partir de problemas vinculados a la vivienda, el proceso de exclusión acumula desventajas en derechos esenciales de los ciudadanos en materia de trabajo, recreación, educación, salud y por supuesto, en materia residencial. Muchos de los factores anteriores tienen como factor común su disponibilidad más accesible dentro de un desarrollo urbano bien logrado. (Montaner, 2015)

Lo anterior plantea el debate establecido por Henry Lefebvre en 1967, el entendimiento del derecho a la ciudad definido como el derecho de los habitantes urbanos y principalmente de la clase obrera a construir, decidir y crear la ciudad, haciendo de esta un espacio de lucha anticapitalista. En su ensayo, Lefebvre plantea que el urbanismo moderno implementado mercantilizaba la vida urbana, el predominio del capital hacia imposible que las clases menos adineradas pudieran participar sobre las decisiones de la ciudad. (Molano, 2016)

En síntesis, la vivienda asequible se entiende como aquella que puede ser financiada por familias de clase baja y media, porque su costo no representa un porcentaje alto de los ingresos familiares. Suelen usarse modelos densos que aprovechan la altura para utilizar mejor el terreno y abaratar su costo, a su vez, la implementación de sistemas constructivos modulados reduce el desperdicio y disminuye los costos.

La vivienda como derecho es un pilar del desarrollo social sostenible, pues la vivienda representa un medio para la integración social de los individuos. Al proyectarse la ciudad como un contexto de mayor calidad de vida, los desarrollos urbanísticos deben garantizar la equidad en el acceso a la vivienda para todas las clases sociales.

Diseño y construcción con entramado ligero de madera.

Dentro del comercio maderero la clasificación de la madera corresponde a dos grupos principalmente: las coníferas que se caracterizan por pertenecer a árboles de copa piramidal y hojas con forma de aguja, y por otro lado, las latifoliadas que presentan una copa más ramificada en sus árboles y sus hojas son de forma laminar. Esta clasificación también rige para el tipo de madera que producen las coníferas y las latifoliadas, ya que las primeras son denominadas maderas blandas, pues su densidad varía de 300 kg/m^3 a 550 kg/m^3; por el contrario, las latifoliadas se consideran maderas duras porque sus densidades superan los 550 kg/m^3. (González M. , 2021)

Propiedades físicas de la madera

Anisotropía

Algunos materiales presentan distintas propiedades mecánicas según el plano en el que se ejerce una fuerza sobre ellos, en el caso de la madera hay tres planos: transversal, que es paralelo a la dirección de las fibras; longitudinal tangencial, que es tangente a los anillos de crecimiento y perpendicular al eje longitudinal de la pieza; y por último el plano radial, que es perpendicular a los anillos de crecimiento y al eje longitudinal. Esta característica es de vital importancia para el planteamiento estructural de los elementos en madera y su disposición a la hora de recibir cargas. (González M. , 2021)

Contenido de humedad

La madera tiene la capacidad de captar y ceder humedad, esta característica se conoce como higroscopicidad. El contenido de humedad es la cantidad de agua contenida en la madera en relación con su masa anhidra expresada en porcentajes.

$$\%CH = \frac{masa\ de\ agua}{masa\ madera\ anhidra}$$

Por supuesto, este contenido de agua en la madera va a variar de acuerdo con la humedad del aire y la temperatura ambiente (Tuk, 2019). Para el caso de Costa Rica se han promediado valores de humedad relativa y temperatura de 5 años desde distintos lugares del país. En San José es común que la madera contenga un 15% de humedad. En la tabla 1 se detalla la relación de la humedad relativa y la temperatura ambiente.

Humedad de la madera en varios ambientes de temperatura y humedad relativa									
Temperatura	Humedad relativa en %								
C	60	65	70	75	80	85	90	95	98
-1	11,3	12,4	13,5	14,9	16,5	18,5	21	24,3	26,9
4	11,3	12,3	13,5	14,9	16,5	18,5	21	24,3	26,9
10	11,2	12,3	13,4	14,8	16,4	18,4	20,9	24,3	26,9
16	11,1	12,1	13,3	14,6	16,2	18,2	20,7	24,1	26,8
21	11	12	13,1	14,4	16	17,9	20,5	23,9	26,6
27	10,8	11,7	12,9	14,2	15,7	17,7	20,2	23,6	26,3
32	10,5	11,5	12,6	13,9	15,5	17,3	19,8	23,3	26
38	10,3	11,2	12,3	13,6	15,1	17	19,5	22,9	25,6
43	10	11	12	13,2	17,7	16,6	19,1	22,4	25,2
49	9,7	10,6	11,7	12,9	14,4	16,2	18,6	22	24,7
54	9,4	10,3	11,3	12,5	14	15,8	18,2	21,5	24,2
60	9,1	10	11	12,1	13,6	15,3	17,7	21	23,7
66	8,8	9,7	10,6	11,8	13,1	14,9	17,2	20,4	23,1
71	8,5	9,3	10,3	11,4	12,7	14,4	16,7	19,9	22,5
77	8,2	9	9,9	11	12,3	14	16,2	19,3	21,9
82	7,8	8,6	9,5	10,5	11,8	13,5	15,7	18,7	21,3
88	7,5	8,2	9,1	10,1	11,4	13	15,1	18,1	20,7
93	7,1	7,8	8,7	9,7	10,9	12,5	14,6	17,5	20
99	6,7	7,4	8,3	9,2	10,4	12	14	16,9	19,3

Tabla 1. Valores sicrométricos entre humedad relativa del aire y temperatura, con la humedad equilibrio de la madera. Fuente: Madera: diseño y construcción. (Tuk, 2019)

Región		Mín	Máx	Estación
	Guanacaste, Pacífico Central	13,2	15,4	Época seca e invierno
	Valle Central, San José	17	24	Verano a invierno
	Montañas a más de 2500 msmm	20	26,9	Todo el año
	Caribe, Limón	19	25	Época húmeda

Tabla 1. Valores sicrométricos entre humedad relativa del aire y temperatura, con la humedad equilibrio de la madera. Fuente: Madera: diseño y construcción. (Tuk, 2019)

Biodeterioro y preservación

Por ser un material de origen orgánico, la madera es un material biodegradable y este proceso de degradación puede ser provocado por patologías bióticas, abióticas y estructurales. Algunos agentes de biodeterioro son los siguientes: hongos, sol y lluvia, fuego, insectos, entre otros. (González M. , 2021)

Uno de los preservantes más utilizados en la madera de pino radiata producida en Chile es el CCA (cobre, cromo, arsénico), el cual es eficaz para la protección contra hongos e insectos, sin embargo, este compuesto es altamente tóxico y es cuestionado por esto.

Tensiones admisibles

La determinación de las tensiones admisibles para cada especie de madera se obtiene de acuerdo a un proceso estadístico de distintos ensayos de resistencia como los siguientes: compresión paralela a las fibras, resistencia y rigidez en flexión, tracción paralela a las fibras, entre otros. Finalmente los valores obtenidos se dividen por un factor de ajuste que considera la aplicación de una carga de duración permanente (10 años) y un factor de seguridad. En el caso del pino radiata, una especie altamente comercializada, se tienen los valores admisibles de la siguiente tabla 2..

Grado estructural	Tensiones admisibles (Mpa)					Módulo de elasticidad flexión	Índice de aplastamiento compresión normal (Mpa/mm)
	Flexión	Compresión paralela	Tracción paralela	Compresión normal	Cizalle		
GS	11,0	8,5	6,0	2,5	1,1	10,500	5,65
G1	7,5	7,5	5,0	2,5	1,1	10,000	5,65
G2	5,4	6,5	4,0	2,5	1,1	8,900	5,65
C24	9,3	8,0	4,7	2,5	1,1	10,200	5,65
C16	5,2	7,5	3,5	2,5	1,1	7,900	5,65
MGP12	13,5	15,0	6,0	2,5	1,3	12,700	5,65
MGP10	8,4	10,0	4,0	2,5	1,3	10,000	5,65

Tabla 2. Tensiones admisibles para Pino Radiata CH=12%. Fuente: NCh 1198: Madera - Construcciones en Madera – Cálculo.

Clasificación estructural

La madera aserrada que se clasifica para un uso estructural presenta las siguientes características: sección transversal rectangular, fue cepillada, tiene una capacidad mecánica conocida, la condición de humedad está especificada, se determinan tolerancias dimensionales específicas, durabilidad y/o preservación especificada, especie y origen, y uso de marcas de calidad por parte del proveedor.

Para efectuar la clasificación existen métodos visuales y mecánicos. Una normativa de referencia como la NCh 1207 de Chile, indica tres grados estructurales de acuerdo con la clasificación visual para Pino radiata: Grado selecto (GS), Grado estructural N1 (G1) y Grado estructural N2 (G2). Dicho método visual evalúa aspectos de la madera como la presencia y los tipos de nudos, inclinación de la fibra, arista faltante, alabeos, bolsillo de resina y corteza. La clasificación mecánica consiste en someter las piezas a ensayos no destructivos que relacionan la rigidez con una clase estructural, que puede ser C24, C16, MGP 10 o MGP 12.

Requerimientos técnicos para la madera estructural

El proceso productivo para la obtención de madera aserrada estructural debe ser preciso y ordenado, ya que se compone de las siguientes etapas: producción en plantaciones dedicadas, obtención de las trozas, aserrado, secado, clasificación estructural, preservación, segundo secado y envío a los distribuidores para llegar finalmente a la obra.

En la madera para uso estructural debe tener indicado el contenido de humedad (seca o verde), dimensiones efectivas y tolerancias dimensionales, calidad estructural y la durabilidad natural/tratamiento

En cuanto a humedad se considera su grado de exposición a la intemperie dependiendo de su ubicación en el edificio, como lo detalla la tabla 3:

Ubicación de la madera en el edificio	Humedad de equilibrio promedio para las condiciones de servicio señaladas
A. Recintos cubiertos abiertos	Humedad de equilibrio según localidad
B. Recintos cubiertos cerrados sin calefacción o calefaccionados intermitentemente	12%
C. Recintos continuamente calefaccionados	9%

Tabla 3. Humedad equilibrio para la madera según su ubicación en el edificio. Fuente: NCh 1198: Maderas - Construcciones en madera - Cálculo.

La especificidad dentro de las dimensiones de la madera aserrada se vuelve necesaria para evitar complicaciones al momento de generar ensambles, dichas dimensiones varían con respecto de la dimensión nominal dependiendo si la madera solo está aserrada o también fue cepillada. En la tabla 4 se presentan las dimensiones efectivas para el caso de pino radiata.

Dimensión nominal	Dimensión efectiva (mm)	
	Aserrado seco	Cepillado seco
½	10	8
¾	17	14
1	21	19
1 ½	36	33
2	45	41
2 ½	57	53
3	69	65
3 ½	82	78
4	94	90
5	118	114
6	142	138
7	166	162
8	190	185
9	214	210
10	235	230

Tabla 4. Dimensiones efectivas para elementos de madera. Fuente: NCh 1198: Maderas - Construcciones en madera – Cálculo.

Construcción con entramado ligero

La construcción con entramado ligero tiene su origen en Norteamérica y surge como consecuencia de dos factores: la disponibilidad de productos industriales normalizados (madera aserrada y clavos) y la necesidad de un sistema rápido de construcción. Este sistema ha tenido modificaciones con el tiempo, pero sus características básicas son las siguientes (Peraza y otros, 1995):

Se utilizan un gran número de elementos de dimensiones reducidas, por lo que la carga es dsitribuida e muchos elementos de pequeñas dimensiones. Estas piezas suelen ser estandarizadas y certificadas facilitando la modulación y prefabricación, lo que favorece el ahorro.

Se utilizan muros, forjados y cubiertas que unidos funcionan como una estructura espacial. Las uniones suelen ser sencillas, clavos y grapas, sin embargo, el avancce en tecnología ha permitido una amplia gama de conectores para edificaciones en altura

El tiempo de cpnstrucción es menor y en seco

El paso de instalaciones es facilitado por el tipo de ensambles

Exige una cantidad considerable de detalles constructivos por la cantidad de elementos

Exige un mayor control en la recepción y control de materiales

Imagen 21. Características del entramado ligero. Fuente: Peraza y otros (1995)

Dentro de los sistemas constructivos con madera de luces cortas se tienen dos variaciones principales, que son el Balloon Frame y el sistema plataforma, estos dos sistemas, aunque son similares presentan distintas características (Peraza y otros, 1995):

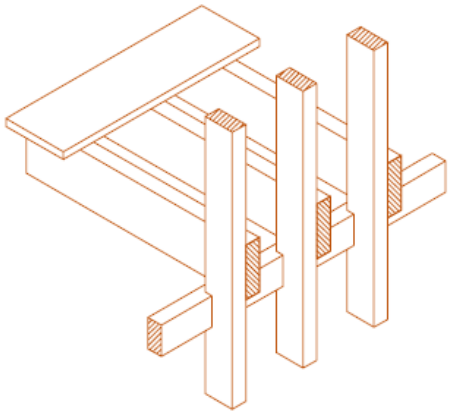
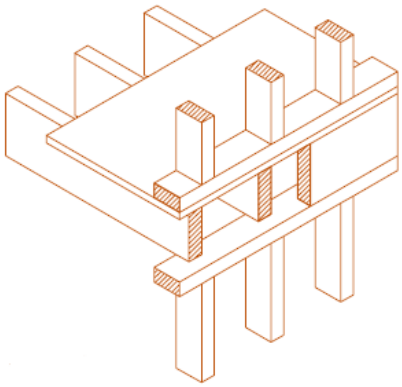
Balloon Frame	Sistema plataforma
Los montantes en paredes exteriores son continuos en toda su altura (normalmente dos plantas)	Las plataformas constan de un entramado de montantes o viguetas o traveseros, más un cerramiento de tablero estructural.
Las viguetas de entrepiso se fijan directamente a los montantes y luego se calzan con carreras transversales.	La altura de montantes más testeros coincide con la altura de piso.
Este sistema es más complicado en su ejecución y dificulta la prefabricación.	Se presta mejor a la prefabricación por facilitar la construcción de elementos intermedios
Presenta un diseño deficiente contra el fuego por la continuidad entre plantas.	El desempeño contra el fuego es mejor por la estanqueidad entre plantas.
El levantado de los muros es complejo porque se debe hacer simultáneamente	El levantado del edificio es más sencillo. Se elevan las plataformas y forjados que se arriostran unos con otros.
 Imagen 22. Balloom frame. Fuente: Guía práctica para la Construcción de Viviendas de Madera con el Sistema Plataforma. (González y otros, 2011)	 Imagen 23. Sistema plataforma. Fuente: Guía práctica para la Construcción de Viviendas de Madera con el Sistema Plataforma. (González y otros, 2011)

Imagen 24. Características del sistema Balloon Frame y sistema plataforma. Fuente: Peraza y otros (1995).

Por sus cualidades el sistema plataforma es el que se desarrollará en este proyecto.

Sistema Plataforma

Como se ha mencionado anteriormente, este sistema está constituido esencialmente por plataformas y tabiques; las plataformas son envigados horizontales más elementos de rigidización (tablero OSB, entre otros), los tabiques son elementos soportantes denominados

también muros estructurales correspondientes a los entramados verticales cuya altura coincide con la de un piso, estos muros se componen por una solera inferior, pies derechos, solera superior y una placa de rigidización. En el esquema de la siguiente imagen se detallan los principales elementos, entre los cuales el elemento de unión suele ser el clavo. (González y otros, 2011)

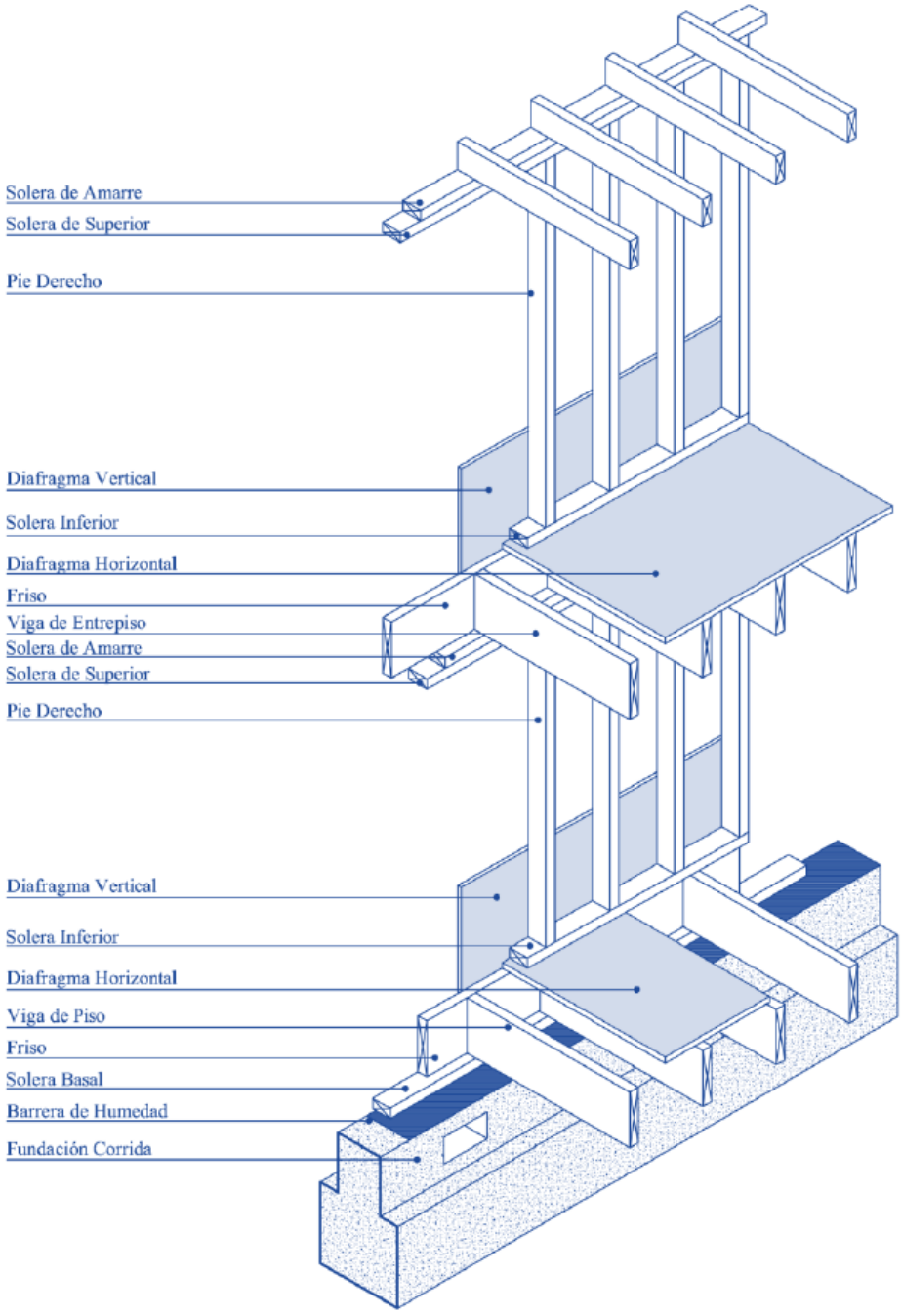


Imagen 25. Elementos generales en el sistema plataforma. Fuente: Guía práctica para la Construcción de Viviendas de Madera con el Sistema Plataforma. (González y otros, 2011)

Principios de comportamiento estructural

En este sistema estructural la resistencia y rigidez proviene del trabajo en conjunto de los elementos portantes ligeros y los elementos de cerramiento, de tal forma se logra un funcionamiento conjunto para resistir cargas verticales y horizontales. (Peraza y otros, 1995) En la siguiente imagen se muestra un diagrama esquemático de la distribución de fuerzas en este sistema.

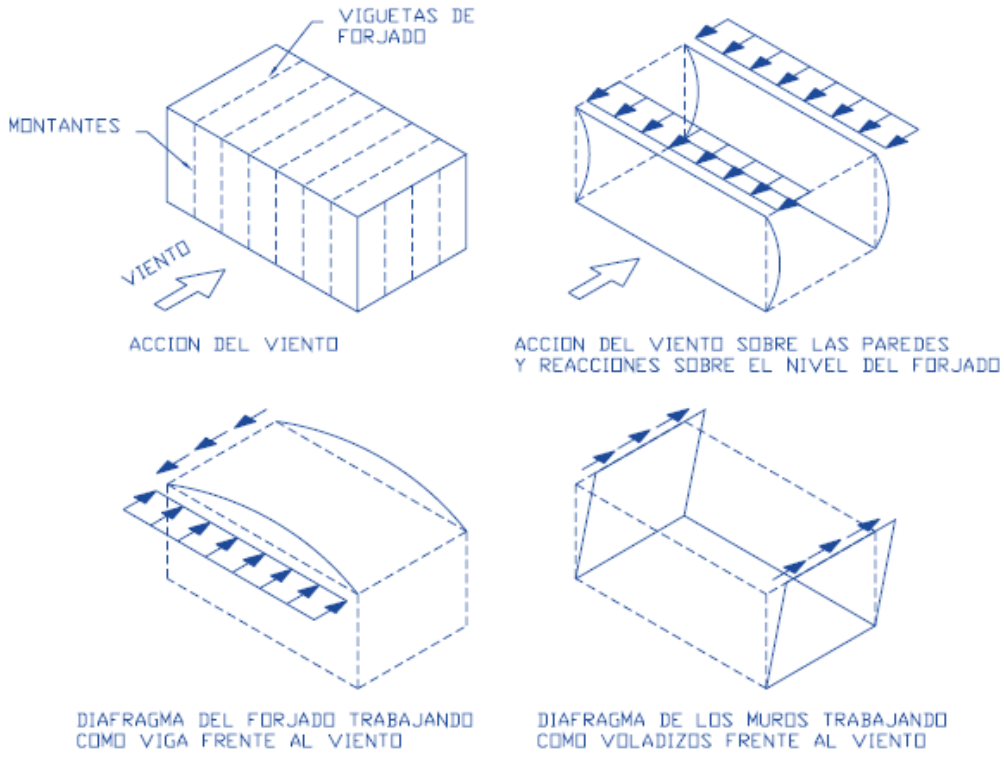


Imagen 26. Diagrama de acciones verticales y horizontales en una construcción con entramado ligero. Fuente: Casas de Madera (Peraza y otros, 1995)

Como se muestra en la imagen anterior, las acciones verticales son resistidas por los entramados horizontales hacia los muros, los cuales se componen de muros arriostrados con tableros de cerramiento que evitan la torsión.

Asimismo, las cargas horizontales de viento y sismo son resistidas por las paredes, en este caso los montantes transmiten la carga al forjado que actúa como una viga de gran canto apoyada en los muros laterales que actúan como una viga en voladizo. (Peraza y otros, 1995)

Entramados horizontales

Estos entramados corresponden a los elementos estructurales que se encargan de recibir y transmitir las cargas permanentes y sobrecargas de uso a los elementos soportantes verticales (González y otros, 2011). En el siguiente esquema se muestran los principales elementos de un entramado horizontal:

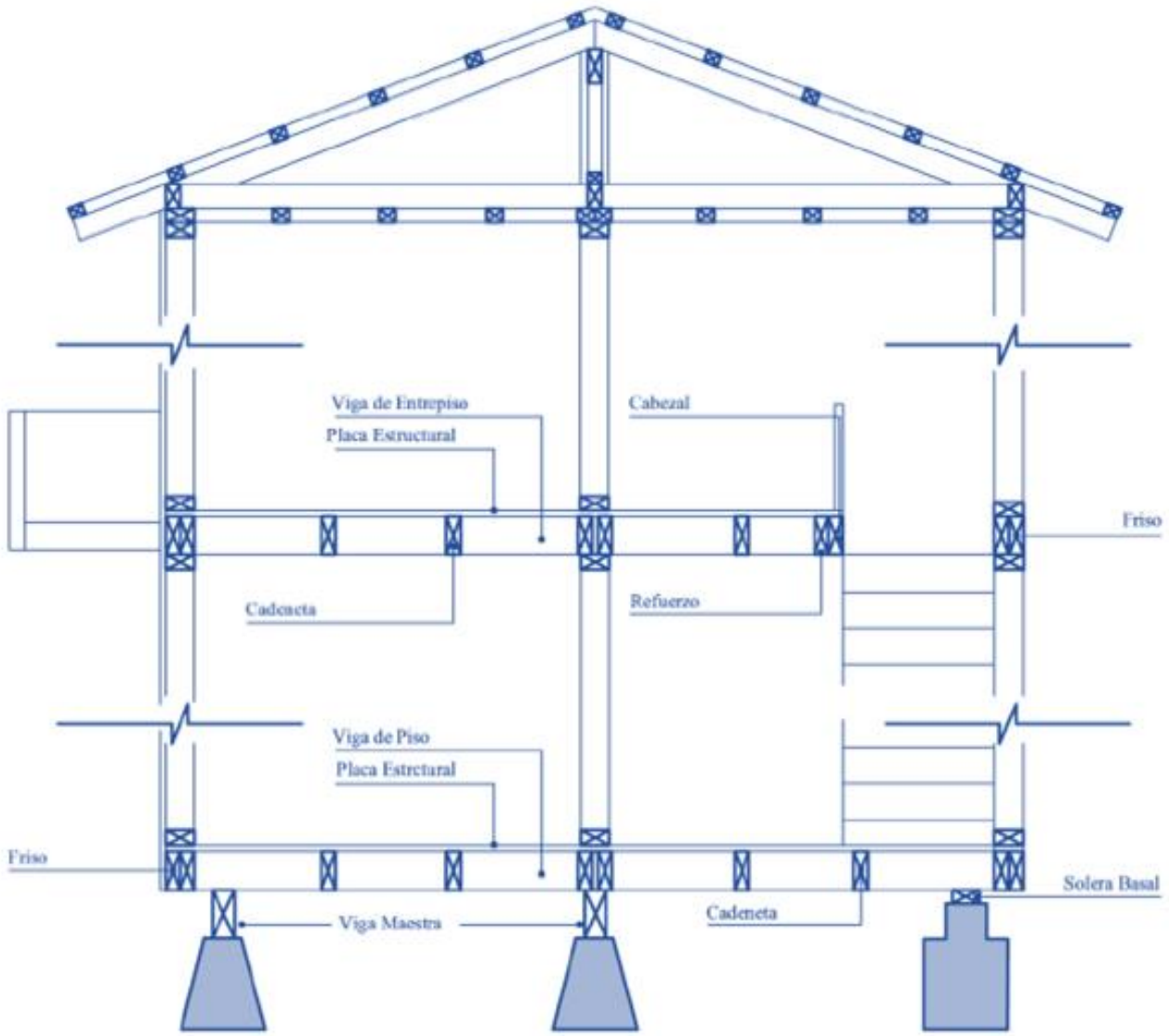


Imagen 27. Componentes de un entramado horizontal. Fuente: Guía práctica para la Construcción de Viviendas de Madera con el Sistema Plataforma. (González y otros, 2011)

El anclaje de la solera basal es de vital importancia para el funcionamiento de los muros estructurales, como muestra la imagen 28, dicha solera debe ser colocada directamente al elemento de fundación o de transición considerando un material sellante en medio y una barrera de humedad. Dicho anclaje se realiza por medio de pernos de acuerdo con el diseño estructural que definirá el tipo de perno y la distancia entre cada uno. (González y otros, 2011)

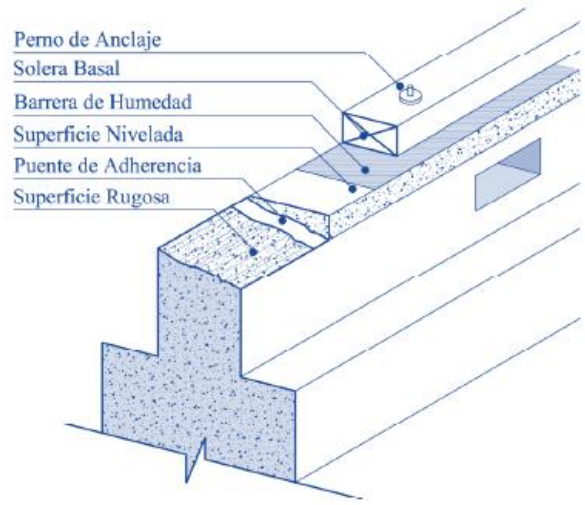


Imagen 28. Anclaje de solera basal al cimiento. Fuente: Guía práctica para la Construcción de Viviendas de Madera con el Sistema Plataforma. (González y otros, 2011)

Por otro lado, el encuentro entre el envigado de entrepiso y la solera de amarre de los muros se realiza cuando estos ya están levantados, en la imagen 29 se puede observar que la solera sirve de apoyo para las vigas de entrepiso y friso. (González y otros, 2011)

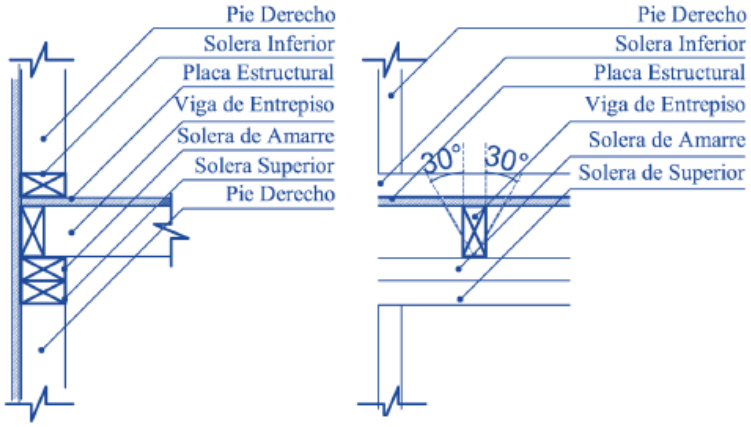


Imagen 29. Encuentro entre solera de amarre y envigado de entrepiso. Fuente: Guía Práctica para la Construcción de Viviendas de Madera con el Sistema Plataforma. (González y otros, 2011)

En los ensambles de entrepiso es importante el arriostramiento de las vigas para evitar su volcamiento. Esta rigidización se puede lograr mediante elementos cruzados, reforzamiento con cadenetas o listoneado colocado en el fondo de viga.

El diafragma de entrepiso puede ser formado por tableros de madera contrachapada o tableros de hojuelas orientadas (OSB). Es importante señalar que el espesor de este será determinado por el espaciamiento entre vigas y de la carga de uso, como muestra la tabla 5.

Tipo de placa	Distanciamiento de envigado (cm)		
	40	50	60
Contrachapado	15 mm	15 mm	18 mm
OSB	15,1 mm	15,1 mm	18,3 mm

Tabla 5. Espesor de tableros según el espaciado de vigas para su uso como diafragma horizontal. Fuente: Guía Práctica para la Construcción de Viviendas de Madera con el Sistema Plataforma. (González y otros, 2011)

Dichas placas que funcionaran como diafragmas deben ser instaladas de manera perpendicular a la orientación de las vigas y en disposición traslapada con las uniones entre placas sobre vigas o cadenetas excepto si esta unión es machihembrada. Estas indicaciones se ilustran en la imagen 30.

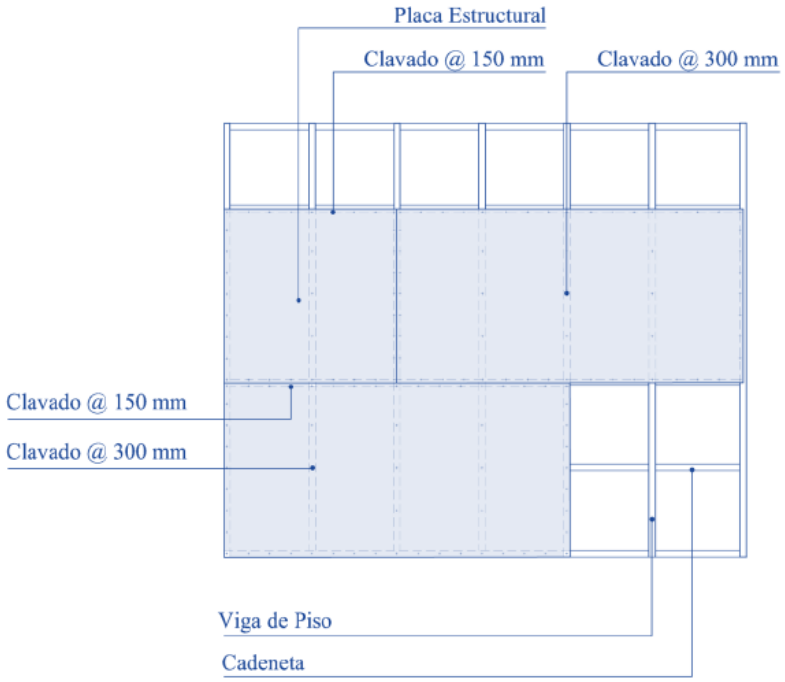


Imagen 30. Disposición de placas estructurales en diafragmas de piso. Fuente: Guía Práctica para la Construcción de Viviendas de Madera con el Sistema Plataforma (González y otros, 2011)

Entramados verticales

Son los elementos estructurales que tienen la función de recibir y transmitir las cargas, tanto estáticas como dinámicas, hasta los cimientos. En estos ensambles es común utilizar piezas de 2x4 pulgadas, sin embargo, esto debe ir de acuerdo con el cálculo estructural; asimismo los espaciamientos entre pies derechos varían entre 40 cm y 60 cm. Como diafragma se utilizan tableros de OSB de espesor no menor a 9,5 mm, esta forma de arriostramiento permite prescindir de diagonales dentro del mismo entramado. Los elementos anteriores se describen en la imagen 31.

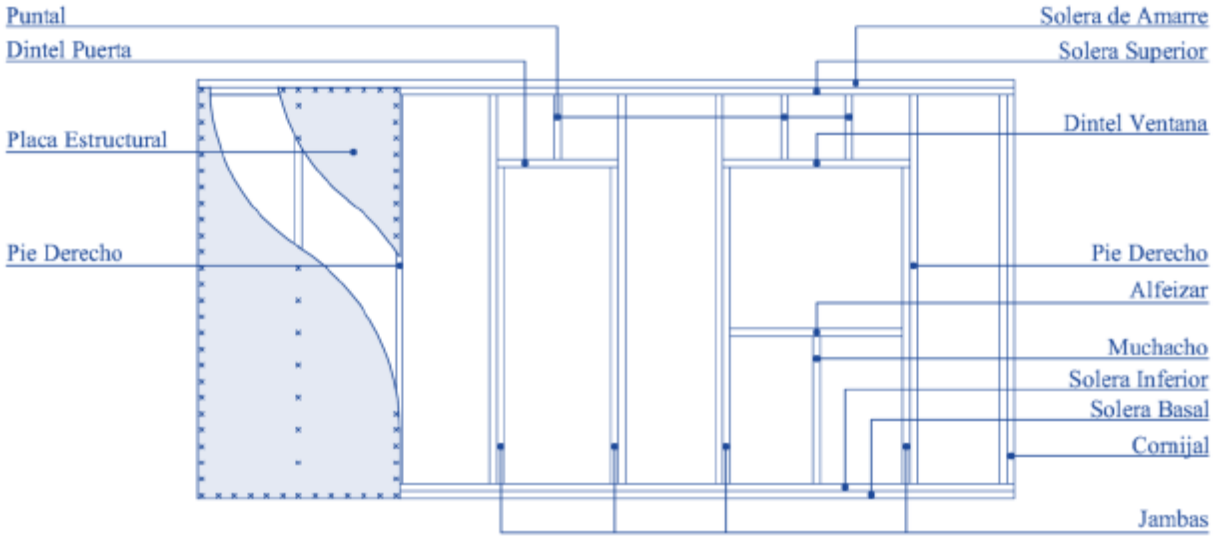


Imagen 31. Componentes de un entramado vertical. Fuente: Guía Práctica para la Construcción de Viviendas de Madera con el Sistema Plataforma (González y otros, 2011)

La disposición de los pies derechos se realiza de tal forma que la cara menor queda hacia los revestimientos con el fin de resistir mejor las cargas de sismo y viento. Y como se observa en la imagen 32, la unión de soleras y pies derechos se ejecuta con dos clavos.

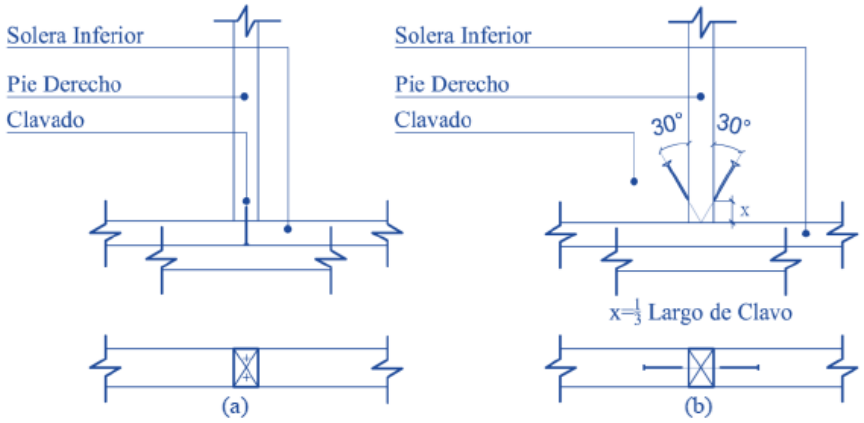


Imagen 32. Clavado de pie derecho a solera. Fuente: Guía Práctica para la Construcción de Viviendas de Madera con el Sistema Plataforma (González y otros, 2011)

Las placas estructurales generalmente se disponen de manera vertical y su espesor dependerá del cálculo estructural tomando en cuenta el espaciamiento de los pies derechos, el clavado de la lámina, las cargas, entre otros factores. El encuentro entre este muro estructural y el cimiento se realiza por medio de pernos que fijan la solera basal y la solera inferior al sobrecimiento, colocando una barrera de humedad entre la madera y el concreto. También es preciso señalar la protección contra la penetración del agua, como muestra la imagen 33, se puede realizar un sellado con la continuación de la barrera de humedad y el revestimiento exterior, o generar un rebaje en el sobrecimiento más la instalación de un botagua.

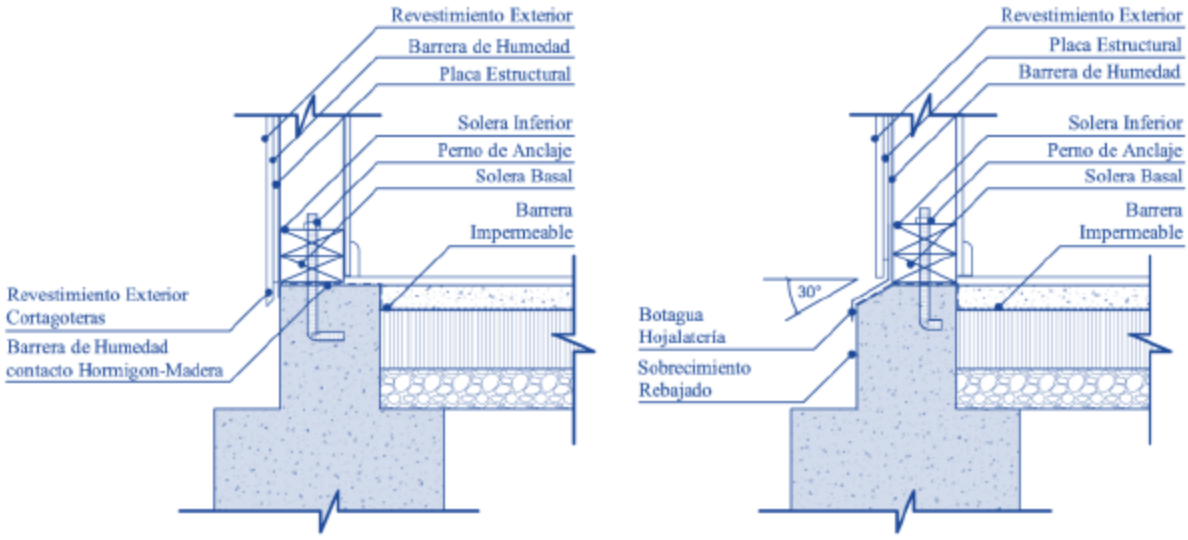


Imagen 33. Encuentro de sobrecimiento con muro estructural. Fuente: Guía Práctica para la Construcción de Viviendas de Madera con el Sistema Plataforma. (González y otros, 2011)

Las distintas distribuciones que pueda presentar un diseño generarán distintos tipos de uniones entre tabiques o muros, sin embargo, lo más común será encontrar muros en disposiciones ortogonales, por lo cual, en las imágenes 34 y 35 se detallan distintos tipos de unión en L o T.

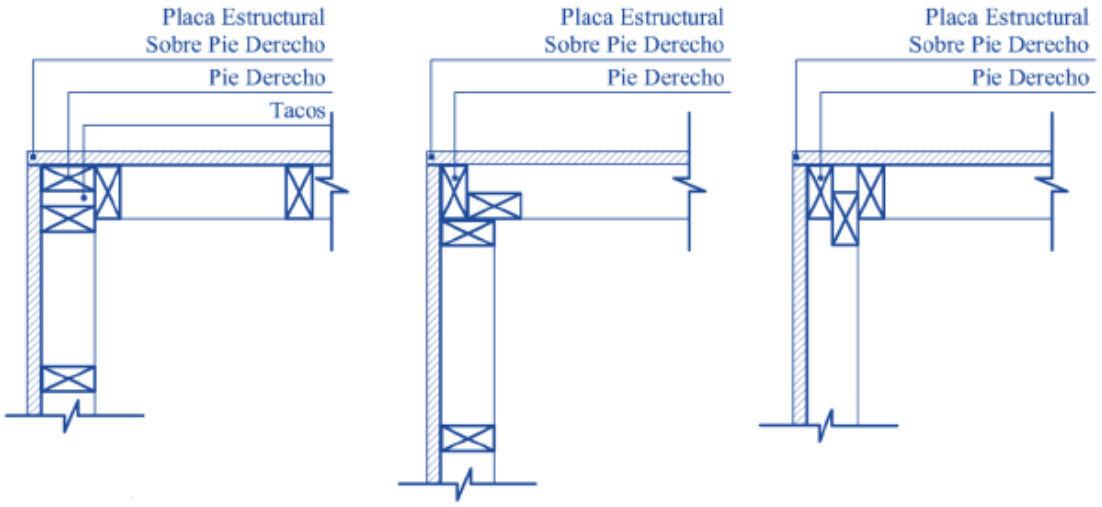


Imagen 34. Disposición de pies derechos en uniones entre muros. Fuente: Guía Práctica para la Construcción de Viviendas con el Sistema Plataforma. (González y otros, 2011)

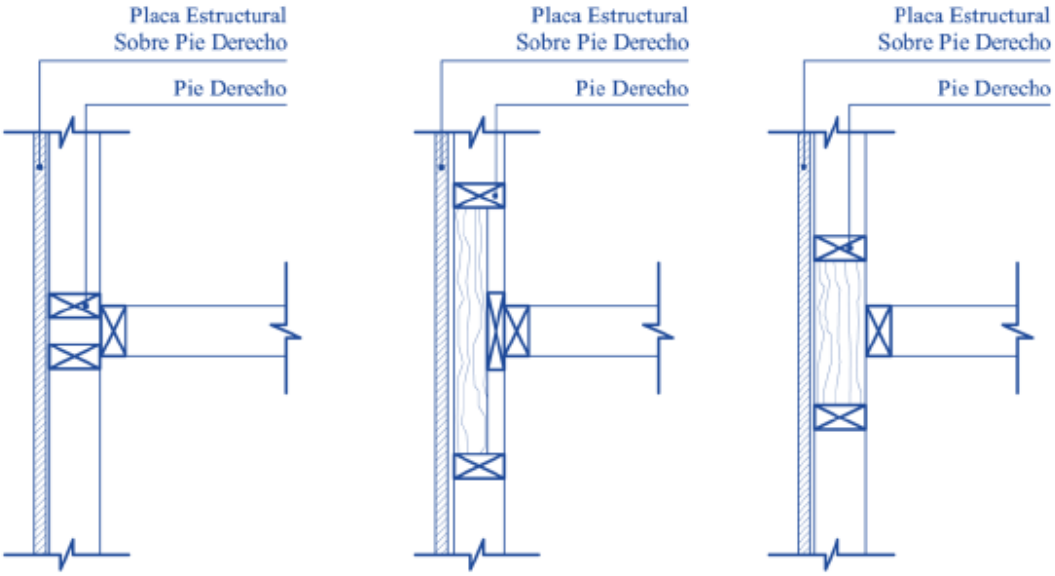


Imagen 35. Disposición de pies derechos en uniones entre muros. Fuente: Guía Práctica para la Construcción de Viviendas con el Sistema Plataforma. (González y otros, 2011)

Los distintos vanos que pueda tener un muro deben adaptarse a la modulación de los pies derechos, tomando en cuenta que aberturas mayores a 80cm requieren refuerzos mediante puntales, dinteles macizos, jambas y muchachos, como se mostró en la imagen 31 referente a los componentes de un muro en entramado ligero.

Construcción en mediana altura con entramado ligero

La construcción con madera exige un alto grado de detalle en el diseño y la construcción, enfocar la industria de la madera con el sistema plataforma es necesario para concretar diseños en mediana altura.

Como se ha descrito anteriormente, un edificio construido en sistema plataforma está conformado por una gran cantidad de elementos pequeños de madera, los que requieren de una especificación elevada para lograr una correcta solución constructiva evitando múltiples errores en obra, como se puede ver en la imagen 36. (González I. , 2021)

El uso del entramado ligero en altura en edificios de mediana escala requiere una planificación compleja del detalle de cada ensamble a utilizar, de ahí surgen los procesos de prefabricación que se llevan a cabo en talleres con ambientes más controlados que facilitan el montaje de los componentes que luego se llevaran a ensamblar en el sitio.

La imagen 36 ejemplifica inconvenientes que se pueden dar por un mal diseño, es importante tener claro que la integridad global del sistema estructural implica la integridad de cada elemento que lo compone, así que los elementos de madera no pueden ser perforados por instalaciones ni deben improvisarse uniones en sitio.

Imagen 36. Errores en obra. Fuente: (González I., 2021)

El uso masivo de la madera precisa mejorar la industria como tal, y de ello se desprenden los siguientes aspectos:

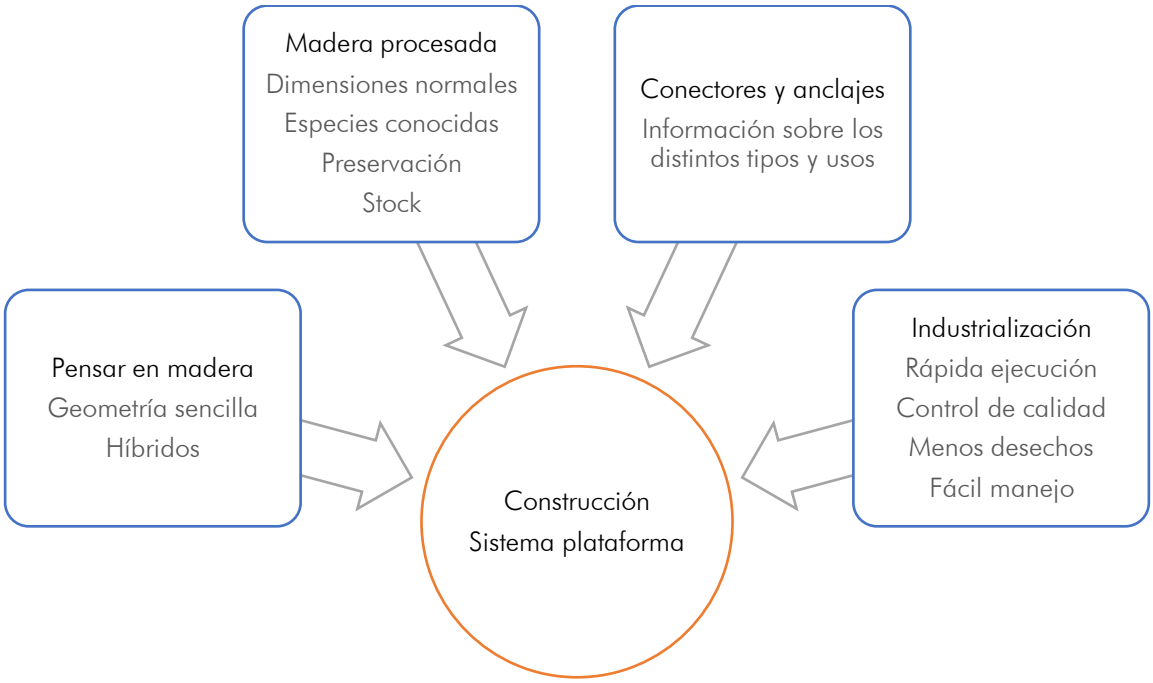


Imagen 37. Criterios importantes en el sistema plataforma. Fuente: (Gonzalez I., 2021)

Cada sistema constructivo tiene sus limitantes, y en el caso del sistema plataforma la geometría y composición de la propuesta es muy relevante. Configuraciones complejas en L o diseños en planta curvos no son óptimos para este tipo de construcción. La regularidad y las distribuciones ortogonales son propicias porque funcionan de manera congruente con el planteamiento estructural. El entramado ligero puede presentar ventajas en algunos aspectos, pero esto no se debe perder complejizando la forma del edificio.

Por otro lado, esa misma regularización del diseño es compatible con la industrialización de una obra constructiva. La construcción de un edificio en mediana altura con entramado ligero solo es posible si se consideran criterios de prefabricación y montaje, ya que los beneficios son amplios, las obras se ejecutan de mejor forma desde factores de seguridad para los trabajadores hasta mejores resultados en estándares térmicos y comportamiento ante el fuego.

Ahora bien, el diseño en mediana altura conlleva una complejidad estructural mucho mayor que se ve enfocada en los muros estructurales y los conectores utilizados. Para diseñar un muro estructural en entramado ligero existen varios métodos que derivan en tres tipos de muros, en la siguiente imagen se detalla cada uno:

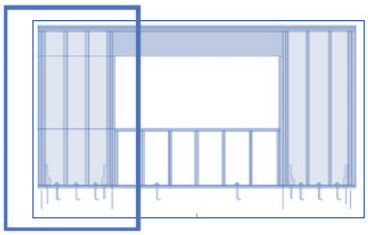
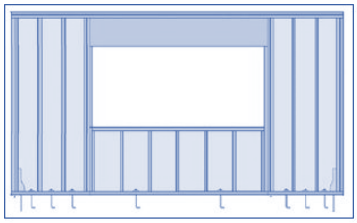
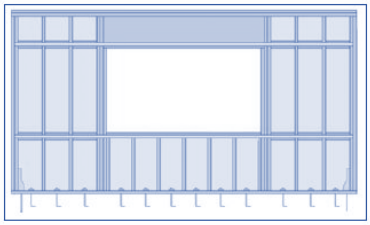
Tipo Segmentado	Tipo Perforado	Tipo Transferencia de Fuerza
		
No se consideran secciones de muro que estén por encima o debajo de vanos.	Se considera como un muro individual pero con una capacidad de corte menor Se aplica un factor de ajuste por el vano que tenga el muro.	Son segmentos de muros en toda la altura del piso a cada extremo de los muros Se utilizan placas metálicas para transferir el esfuerzo de tracción producido por la transferencia de cargas.

Imagen 38. Tipos de muros estructurales en entramado ligero. Fuente: (González I., 2021)

Para esta investigación se realizó un diseño utilizando muros estructurales de tipo segmentado por su facilidad de cálculo con el software C+T para su verificación estructural. En la imagen 39, se muestra un muro de corte segmentado en entramado ligero.

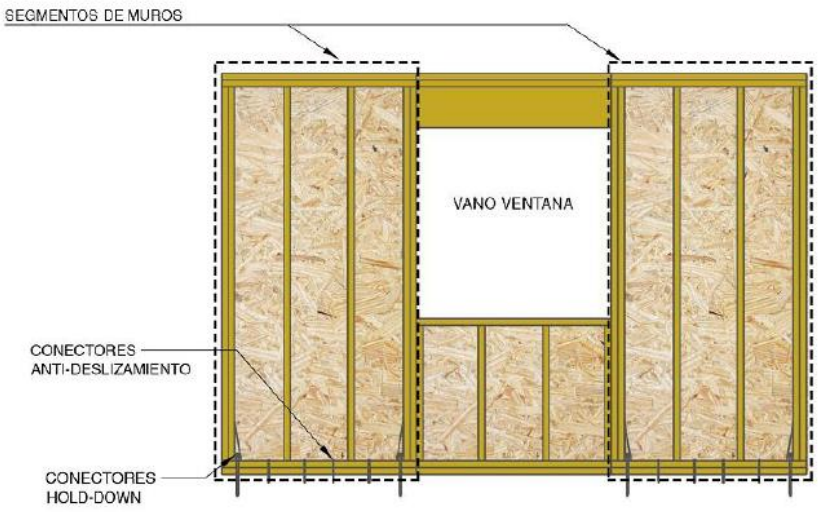


Imagen 39. Ilustración de muro de corte segmentado. Fuente: (González I., 2021)

Se puede observar que las porciones de muro que se encuentran por debajo o encima de un vano no se toman en cuenta, asimismo se requieren elementos extra como conectores holdown y antideslizamiento en la base del muro. Estos conectores y anclajes son necesarios porque el muro funciona como una viga en voladizo (imagen 40).

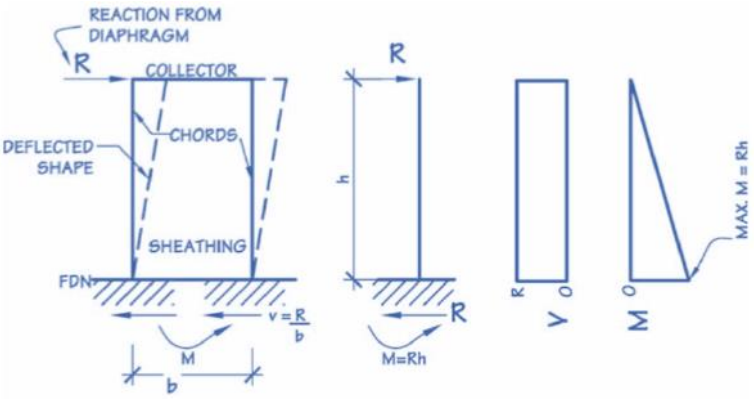


Imagen 40. Esfuerzos en un muro de entramado ligero. Fuente: (González I.,2021)

En resumen, los componentes que conforman un muro de corte en entramado ligero son: los pies derechos de borde, los pies derechos intermedios, soleras, placa arriostrante, clavos y anclajes holdown y antideslizamiento.

Por otro lado, el funcionamiento de un muro estructural está ligado a la relación de aspecto que tenga, dónde el alto no puede ser el doble del ancho, ya que la rigidez del muro no sería proporcional a la longitud y presentaría deformaciones de flexión y corte.

Consideraciones sísmicas

Este aspecto se ha venido explicando en los párrafos anteriores, por lo que aquí se va a tratar de una manera sintética.

Sabemos que un edificio en entramado ligero se compone de una gran cantidad de elementos pequeños que trabajan de forma conjunta para darle rigidez al edificio, de manera que se logra una estructura espacial que resiste cargas verticales y horizontales.

En el sistema plataforma se contemplan 2 tipos de ensambles: los horizontales correspondientes a los entrepisos que como un diafragma semirrígido van a transportar las cargas verticales hacia los muros, que son los ensambles verticales, estos últimos resisten las cargas de viento y sismo como una viga en voladizo.

A diferencia de un muro de corte en concreto, uno en entramado ligero sí llega a tener deformaciones, lo cual no es precisamente desfavorable; no obstante, esta deformación lateral debe estar calculada según la norma correspondiente. Para este proyecto la verificación estructural se realizará con el software C+T, el cual utiliza de base la normativa de Chile.

En la imagen 41, se presenta una serie de medidas o pautas a seguir para favorecer un correcto comportamiento sísmico:

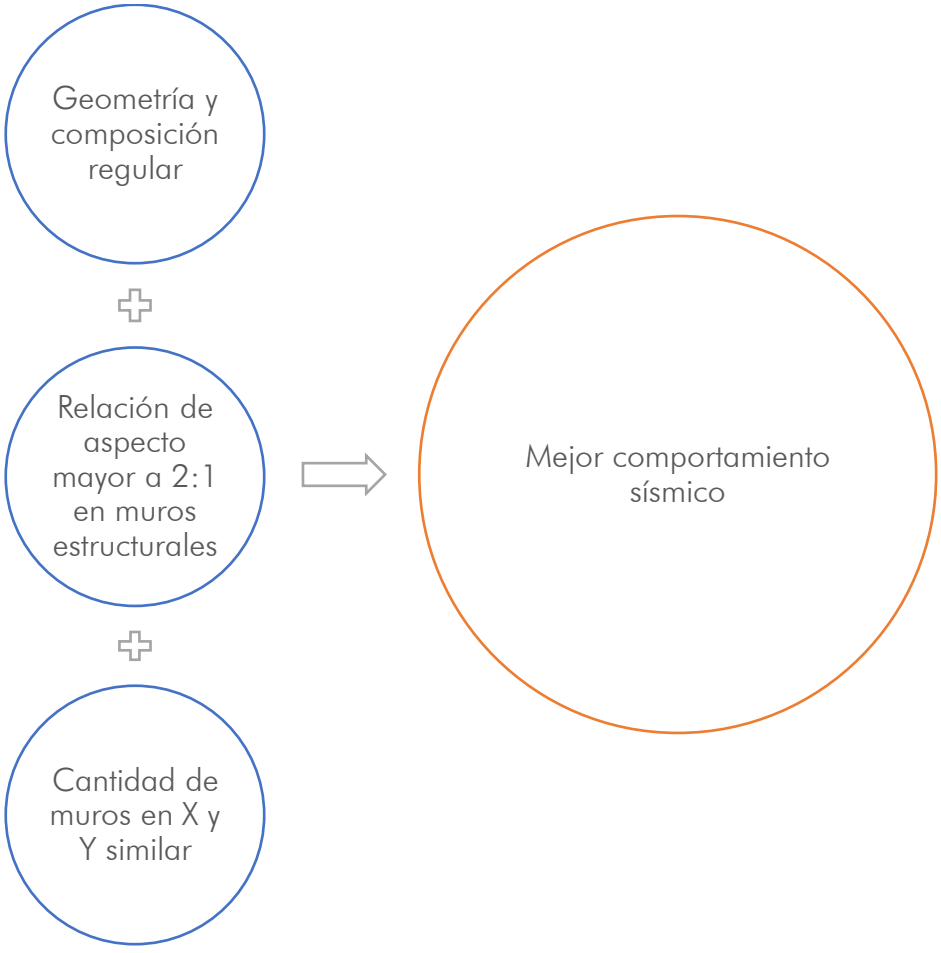


Imagen 41. Criterios sísmicos en sistema plataforma. Fuente: (González I., 2021)

Consideraciones contra incendio

Al plantear el diseño de un edificio en altura se debe estrategizar el diseño para un eventual incendio, por lo cual, los siguientes aspectos de la imagen 42 son de vital relevancia:

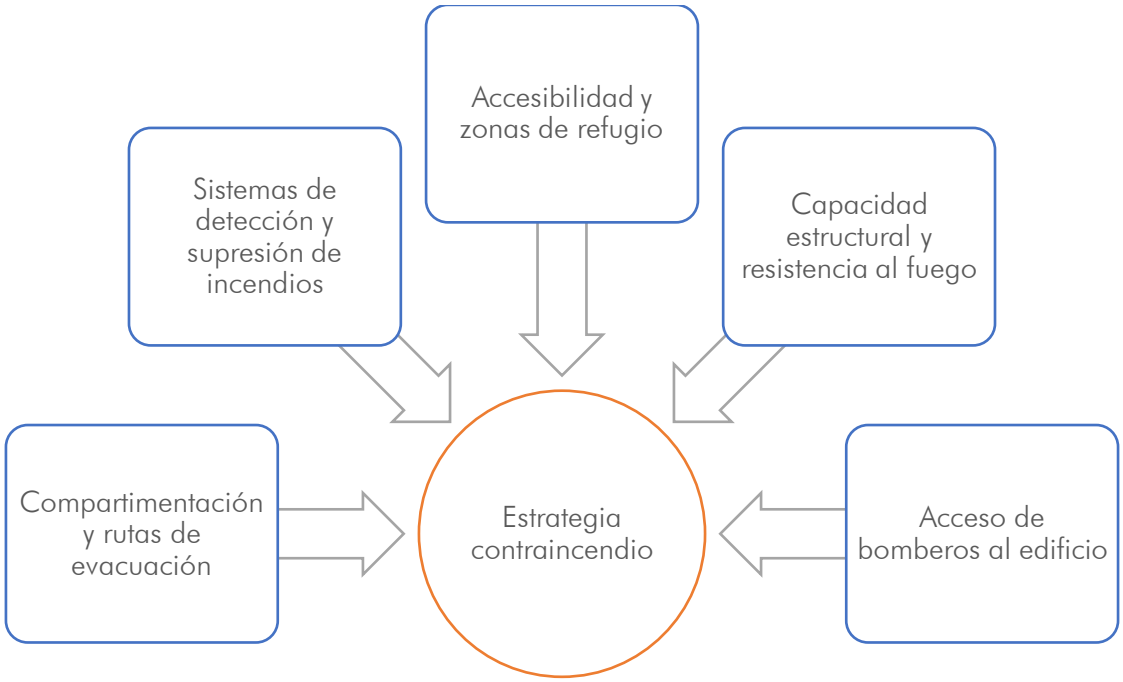


Imagen 42. Criterios contra incendio en sistema plataforma. Fuente (Gonález I., 2021)

De los componentes anteriores de la estrategia, ¿Dónde juega un rol la madera?, la protección estructural y la propagación exterior e interior son aspectos que requieren atención.

La propagación del incendio desde el interior de los recintos debe combatirse desde la compartimentación, para que el incendio se desarrolle y apague en el mismo lugar; asimismo debe darse el control del contenido mediante el uso de revestimientos incombustibles. Por otro lado, desde el exterior de un edificio también se puede propagar el incendio, desde las ventanas en fachada se pueden dar "saltos de rana" y el incendio puede pasar de un nivel a otro; esto se resuelve limitando la combustibilidad de los componentes en fachada y también disponiendo de elementos horizontales por cada nivel que bloqueen el paso de las llamas (Rey, 2021).

Al hablar de resistencia al fuego de una pared debe entenderse como su capacidad para soportar la exposición a un incendio durante un tiempo determinado bajo los siguientes criterios: capacidad de carga, estanqueidad de las llamas, aislamiento térmico y no emisión de gases inflamables; estos criterios responden a una función estructural y una función divisoria. (Rey, 2021)

En el caso del entramado ligero los elementos suelen ser de madera aserrada y de secciones pequeñas, estos elementos por si solos tienen una ineficiente resistencia al fuego. Lo común

es que se proporcione esta resistencia mediante paneles de yeso cartón, OSB y aislante que también aporta protección a la madera; así se logra que un ensamble de madera aserrada cumpla con su función estructural y divisoria frente a un incendio. A esto se le debe añadir que no solo la madera debe ser protegida, sino también las conexiones para evitar fallas en estos elementos. (Rey, 2021)

Consideraciones acústicas

En los edificios de madera el confort acústico suele ser uno de los puntos de mejora, la sensación de temblor y vibración debe reducirse. El ruido se propaga de manera directa a través del aire, pero cuando hay elementos intermedios, como un muro o entrepiso, la propagación es estructural ya sea por excitación aérea como algún sonido emitido o mecánica como un golpe en el elemento divisorio. (Morandi, 2021)

En comparación con el concreto la madera tiene una densidad más baja, y de acuerdo con la Ley de Masa en acústica, en cuanto mayor masa tiene un elemento mejor es su capacidad de aislamiento. En principio el ruido se va a transmitir por las aberturas, a través de los elementos divisorios por transmisión directa y por transmisión de flanqueo, que depende de cómo estén unidos los elementos del edificio (imagen 24).

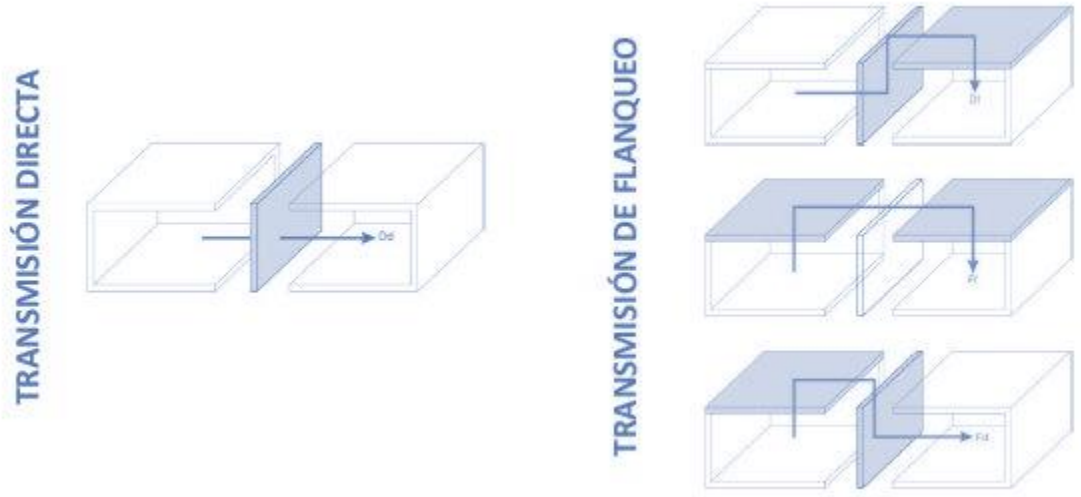


Imagen 43. Transmisión del ruido en edificios. Fuente: (Morandi,2021)

En entramado ligero la Ley de Masa no destaca por ser la principal estrategia de aislación, sino que se complementa con otras medidas, las paredes suelen contener distintos elementos, por lo que se evalúan las capas presentes, el ancho de las cavidades y la presencia de materiales aislantes en estas cavidades.

En la transmisión por flanqueo una de las soluciones más comunes es el desacoplamiento de los elementos, asimismo la utilización de capas intermedias elásticas permite reducir la transmisión por flanqueo.

En el diseño acústico se presentan los siguientes principios: desacoplamiento, amortiguación, resiliencia, control de cruces y la transmisión de flanqueo. (Morandi, 2021)

Consideraciones higrotérmicas

El comportamiento higrotérmico de un edificio tiene que ver con los distintos fenómenos termodinámicos que se dan y que afectan el confort interno de la edificación, en este sentido las envolventes de la propuesta cobran vital relevancia. Algunos de los principales aspectos que influyen en este comportamiento son los siguientes: (Ramírez, 2021)

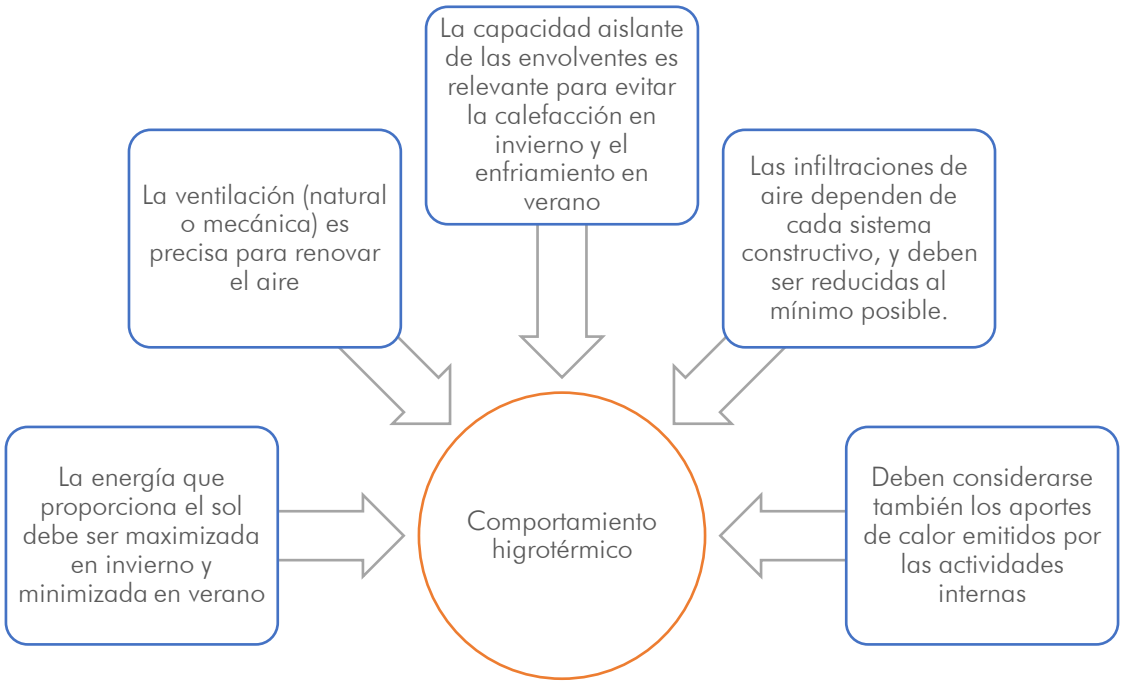


Imagen 44. Criterios de comportamiento higrotérmico en sistema plataforma. (Ramírez, 2021)

En función de lo anterior, cada elemento de la envolvente de un edificio tendrá requerimientos distintos.

Las cubiertas son una de las partes del edificio por donde más calor gana un espacio, y su capacidad aislante es relevante para el confort térmico. El uso de aislantes como lana de roca o fibra de vidrio es común y el grosor de esta capa se adecua según el clima; por otro lado, también deben considerarse las cámaras de aire ventiladas como un método aislante. (Ramírez, 2021)

Los muros de la edificación son otro aspecto para revisar, por lo general el ensamble contiene los mismos elementos, pero varía el grosor según sea necesaria la capacidad aislante (Ramírez, 2021), en la siguiente imagen se muestra un ensamble común de división interior exterior:

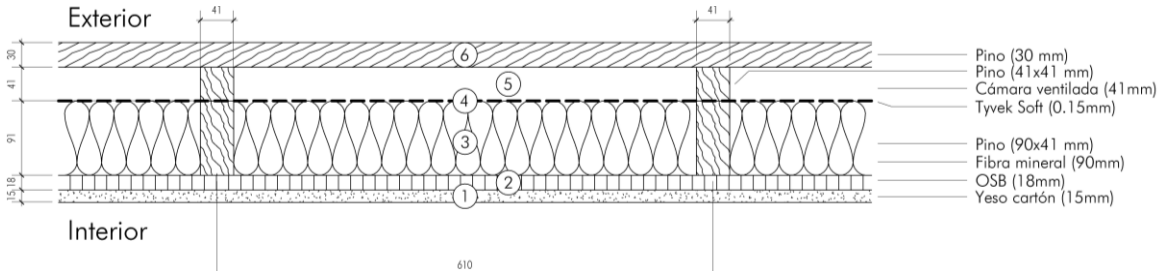


Imagen 45. Elementos en un ensamble común de división interior-exterior. Fuente: (Zilic, 2021)

Como se observa en la imagen 45, los componentes 5 y 6 corresponden a un sistema de fachada ventilada que evita el sobrecalentamiento, en el número 4 se ubica una barrera de humedad, el 3 corresponde al uso de material aislante, en el 2 hay una placa arriostrante de OSB que también puede funcionar como barrera de vapor para evitar condensaciones en el interior del muro y en el 1 se presenta una terminación de yeso cartón. (Zilic, 2021)

En el caso de puertas y ventanas este tipo de elementos comúnmente se fabrican por aparte en talleres, así lo importante radica en disponer correctamente de los vanos para su instalación, manteniendo la continuidad de los sellos y el aislamiento. Según sea necesario de acuerdo con el clima, la puerta o la ventana debe cumplir con una baja transmitancia térmica del panel y de los marcos, además de conseguir una estanqueidad efectiva mediante los sellos de uno u más contactos. (Ramírez, 2021)

Si bien las aseveraciones anteriores son importantes, deben tomarse en cuenta con ciertos matices, ya que el comportamiento higrotérmico se manifiesta en función del clima local. Para el caso de Costa Rica, aunque se tienen muchas variaciones climáticas a lo largo del territorio, principalmente existen dos épocas bien marcadas, una seca y otra lluviosa; y como se va a exponer más adelante, el distrito de Hatillo presenta condiciones bastante benevolentes que se alejan del calor o frío extremos.

Soluciones constructivas

Actualmente el uso de este sistema constructivo se encuentra en desarrollo e investigación, su uso es promovido por distintas universidades y laboratorios que ponen a disposición de los profesionales distintos detalles constructivos que han sido ensayados y validados de acuerdo con requerimientos cortafuego, condicionantes térmicas y acústicas, así como soluciones constructivas de muros estructurales perimetrales y divisorios. En la imagen 46 se observa uno de los catálogos de consulta en línea realizado por el programa Palomadera de la Universidad de Concepción en Chile.

Imagen 46. Catálogo en línea de detalles constructivos. Fuente: catalogomadera.cl

Estos recursos son importantes para la investigación porque permiten realizar diseños homologados para obtener soluciones constructivas preliminares con criterio técnico.

Diseño para la industrialización

La construcción con entramado ligero tiene grandes beneficios, pero se requiere un diseño que vaya de la mano con la materialidad, estructura y los procesos constructivos. Zilic (2021) indica que el diseño debe partir de un concepto de diseño ligado a la realidad constructiva, y por consiguiente a los distintos requerimientos de detalle y despiece para facilitar la manufactura y montaje. (imagen 47)

Imagen 47. Proceso de diseño con entramado ligero. Fuente: Zilic (2021)

Aunado a lo anterior, de manera integral el diseño debe contemplar diversas variables, para lo cual se plantean los siguientes criterios de la imagen 48:

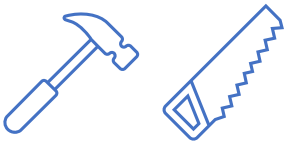
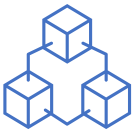
Resistencia estructural		Cargas Sismo Viento
Protección de agentes destructores		Fuego Hongos Insecto
Habitabilidad		Acústica Vibraciones Confort térmico
Control higrotérmico		Aislación térmica Control de difusión Hermeticidad
Industrialización		Estandarización Montaje
Inspeccionable		Manejo de instalaciones
Reparable		Terminaciones modificables sin comprometer la estructura
Redundancia		La repetición de elementos permite su fácil producción

Imagen 48. Criterios de construcción sostenible. Fuente: Zilic (2021)

Estudio de caso

Torre Experimental Peñuelas

Este proyecto nace como una iniciativa académica del Centro UC de Innovación en Madera de la Pontificia Universidad Católica de Chile, el Ministerio de Vivienda y Urbanismo de Chile y la Universidad del Bío Bío. Esta es una de las construcciones en madera más altas de

Latinoamérica y tiene como uno de sus objetivos el estudio del sistema plataforma desde el comportamiento de sus envolventes en edificios de mediana altura. (imagen 49)

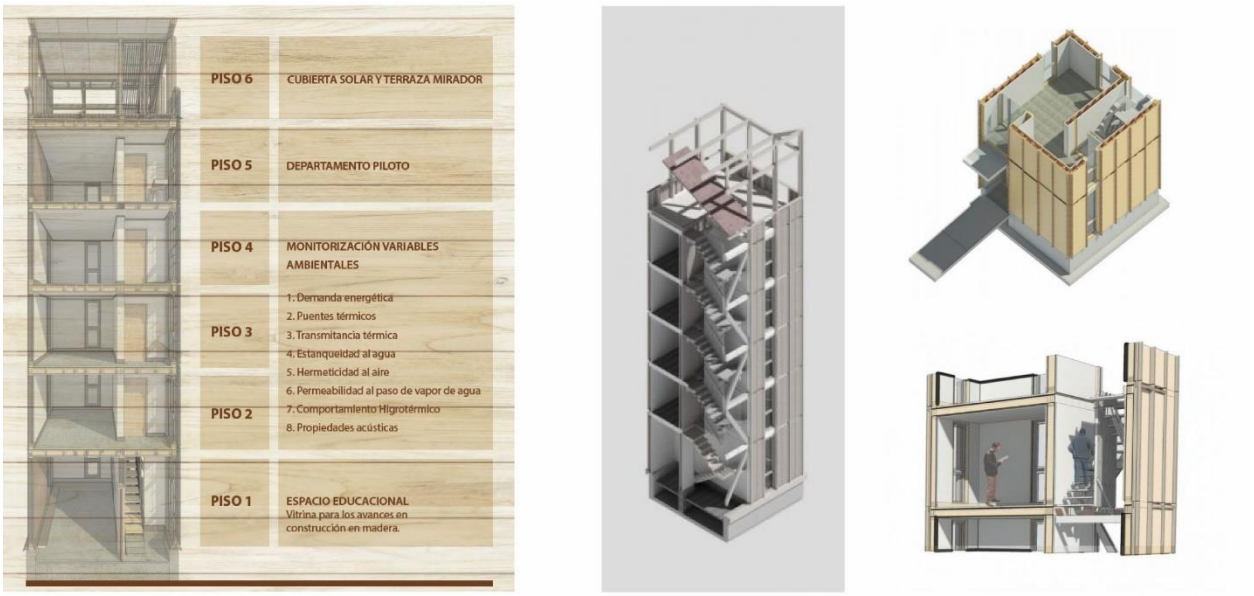


Imagen 49. Torre Experimental Peñuelas, construcción en sistema plataforma. Fuente: (madera.uc.cl, 2019).

Esta torre plantea la investigación desde distintos ámbitos claves para concretar un edificio en madera utilizando el sistema plataforma, estos aspectos son relevante:

Costos	Protección al calor	Sensación de bienestar	Resistencia sísmica	Percepción usuarios
Desde el aspecto constructivo se evaluó todo el proceso vinculado a un ahorro de tiempo derivado de la prefabricación, transporte y montaje	Las envolventes del edificio incluyen una cámara ventilada que ayuda a mejorar el confort térmico.	Se evalúan distintos aspectos del confort ambiental: propiedades acústicas, demanda energética, hermeticidad del aire, confort higrotérmico, puentes térmicos.	Así como Costa Rica, Chile es un país con actividad sísmica para lo cual se utilizan instrumentos para evaluar el comportamiento ante un eventual sismo.	Finalmente se investiga la percepción de posibles usuarios de estas viviendas por medio de la entrega de información clave de este sistema constructivo.

Imagen 50. Ámbitos clave en el diseño de la Torre Experimental Peñuelas. Fuente: (madera.uc.cl,2019)

El proceso constructivo de esta torre es de vital importancia para la factibilidad de los proyectos. En primera instancia el dimensionamiento de los distintos componentes es preciso para iniciar el proceso de prefabricación, porque una vez se tengan normalizadas las dimensiones de las piezas se puede proceder con el panelizado de muros y losas más la instalación de las placas arriostrantes, como se observa en la siguiente imagen:

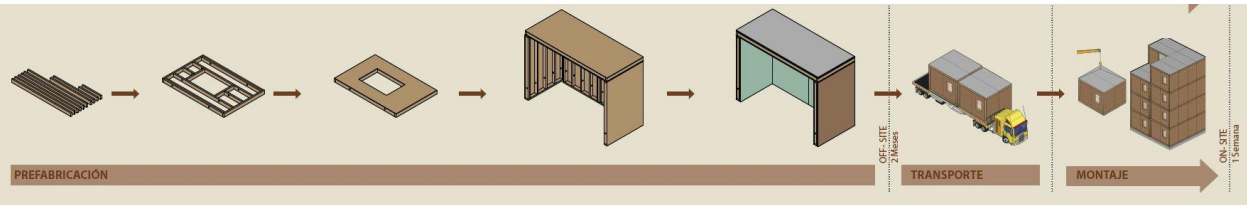


Imagen 51. Torre Experimental Peñuelas. Proceso de prefabricación y montaje. Fuente: (madera.uc.cl,2019)

De acuerdo con el diseño arquitectónico se precede a hacer el armado estructural de los módulos, ya sean de varios paneles unidos o uno solo, a los que posteriormente se les agregarán los distintos revestimientos y la instalación de los sistemas. Todo lo anterior se realiza fuera del sitio, posteriormente se procede con el transporte de los módulos para iniciar con el montaje en el sitio.

La durabilidad de la madera depende en gran parte del diseño y de los distintos tratamientos que se le aplican para aumentar la resistencia a los agentes que la puedan afectar, algunos tratamientos son los siguientes:

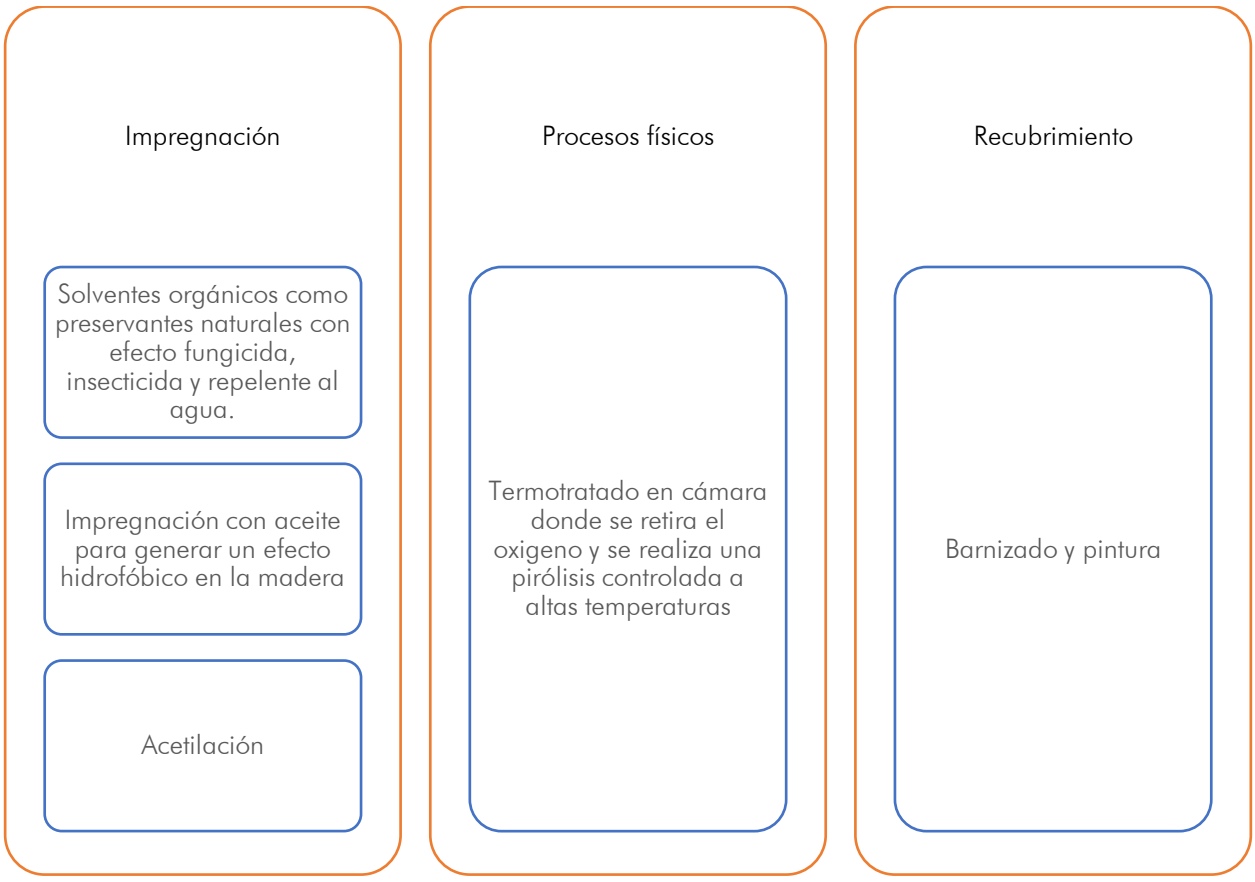


Imagen 52. Tratamientos para mejorar la durabilidad de la madera. Fuente: (madera.uc cl,2019)

Cualquier edificio debe cumplir con normativas de seguridad contra incendios. En este caso la protección pasiva se basa en elementos constructivos que aíslan la estructura del fuego por

cierto tiempo. En el caso de la Torre se clasifica como un edificio Tipo B, lo que conlleva que debe cumplir con resistencia al fuego para elementos soportantes verticales de 90 min, para muros no soportantes de 15 min y elementos soportantes horizontales de 60 min. En la Torre se utilizan algunas soluciones como se muestra a continuación:

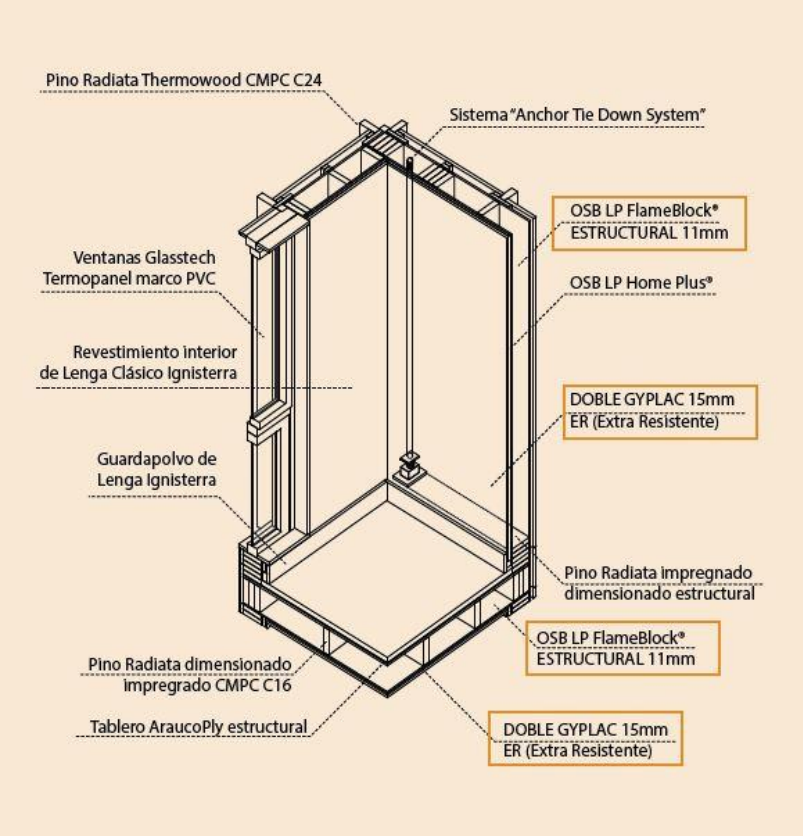


Imagen 53. Torre Experimental Peñuelas. Elementos constructivos. Fuente: (madera.uc.cl, 2019)

El uso de placas de yeso cartón es una solución comúnmente utilizada para proteger los elementos estructurales principales, como los montantes dentro de los muros y las vigas de los entrepisos.

Otro factor importante para evaluar es la resistencia a los sismos. En este sentido las medidas de precaución para un correcto diseño se toman desde la correcta clasificación estructural de cada pieza. Los muros estructurales que van a resistir el eventual volcamiento del edificio contienen los siguientes aspectos a considerar:

- Grado estructural de la madera.
- Dimensiones y espaciamiento de pies derechos y vigas.
- Soleras.
- Cantidad, espesor y patrón de clavado OSB.
- Tipos de conectores.

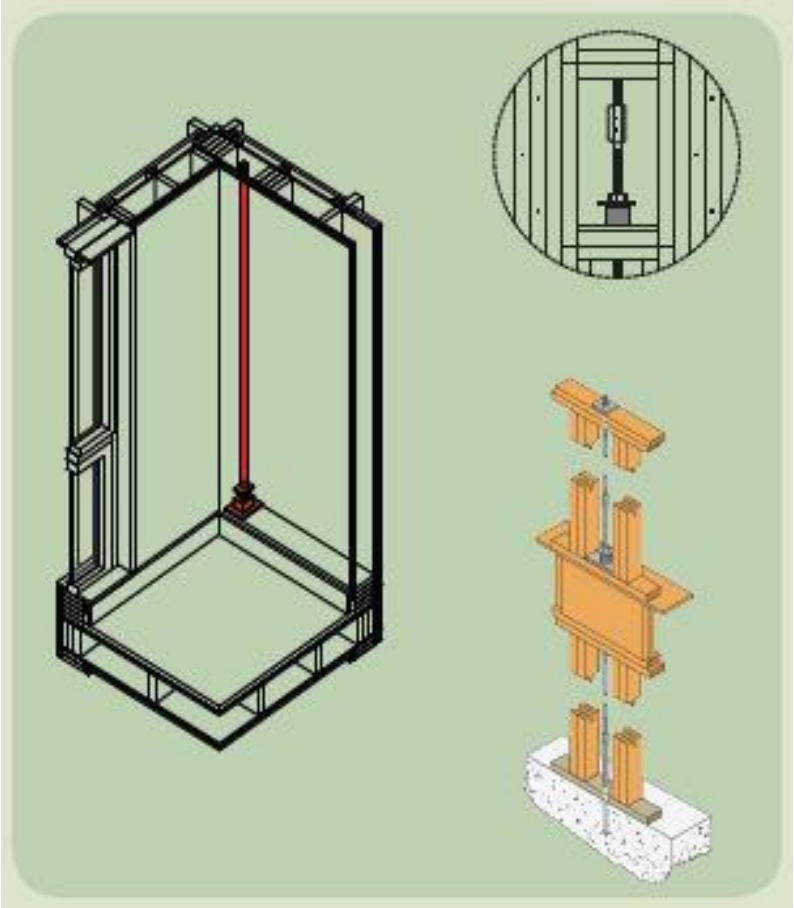


Imagen 54. Torre Experimental Peñuelas. Sistema ATS. Fuente: (madera.uc.cl,2019)

Cabe destacar que en el caso de esta torre se utiliza un sistema de anclaje ATS para evitar el volcamiento, el cual se compone de una barra roscada colocada en el interior de los muros estructurales por toda su altura, actuando como elementos que trabajan a tracción y resisten el volcamiento de edificio. (Imagen 54)

Por otro lado, en este tipo de edificios se aplican distintas estrategias pasivas para mejorar el comportamiento energético del proyecto. En el caso de la Torre Experimental Peñuelas se utilizan ventanas con doble cristal y una cámara de aire para una mejor aislación térmica y acústica, además, la Torre utiliza lana de vidrio en muros y losas como aislante, que sumado a la protección solar con celosías en las aperturas se logra mantener el confort higrotérmico interior.

La energía solar también es aprovechada por medio de paneles fotovoltaicos bifaciales, los cuales son más eficientes porque utilizan ambas caras.

Aspecto legal

El proyecto de diseño contempla principalmente normativa ligada al uso residencial, específicamente el condominio vertical, por lo cual se utilizan de base los siguientes reglamentos:

Imagen 55. Principales reglamentos para el proyecto. Fuente: elaboración propia.

Accesibilidad

El desarrollo del proyecto contiene distintos componentes como comercio, espacio público y vivienda. Para garantizar la accesibilidad universal el diseño se adaptará a las diferentes necesidades de los usuarios, mediante el planteamiento de sendas y comercios accesibles además de tipologías adaptadas según la Ley de Igualdad de Oportunidades para Personas con Discapacidad (Ley 7600).

Vivienda asequible

El planteamiento de este proyecto implica una solución de vivienda para personas de recursos medios y bajos, por esto se toma como guía la Directriz 27 denominada Especificaciones Técnicas y Lineamientos para la Escogencia de Tipologías Arquitectónicas para la Construcción de Vivienda y obras de urbanización, financiadas mediante la aplicación del Sistema Financiero Nacional para la Vivienda.

Planteamiento estructural

La propuesta de diseño que se realizará será de acuerdo con el sistema estructural de entramado ligero tipo plataforma, con el cual se utilizan diferentes elementos de madera aserrada. Actualmente la legislación de estructuras en madera para Costa Rica no está muy desarrollada, sin embargo, con el software C+T, de la empresa Eligemadera, se validarán los principales elementos estructurales del edificio; metodológicamente se utiliza este software por

su facilidad de uso y la posibilidad que presenta para verificar los elementos según una normativa, en este caso la chilena.

Marco metodológico

Enfoque y alcance

Este proyecto tiene distintos componentes, tanto de diseño arquitectónico como de cálculo estructural, por lo cual se trabajará bajo un enfoque mixto (imagen 56). Se definirá el diseño de un edificio tipo que utiliza un sistema constructivo de entramado ligero en madera, pero además se realizará el abordaje del emplazamiento dentro del terreno de manera integral.

Desde el enfoque cualitativo se trabajará el estudio de la zona en cuestión, como el terreno y el contexto circundante; así como las necesidades y características de los posibles usuarios con el fin de determinar pautas de diseño arquitectónico desde el abordaje del sitio y los usuarios.

Por otro lado, el componente cuantitativo se relaciona con la verificación estructural de los principales elementos estructurales, como muros estructurales, vigas, viguetas y columnas de madera. Esta verificación se hará con el software C+T, con el cual se obtendrán las dimensiones y demás características necesarias para los elementos estructurales.

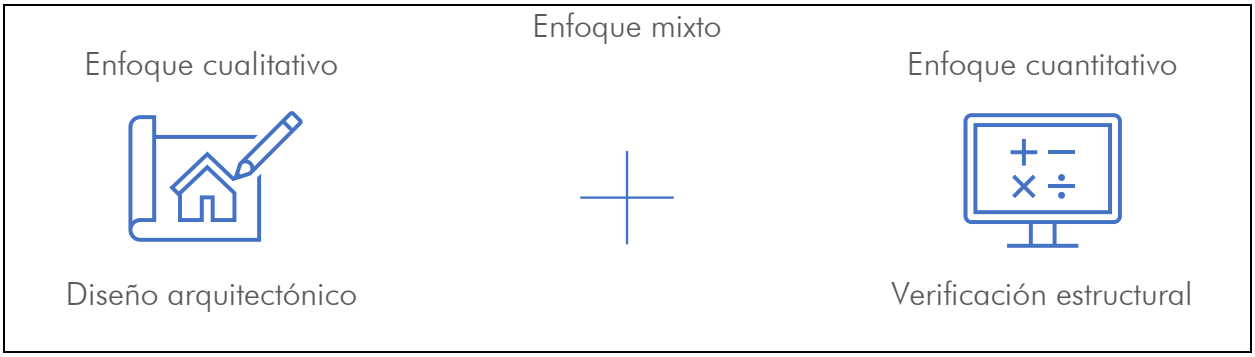


Imagen 56. Enfoques de la investigación. Fuente: elaboración propia.

Según Hernández y otros (2014), el alcance de la investigación es explicativo, ya que se van a explicar las determinantes de diseño según el sitio definido considerando la dinámica urbana y las necesidades de los usuarios objetivo, para luego plantear una propuesta de diseño de acuerdo con los requisitos planteados.

Diseño de estudio

Por parte del enfoque cuantitativo se realizará un diseño experimental, ya que se hará un estudio donde se emplean intencionalmente una o más variables para evaluar las consecuencias de dicha experimentación (Hernández y otros, 2014). En este caso se refiere al diseño de los elementos estructurales, donde las variables responden a distintas características a definir para lograr un buen comportamiento estructural. En la siguiente imagen se describen los tipos de variables:

Diseño experimental		
Variables independientes	Variables dependientes	Variables de control
Peralte de vigas. Largo de columnas. Alto y largo de muros de corte.	Ancho de vigas. Sección de columnas. Disposición y dimensionamiento de los elementos constituyentes de un muro de corte.	Cargas gravitacionales, sísmicas y de viento según requerimientos normativos y el diseño arquitectónico

Imagen 57. Variables del diseño experimental. Fuente: elaboración propia.

Asimismo, desde el enfoque cualitativo se utiliza un diseño etnográfico que proporciona características y estructura de un sistema social (Hernández y otros, 2014), en este caso la población de estudio.

Esquema metodológico

A continuación, en la imagen 59 se muestra un cuadro de concordancia que reúne la estrategia para lograr cada objetivo de la investigación.

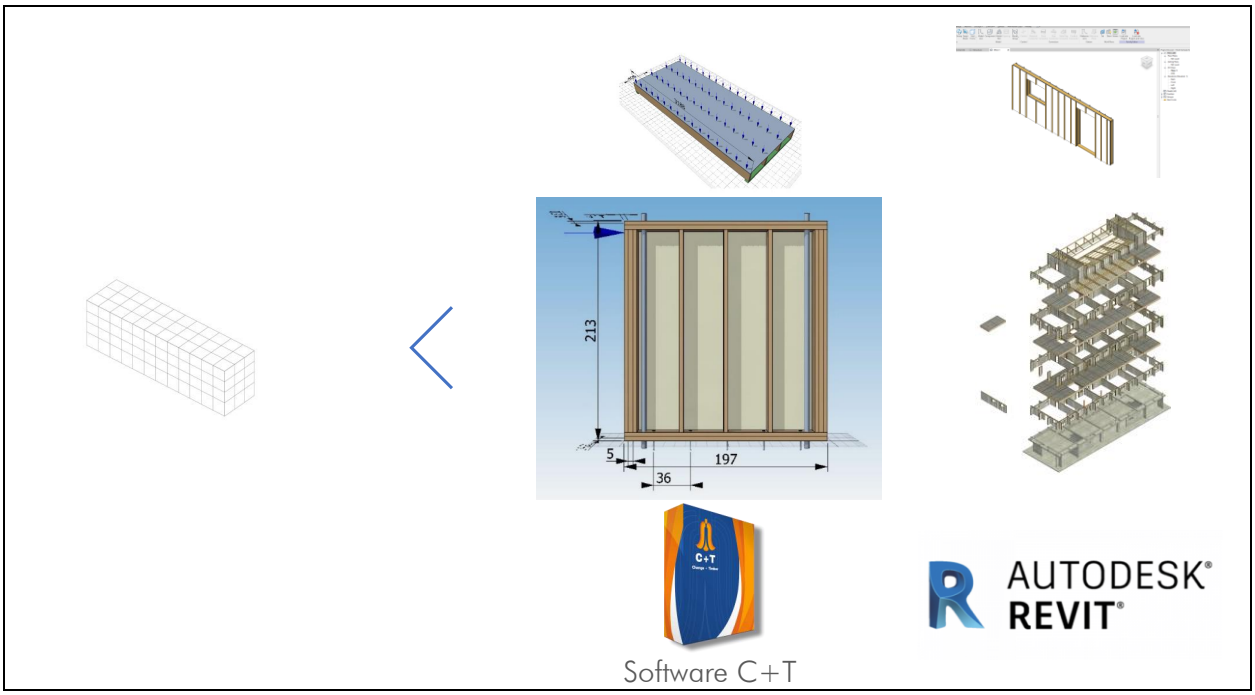


Imagen 58. Herramientas utilizadas en el diseño. Fuente: elaboración propia.

<table>
<tr><th>Objetivo general</th><th colspan="3">Objetivos específicos</th></tr>
<tr><td rowspan="11">Diseñar una propuesta de anteproyecto arquitectónico de uso mixto y de edificio tipo en Hatillo 2, San José, Costa Rica, con enfoque en vivienda colectiva en altura que utilice un sistema constructivo en entramado ligero de madera.</td><td colspan="3">1 – Identificar las características de los distintos perfiles de usuario para la obtención de pautas de diseño arquitectónico.</td></tr>
<tr><td>Estrategia</td><td>Instrumento</td><td>Producto</td></tr>
<tr><td>Análisis y graficación de la información para obtener conclusiones útiles a la investigación</td><td>Revisión de datos secundarios y bibliografía pertinente</td><td>Perfil de los usuarios
Programa arquitectónico
Tipologías residenciales</td></tr>
<tr><td colspan="3">2 – Analizar las características físico-ambientales del terreno en estudio para el planteamiento de lineamientos espaciales, funcionales y constructivos en la propuesta arquitectónica.</td></tr>
<tr><td>Estrategia</td><td>Instrumento</td><td>Producto</td></tr>
<tr><td>Análisis de sitio</td><td>Revisión de datos secundarios
Levantamiento fotográfico
Visitas de sitio, observación, anotaciones y bitácora de campo.</td><td>Definición de un programa urbano
Síntesis de pautas de diseño</td></tr>
<tr><td colspan="3">3 – Definir el anteproyecto arquitectónico de uso mixto y de edificio tipo con enfoque en vivienda colectiva en altura por medio del proceso proyectual.</td></tr>
<tr><td>Estrategia</td><td>Instrumento</td><td>Producto</td></tr>
<tr><td>Proceso proyectual</td><td>Zonificación y exploración volumétrica
Modelado 3D
Utilización del software C+T para la verificación estructural</td><td>Planimetría y esquemas 3D de la propuesta más imágenes renderizadas representativas</td></tr>
</table>

Imagen 59. Cuadro de concordancia de estrategia para la investigación. Fuente: elaboración propia.

El diseño en este proyecto se enriquece con el uso de herramientas digitales como el software C+T para el predimensionamiento de los elementos estructurales en madera y el uso del software de Autodesk Revit para la configuración de familias de acuerdo con el diseño de cada panel que conforma el edificio. (imagen 58)

Capítulo 2: Usuario

En este capítulo se define el perfil de usuario para el proyecto con la finalidad de concretar el programa arquitectónico. Se parte de la población actual y se analiza la composición demográfica del contexto.

Usuarios: nuevos y existentes

Modelo de Vivienda Urbana Inclusiva y Sostenible

La presente propuesta es afín a la estrategia impulsada por el MIVAH denominada Vivienda Urbana Inclusiva y Sostenible (VUIS), la cual contiene una oferta diversa y realista de la población objetivo para los nuevos proyectos de vivienda urbana. Por lo anterior se toma como punto de partida las siguientes categorías establecidas en la estrategia VUIS (imagen 60):

Persona sola	Familias	Familias ampliadas
Pueden ser adultos y jóvenes estudiantes	Pueden ser parejas sin hijos o familias mono-biparentales con 1-2 hijos	Pueden ser familias mono-biparentales con 1-2 hijos más un miembro adulto mayor o con discapacidad

Imagen 60. Perfiles de población objetivo, modelo VUIS. Fuente: (MIVAH, 2020)

Los perfiles anteriores responden a poblaciones de mayor vulnerabilidad y de aquellas que enfrentan una oferta de vivienda limitada. Además, esta modalidad de vivienda busca hacer un uso eficiente del suelo, por lo cual las edificaciones son de vivienda multifamiliar de varios niveles y presentan las siguientes características en la imagen 61 (MIVAH,2020):

Imagen 61. Características de un edificio VUIS. Fuente: (MIVAH, 2020)

Asimismo, el MIVAH indica el siguiente programa arquitectónico como base para cada perfil de usuario:

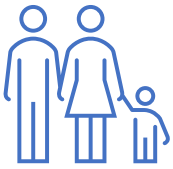
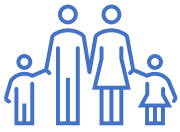
Perfil de habitantes		Programa arquitectónico	Área mínima de la vivienda m2
Persona sola	Persona sola joven o adulta	1 habitación 1 baño Cocina Sala Comedor	36
	Persona sola adulta mayor	2 habitación 1 baño Cocina Sala Comedor	42
	Persona sola con discapacidad	2 habitación 1 baño Cocina Sala Comedor	42
Familia 	Pareja sin hijos Familia mono-biparental con 1-2 hijos	2 habitación 1 baño Cocina Sala Comedor	42
Familia ampliada 	Pareja sin hijos o familia mono-biparental con 1-2 hijos, con miembro con discapacidad	3 habitación 1 baño Cocina Sala Comedor	50
	Familia mono-biparental con 3 o más hijos	3 habitación 1 baño Cocina Sala Comedor	50
	Familia mono-biparental con 3 o más hijos, con miembro con discapacidad	3 habitación 1 baño Cocina Sala Comedor	55

Imagen 62. Programa arquitectónico base, modelo VUIS. Fuente: (MIVAH, 2020).

Población actual

El terreno en estudio se localiza en el distrito de Hatillo, y como se observa en la imagen 63, el emplazamiento coincide con el extremo norte del distrito cercano a la colindancia con los distritos Mata Redonda y Hospital. Por lo anterior, se hace una primera delimitación incluyendo la población de estos tres distritos con el fin de realizar una caracterización general de la población circundante al terreno de estudio.

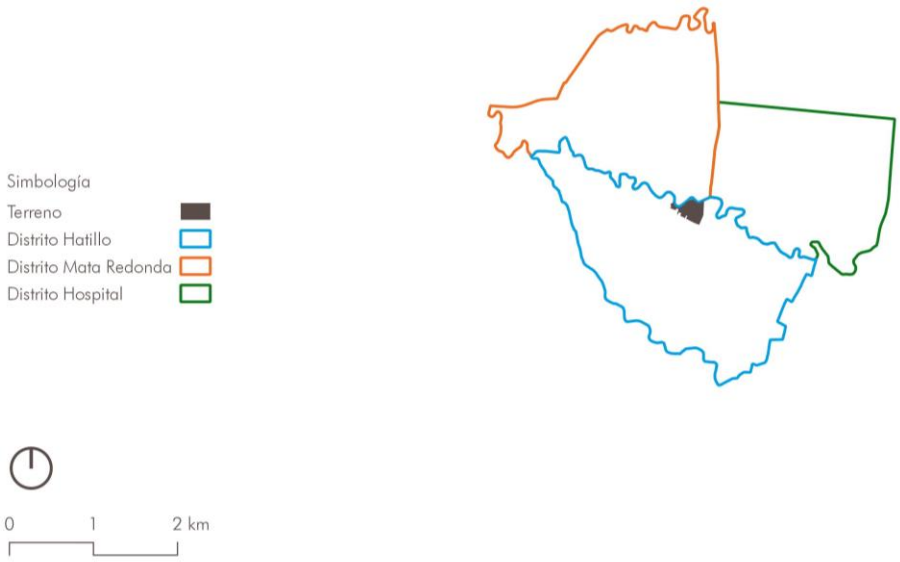


Imagen 63. Distritos alrededor de la zona de estudio. Fuente: elaboración propia con datos del SNIT.

Composición demográfica de la población

Hoy en día, aunque en San José se han dado fenómenos de despoblamiento, este cantón se mantiene como el más poblado del país; la tabla 6 indica que en los distritos centrales del cantón ha disminuido en grandes porcentajes la cantidad de habitantes, y de acuerdo con estudios del INEC se proyectó una población de 347 398 habitantes para el año 2020. (Dirección de Desarrollo Urbano, 2020)

Distritos	Variación porcentual					
	1950-1963	1963-1973	1973-1984	1984-2000	2000-2011	1950-2011
El Carmen	3.7	-8.4	-29.6	-43.5	-19.6	-69.6
Merced	16.6	-9.6	-22.9	-11.7	-9.6	-35.2
Hospital	13.3	-9.6	-21.9	-10.8	-20.3	-43.1
Catedral	40.7	-19.5	-24.5	-28.9	-15.7	-48.7

Tabla 6. Variación porcentual de la población en los distritos centrales de San José según el período de 1950-2011. Fuente: (Dirección de Desarrollo Urbano, 2020).

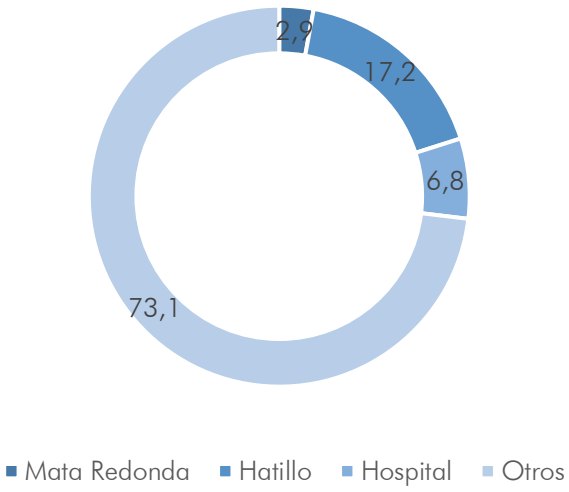


Imagen 64. Gráfico sobre porcentaje de habitantes por distrito. Fuente: (Dirección de Desarrollo Urbano, 2020).

Como lo muestra el gráfico 64 y 65, el distrito de Hatillo destaca como uno de los más poblados, es el que presenta mayor densidad poblacional del cantón con 14 023 habitantes por km2 y concentra el 17,2% de todos los habitantes del cantón de San José.

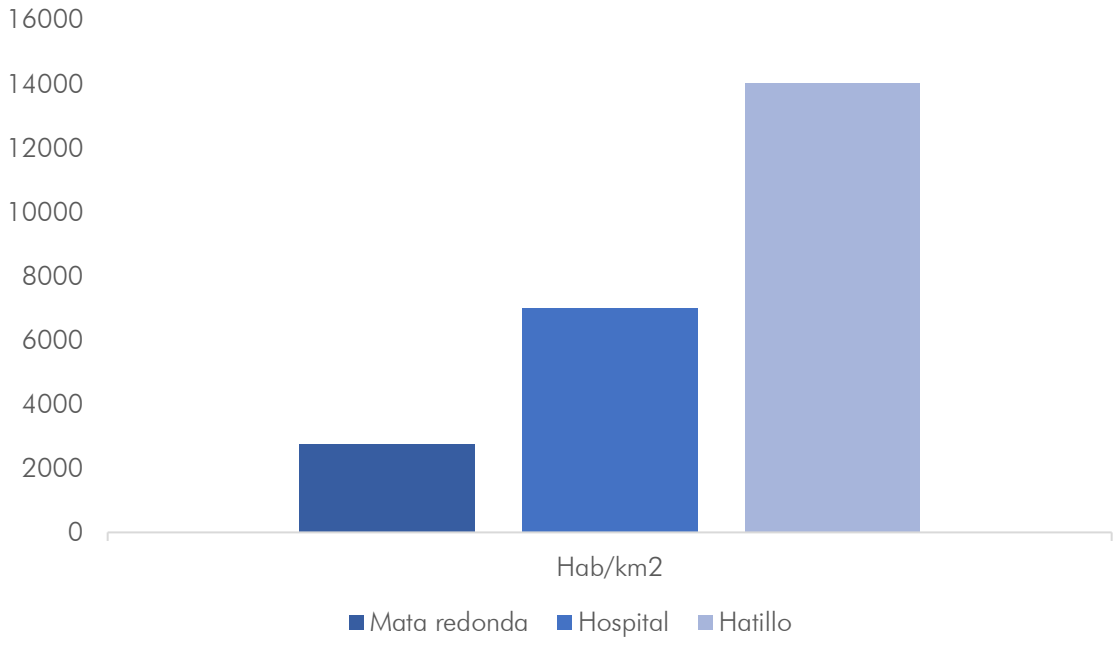


Imagen 65. Gráfico sobre densidad poblacional por km2. Fuente: (Dirección de Desarrollo Urbano, 2020).

Por otro lado, los escenarios que presentan el distrito de Mata Redonda y Hospital son muy distintos. Ambos distritos forman parte de los cuatro centrales de San José, los cuales desde el censo de 1963 han mostrado una tendencia decreciente sostenida debido a factores como la

expansión de la mancha de comercio y servicios, mal funcionamiento del transporte y tránsito, entre otros factores.

Las proyecciones de población al año 2025 muestran que se mantiene la tendencia de crecimiento demográfico, los distritos de Pavas, Uruca, Hatillo y San Sebastián concentrarán el 68% de la población cantonal al año 2025; el resto de los distritos no muestran mayor variación hasta el año 2025, con excepción del distrito Carmen que seguirá descendiendo.

En cuanto a la estructura etaria de la población se observa que la población adulta representa la mayoría dentro del cantón de San José y esto se refleja en los tres distritos de estudio, donde los porcentajes de población con una edad dentro del rango de 15 a 64 años supera el 70%. Asimismo, la cantidad de hombres y mujeres se mantiene equilibrada en todo el cantón, la imagen 66 muestra las respectivas cantidades para los de Mata Redonda, Hospital y Hatillo.

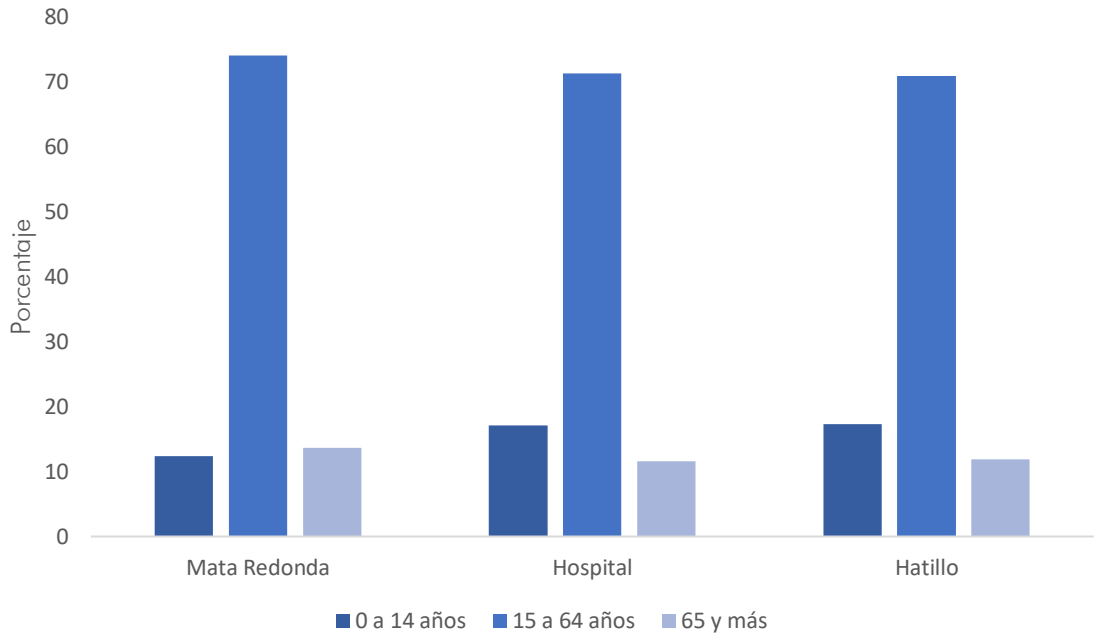


Imagen 66. Gráfico sobre estructura etaria, proyección 2020. Fuente: (Dirección de Desarrollo Urbano, 2020).

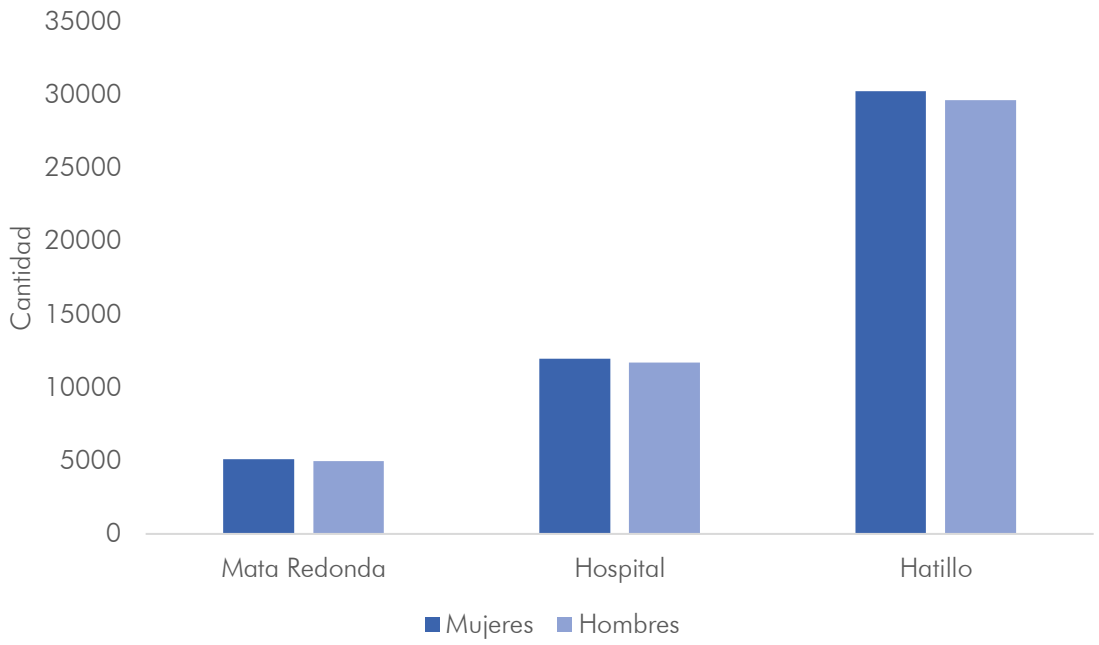


Imagen 67. Gráfico sobre cantidad de mujeres y hombres por distrito. Proyección 2020. Fuente: (Dirección de Desarrollo Urbano, 2020).

Asimismo, desde un plano general delimitado por el cantón de San José, la población adulta mayor corresponde a un 11,7%, superior al promedio nacional. Por lo contrario, la población joven de 0 a 14 años corresponde a un 16,8% en el cantón de San José, inferior al promedio nacional (imagen 68). Lo anterior indica que el envejecimiento dentro del cantón es superior al que experimenta el resto del país.

Por otro lado, se observa que la cantidad de población masculina y femenina es similar en los tres distritos. (Imagen 67)

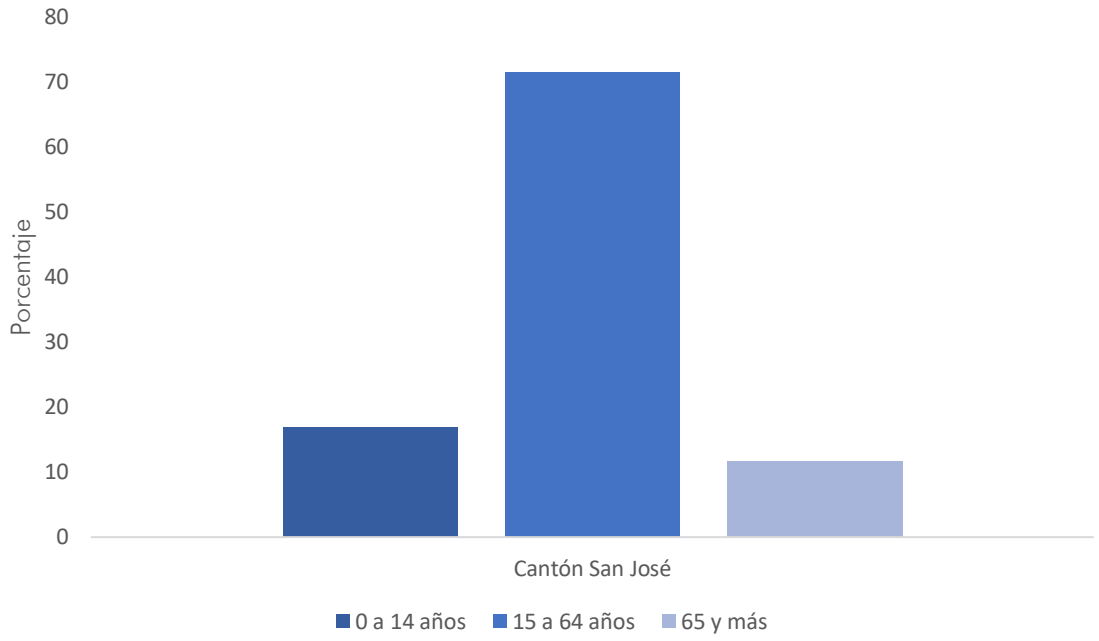


Imagen 68. Gráfico sobre estructura etaria, cantón San José. Proyección 2020. Fuente: (Dirección de Desarrollo Urbano, 2020).

Vivienda: consideraciones de diseño

Como la propuesta busca un uso diferenciado de acuerdo con las necesidades de distintos tipos de usuarios, se deben asegurar ciertos mínimos de habitabilidad con funciones determinadas para lograr la apropiación de los espacios comúnmente encontrados en las viviendas: salón, comedor, cocina, dormitorio, baño y pilas.

Esta concepción de "vivienda básica" va de la mano de una delimitación requerida para generar una solución de vivienda asequible, en la cual se aproveche el espacio con distribuciones justas pero funcionales.

Ámbitos de una vivienda

Una vivienda se puede definir como un conjunto de ámbitos especializados, no especializados y complementarios, cuyas cualidades y especificaciones dependerán de la cantidad y características de los usuarios previstos (Falagan y otros, 2011), en la imagen 69 se resumen esos aspectos:

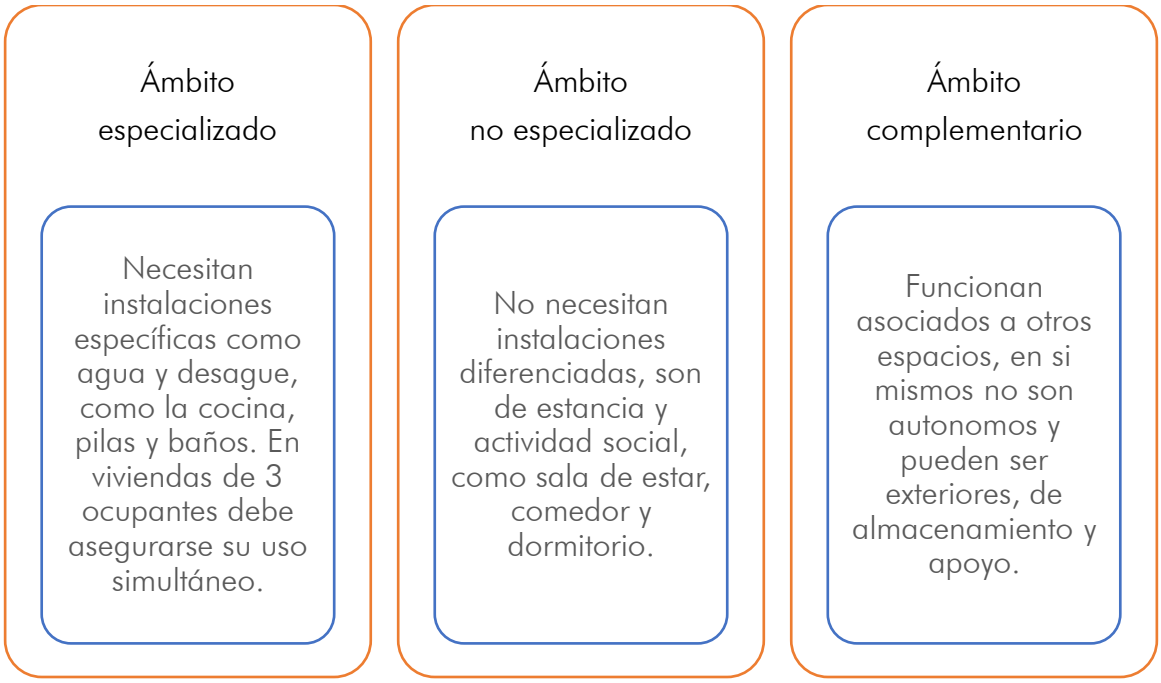


Imagen 69. Ámbitos de una vivienda. Fuente: (Falagan y otros, 2011).

Asimismo, las relaciones entre cada ámbito de una vivienda deben darse de manera correcta para cumplir adecuadamente con las funciones de esta. Es propicio que las zonas de preparación de alimentos, las del ciclo de ropa y de aseo corporal estén juntas; y los espacios complementarios exteriores deben relacionarse con los ámbitos no especializados como una expansión de la actividad social. (Falagan y otros, 2011)

Por otro lado, en la producción de vivienda masiva y pública es necesario determinar mínimos habitables, por esto, a través del estudio de distribuciones comunes se puede generar la composición de estos ámbitos por medio de múltiplos de un módulo de 9m2, dimensión que permite la configuración de distintos espacios funcionales. En la imagen 70 se puede observar esta modulación:

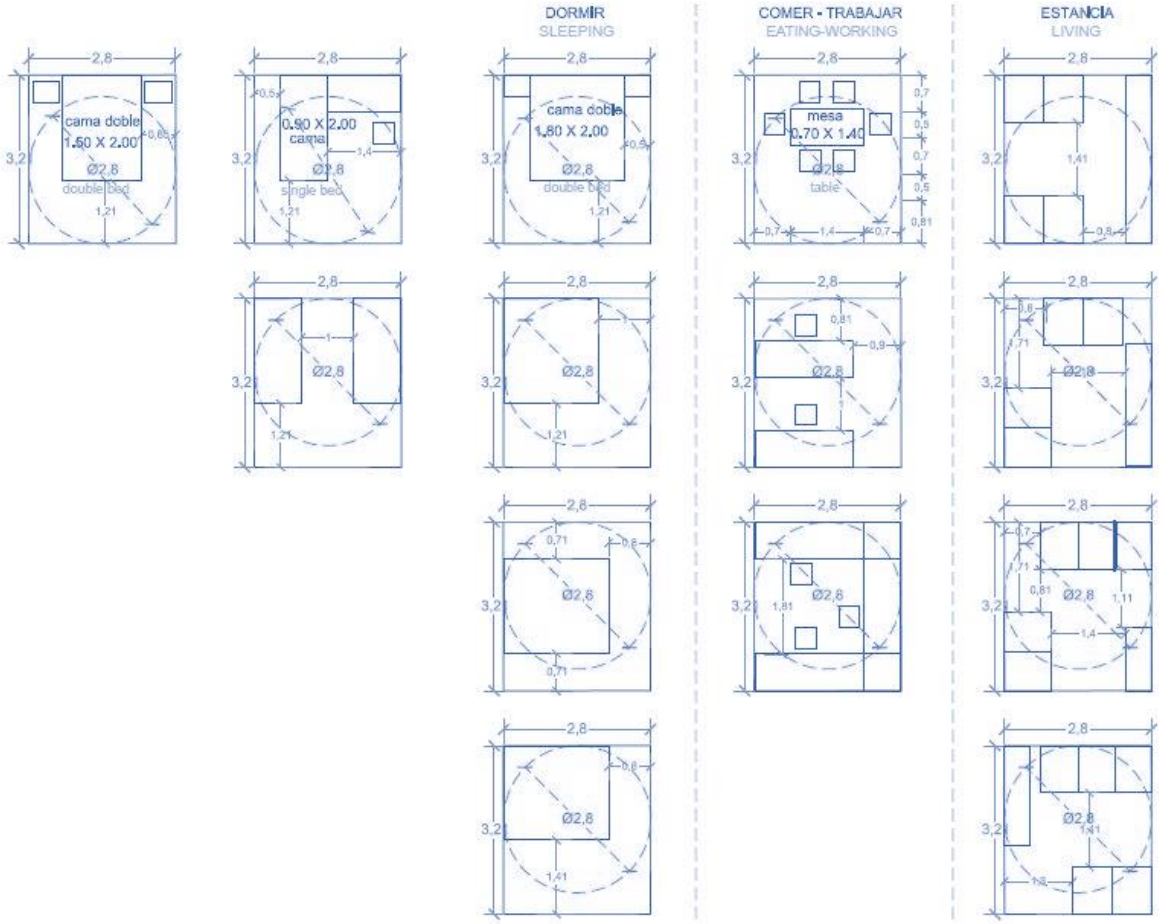


Imagen 70. Modulación mínima para distintos espacios. Fuente: (Falagan y otros, 2011)

En función de los planteado anteriormente, Falagan y otros (2011) también señalan que dentro de la vivienda debe existir una posibilidad de transformación, de tal forma que los espacios puedan modificarse para albergar nuevas funciones, por ejemplo, alternar espacios de trabajo con habitaciones y viceversa. Finalmente, los mismos autores comparten los siguientes criterios para los proyectos de vivienda:

Imagen 71. Criterios para la conceptualización de la vivienda. Fuente: (Falagan y otros, 2011).

Vivienda, edificio y entorno

El edificio no se puede aislar de la dinámica urbana, es necesario que existan filtros y niveles de privacidad para lograr una correcta inserción urbana del proyecto, además de incluir elementos de inserción urbana como retiros, aceras y plazas, entre otros.

Debe considerarse la relación entre el plano vertical de la fachada con los espacios públicos como aceras, plazas, jardines, patios y pasarelas; es clave que la puerta de la vivienda no dé directamente a un lugar transitado y ruidoso, para lo cual deben lograrse las correctas vestibulaciones. Como se observa en la imagen 72, el acceso al comercio debe ser directo desde el nivel público y la vivienda debería contar con accesos filtrados desde zonas comunales entre vecinos.

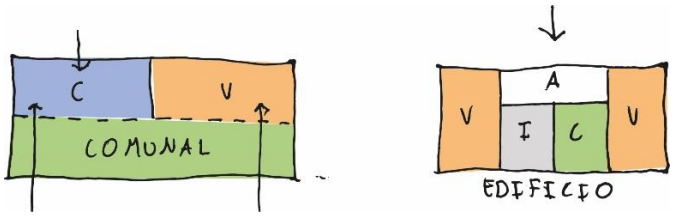


Imagen 72. Esquema de acceso a los distintos componentes del edificio. Fuente: elaboración propia.

La diversidad de usos es clave para mejorar la compacidad urbana de un lugar, el tejido residencial por sí solo no funcionará de la mejor forma ya que deben satisfacerse necesidades de comercio y ocio. Por esto las propuestas de vivienda deben integrar espacios comerciales, oficinas y pequeños equipamientos; dichos usos deben darse en planta baja para extender la vida urbana a los alrededores.

Esta concepción de la vivienda como parte de un tejido con distintos componentes, como zonas de circulación y espacios verdes de recreo, se desarrolló en el distrito de Hatillo, que fue un caso paradigmático en la historia del urbanismo costarricense. El ejemplo de Hatillo 8 muestra un planteamiento que tenía el objetivo de integrar en el menor espacio posible la mayor cantidad de propiedades asimismo fue la etapa con mayor cantidad de viviendas y también la mayor cantidad de metros cuadrados construidos promedio, ya que se utilizaron viviendas de 2 niveles. (Araya, 2018)

La imagen 73 muestra dos desarrollos distintos en Hatillo, el caso de Hatillo 8 y 2, los cuales se diferencian porque el primero muestra una disposición muy “eficiente” en cuanto al aprovechamiento del metro cuadrado, esto puede deberse a que las distintas etapas de Hatillo se realizaron en diferentes momentos y la acumulación de experiencia debió influir en los resultados posteriores. (Araya, 2018)

Hatillo es el resultado de varios años experimentales en la distribución de vivienda de manera horizontal, la disposición en alamedas presenta la flexibilidad necesaria para configurar conjuntos compactos o más holgados. Sin embargo, el potencial que presenta la mixticidad de usos con el aprovechamiento de la media altura debe aprovecharse en función de una mayor liberación de la planta baja.

Imagen 73. Porción del trazado a la misma escala de Hatillo 2 y 8. Fuente: (Araya, 2018). Vista aérea de Hatillo en Memorias del INVU 1967. Fuente: (Chaves y otros, 2019).

Otro aspecto para considerar es que los edificios de vivienda cada vez tienen áreas más reducidas, como es el caso de esta propuesta, debido a esto los distintos vecinos deben tener áreas comunes donde socializar y de esta forma verticalizar las relaciones barriales. Estos pequeños equipamientos comunitarios pueden ser estaciones deportivas, jardines y huertas comunes y terrazas.

Actualmente los núcleos familiares son cada vez más heterogéneos, y para lograr una mejor integración social se debe atender esta diversidad. En esta línea debe trabajarse también el diseño accesible, asegurando tipologías residenciales adaptadas a cada perfil de usuario.

Aspectos programáticos

De acuerdo con los principales perfiles de usuario se realizó el programa arquitectónico. Se toman como referencia los reglamentos descritos anteriormente y se aplican al edificio tipo que se describirá con mayor detalle en el siguiente capitulo, a continuación, se presenta el programa base utilizado conforme a la conceptualización del proyecto.

Componente	Subcomponente		Área
	Tipología	Espacios	
Vivienda	Tipo 1	1 habitación – 1 Sala - 1 Comedor – 1 Cocina - 1 Baño – 1 Pilas	36
	Tipo 2	2 habitaciones – 1 Sala - 1 Comedor – 1 Cocina - 1 Baño – 1 Pilas	54
	Tipo 3	2 habitaciones – 1 Sala - 1 Comedor – 1 Cocina - 1 Baño y ½ baño – 1 Pilas – 1 Escalera	72
	Tipo 4	3 habitaciones – 1 Sala - 1 Comedor – 1 Cocina – 2 Baños – 1 Pilas – 1 Escalera	108

Componente	Subcomponente	Usuario	Descripción
Comunal	Plaza/Jardín	Empleados Residentes	Zona de uso compartido entre los habitantes de distintos edificios y funciona como un filtro público/privado
	Acceso y vestíbulo	Empleados Residentes	Vestibula el ingreso al edificio y los cuartos eléctrico y mecánico
	Núcleos verticales	Residentes	Son parte de los medios de circulación vertical
	Circulación horizontal	Residentes	Corredores de comunicación entre vestíbulos y apartamentos
	Terrazas	Residentes	Zonas de uso compartido y exclusivo de los residentes de cada edificio

Componente	Subcomponente	Usuario	Descripción
Servicio	Depósito de residuos	Empleados Residentes	Espacio de recolección y clasificación de la basura
	Ductos	Empleados Residentes	Medios de conexión vertical para las distintas instalaciones
	Cuarto eléctrico	Empleados Residentes	Lugar de ubicación para la planta de emergencias y tableros eléctricos
	Cuarto mecánico	Empleados Residentes	Lugar de ubicación para el equipo de bombeo

Componente	Subcomponente	Usuario	Descripción
Público	Áreas verdes	Residentes Empleados Visitantes	Lugar de ocio y encuentro
	Comercio	Residentes Empleados Visitantes	Venta de productos y comercio de cercanía

Imagen 74. Programa arquitectónico base para el edificio tipo. Fuente: elaboración propia

Capítulo 3: Análisis de Sitio

3

Este capítulo describe la zona de estudio con el objetivo de **ahondar en las implicaciones físico-ambientales de diseño para el proyecto.**

El enfoque físico de la investigación se centra a nivel macro en el distrito Hatillo, Hospital y Mata Redonda, debido a que la ubicación del terreno está centrada en estos 3 distritos.

Finalmente, el análisis finaliza con aspectos propios del terreno en cuestión, tales como rasgos morfológicos, estructura funcional, condiciones climáticas y del paisaje, entre otros.

Análisis Macro

Hatillo: orígenes y relevancia.

El distrito de Hatillo suele ser conocido como una de las zonas residenciales mas consolidadas del país, pues lo que inició a principios del siglo XIX como una pequeña concentración de viviendas al suroeste de la capital entre los ríos María Aguilar y Tiribí, terminó convirtiéndose en el primer conjunto habitacional del país desarrollado por el INVU. (INVU, 2021)

Cuando el INVU es fundado en 1954 se convierte en el principal ente en materia de ordenamiento territorial y el pequeño caserío que se estaba formando ya contaba con producción de café, caminos pavimentados, agua potable y también la primera agencia policial. De esta manera el INVU establece el primer conjunto habitacional con la inauguración de las primeras 120 viviendas. (INVU, 2021)

El desarrollo en esta zona fue acelerado y pronto ya se contaba con la construcción de una escuela y demás equipamiento social. Así para 1963 ya se habían recibido 1860 solicitudes para habitar esta zona y eso demostraba la aprobación con que contaba esta ciudad satélite, de tal forma que el desarrollo continuó con mayor dotación de vivienda que se caracterizaron por estar compuestas de ocho unidades vecinales con obras complementarias. (INVU, 2021)

Gracias a la visión clara que tuvo el INVU, el distrito de Hatillo contempla los siguientes aspectos de sostenibilidad:

Imagen 75. Aspectos de sostenibilidad en Hatillo. Fuente: elaboración propia.

El terreno en estudio está ubicado en el distrito de Hatillo, y como se observa en la siguiente imagen, la ubicación de este coincide con el límite norte del distrito, definido por el río María Aguilar. Con la finalidad de realizar un análisis macro que incluya aspectos como la movilidad, continuidades ambientales, comportamiento económico y aspectos urbano-funcionales, se define una zona macro delimitada por los distritos de Mata Redonda, Hospital y Hatillo, pues como se observa en la imagen 76, el terreno se encuentra en la conjunción de estos tres distritos y puede funcionar como un posible conector.

Imagen 76. Delimitación de zona macro. Fuente: elaboración propia con datos del SNIT.

Caracterización general

El distrito de Hatillo es uno de los más poblados del cantón de San José, siendo el segundo en cantidad y el primero en cuanto a densidad poblacional, esto repercute en que la actividad predominante del distrito sea la residencial; desde el año 1850 Hatillo empieza a ser poblado, pero es a partir de los años cincuenta y sesenta que su proceso de urbanización se aceleró por el desarrollo de la Ciudad Satélite de Hatillo por el INVU. (MSJ, Ficha de información distrital: distrito Hatillo, 2013)

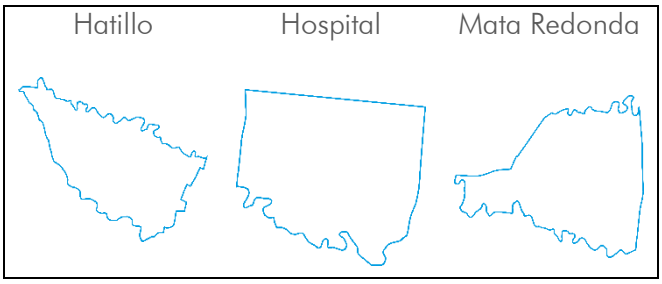
Por otro lado, el distrito Hospital presenta un escenario distinto, forma parte de los cuatro distritos centrales y alberga importantes hospitales del país como también la sede de la MSJ, el Teatro Melico Salazar, el Cementerio Metropolitano y el Cementerio Obrero, la Estación al Ferrocarril al Pacífico, entre otras instituciones de importante relevancia. Dentro de este distrito también se ubican importantes parques, y las actividades económicas principales corresponden a comercio y servicios. (MSJ, Ficha de onformación distrital: distrito Hospital, 2013)

Por último, el distrito Mata Redonda se distingue por ser uno de los menos poblados, solo por detrás de El Carmen. Durante el siglo XX el distrito recibe un proceso de urbanización más que todo por parte de ciudadanos de clase media, actualmente es escenario de desarrollos inmobiliarios en altura con un componente importante de comercio y servicios, esto combinado con que cuenta con indicadores socioeconómicos óptimos. A lo anterior se le debe agregar que este distrito cuenta con la presencia del emblemático Parque Metropolitano La Sabana Padre Chapuí (imagen 77), además del Gimnasio Nacional y Estadio Nacional. (MSJ, Ficha de información distrital: distrito Mata Redonda, 2013)

Imagen 77. Lago del Parque Metropolitano La Sabana Padre Chapuí. Fotografía por el autor.

A continuación, se presentan algunos datos generales sobre los distritos de estudio.

Datos generales



		Hatillo	Hospital	Mata Redonda
Territorio	Superficie	4,27 km^2	3,38 km^2	3,68 km^2
	% territorio del cantón	9,57	7,58	8,25
	# de habitantes	59 879	23 685	10 066
	Densidad Hab/km2	14 023	7007	2735
	Área verde por hab.	7,48m^2	5,87m^2	100,62m^2
Economía	Sector primario	0,4	0,4 %	1,1%
	Sector secundario	16,4	18,7%	11,8%
	Sector terciario	83,2	80,9%	87,1%
	Población inactiva	45,3	43,6%	46,0 %
Educación	Centros de preescolar	13	7	5
	Centros de primaria	13	7	4
	Centros de secundaria	7	4	7
	Centros de ed. abierta	2	2	1

Imagen 78. Datos generales de los distritos Hatillo, Hospital y Mata Redonda. Fuente: (Dirección de Desarrollo Urbano, 2020)

Tejido urbano

Un rasgo importante del tejido urbano es como está dispuesto su trazado, en la imagen 79 se observa que la distribución ortogonal y en cuadrantes regulares ha estado ligada a los distritos centrales, como lo es Hospital, y hacia las periferias ha predominado un desarrollo más orgánico ligado a lotificaciones de vivienda, ya sea de una forma desordenada o de manera regular, como lo es el caso de Hatillo.

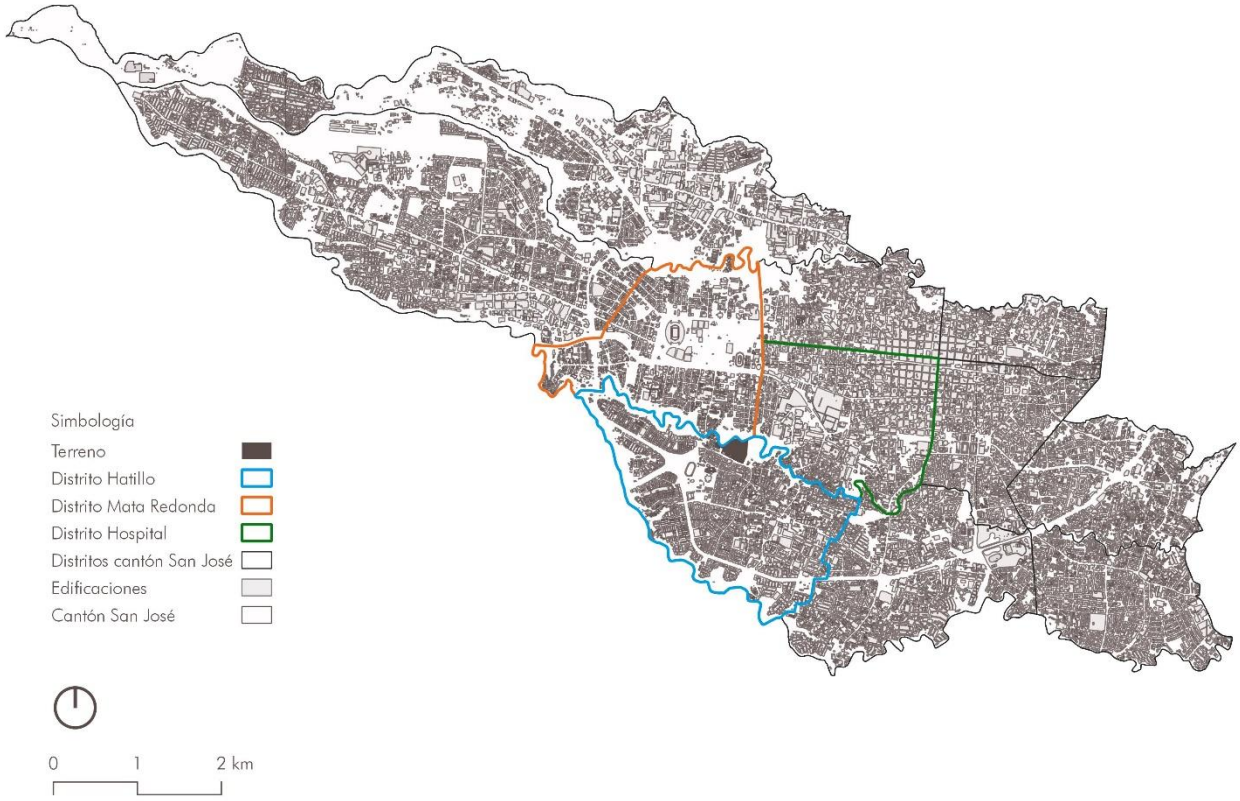


Imagen 79. Mapa general del trazado urbano del cantón de San José. Fuente: elaboración propia con datos del SNIT.

Imagen 80. Mapa general de trama urbana y entorno construido, distritos Mata Redonda, Hospital y Hatillo. Fuente: elaboración propia con datos del SNIT.

San José como capital de nuestro país, con el transcurso del tiempo ha experimentado cambios en su entorno construido inherentes a los procesos de urbanización. Dentro de los estilos presentes destacan edificios del movimiento moderno, art decó y neoclásico. Como muestra la imagen 80, los distritos de estudio están altamente urbanizados, y las zonas sin construcción alguna corresponden a parques o lugares cercanos a ríos.

Las edificaciones que se pueden encontrar en los distritos de estudio no destacan por su altura, la cual en la mayoría de los casos no sobrepasa la escala humana; aun así, en los distritos de Mata Redonda y Hospital se pueden observar varias edificaciones que sobrepasan los 10 niveles (imagen 81), pero Hatillo destaca por una escala mayormente horizontal correspondiente al uso residencial.

Imagen 81. 1: edificaciones de gran escala en el distrito de Mata Redonda, 2: Parque de los Leones en Hatillo 2, 3: edificaciones residenciales en Hatillo 2. Fotografías tomadas por el autor.

En el entorno construido presenta una diversidad en cuanto a materialidad y escala muy ligada a los estratos sociales y el tipo de uso dentro de la ciudad; es muy común que las zonas de vivienda como en Hatillo, predominen materiales de bajo costo y de manufactura propia. Por otro lado, en distritos como Mata Redonda está predominando el uso comercial ligado a un poder adquisitivo mayor con mejores acabados.

Movilidad

La movilidad dentro del cantón de San José se caracteriza por tener un componente importante de vehículos motorizados, existen flujos importantes sobre los ejes este-oeste, donde destacan la Avenida Central y Avenida Segunda que concentran en su mayor parte un flujo vehicular de carácter privado, además de que en esta misma orientación está la vía ferroviaria.

De forma transversal, los recorridos norte-sur indicados en la imagen 82, también implican congestión vial por la saturación de las calles, lo cual también se ve condicionado por las características hidrográficas de la zona, como se observa, el distrito de Hatillo se encuentra delimitado al norte y al sur por los ríos María Aguilar y Tiribí respectivamente.

Imagen 82. Mapa de los principales ejes de movilidad motorizada. Fuente: elaboración propia con datos del SNIT.

La presencia del peatón en la ciudad es verdaderamente importante, la dinámica urbana en planta baja depende directamente de las sendas peatonales presentes y de otras formas alternativas de movilidad no motorizada.

Imagen 83. Mapeo de los principales ejes de movilidad no motorizada. Fuente: elaboración propia con datos de Rutas Naturbanas y el SNIT.

La imagen 83 muestra la presencia de ciclovías y de ejes peatonales circundantes al terreno de estudio. De estos proyectos debe destacarse Rutas Naturbanas, que consiste en vías de uso compartido para que las personas se pueden movilizar caminando, trotando o en bicicleta; todo esto en una línea de trabajo para lograr la recuperación de los ríos María Aguilar y Torres, por medio de sendas poco invasivas para revalorizar el paisaje que nos pueden brindar dichos ríos.

Otro proyecto existente en cuanto a movilidad no motorizada es la ciclovía entre La Sabana y San Pedro. Este tipo de ciclovía es compartida con los vehículos, generando una tipología de calles con diversos usuarios.

Darles seguimiento a estas iniciativas a través del proyecto de investigación es de suma importancia para definir propuestas integradas a la realidad.

Continuidad ambiental

Los distintos ríos presentes son componentes destacados dentro de los elementos naturales que presenta la zona de estudio, la imagen 84 muestra como estos ríos delimitan los distritos de Mata Redonda, Hospital y Hatillo. De norte a sur se ubican el río Torres, María Aguilar y Tiribí, los cuales han delimitado una zona de retiros por la debida legislación o por la difícil construcción en estas zonas por su topografía más irregular.

Imagen 84. Mapeo de los principales elementos naturales. Fuente: elaboración propia con datos del SNIT.

Las mayores concentraciones de vegetación se dan a lo largo de los ríos, en sentido este – oeste, y el terreno de estudio se encuentra inserto en una de estas zonas; aunque es preciso señalar que estas porciones del territorio son más bien residuos de la urbanización, ya que son espacios verdes que no fueron planificados y se encuentran en desuso.

El aprovechamiento paisajístico y ecosistémico de los ríos puede ser en realidad amplio. Actualmente los distritos de Hatillo, Mata Redonda y Hospital presentan zonas verdes colindantes con los distintos ríos mencionados. Esta disponibilidad de metraje de área verde y recreativa puede verse mejorada a través del rescate de las zonas cercanas a los ríos como lugares de paseo y estancia ligado a un aprovechamiento paisajístico de los ríos.

Imagen 85. Zonas verdes y de recreación relacionadas a los ríos en los distritos de Hatillo, Hospital y Mata Redonda. 1: cancha de futbol en Parque de la Nacionalidad Costarricense, 2: vista desde el Parque de la Nacionalidad Costarricense hacia el terreno de la propuesta. Fotografías tomadas por el autor.

Por otro lado, la continuidad de vegetación norte – sur es prácticamente inexistente, las masas de vegetación en estos ejes han sido sustituidas por el crecimiento del entorno construido sin darle cabida a la arborización de una manera planificada.

Uso del suelo

En este aspecto se pueden identificar distintas zonas homogéneas en cuanto a uso del suelo. los distritos de Mata Redonda y Hospital concentran gran parte de comercios y servicios, aunque vemos un matiz con el distrito de Mata Redonda, que tiene una vocación mixta entre comercio y vivienda. Asimismo, vemos que hay un contraste de usos con el distrito de Hatillo, el cual en su mayor parte es residencial.

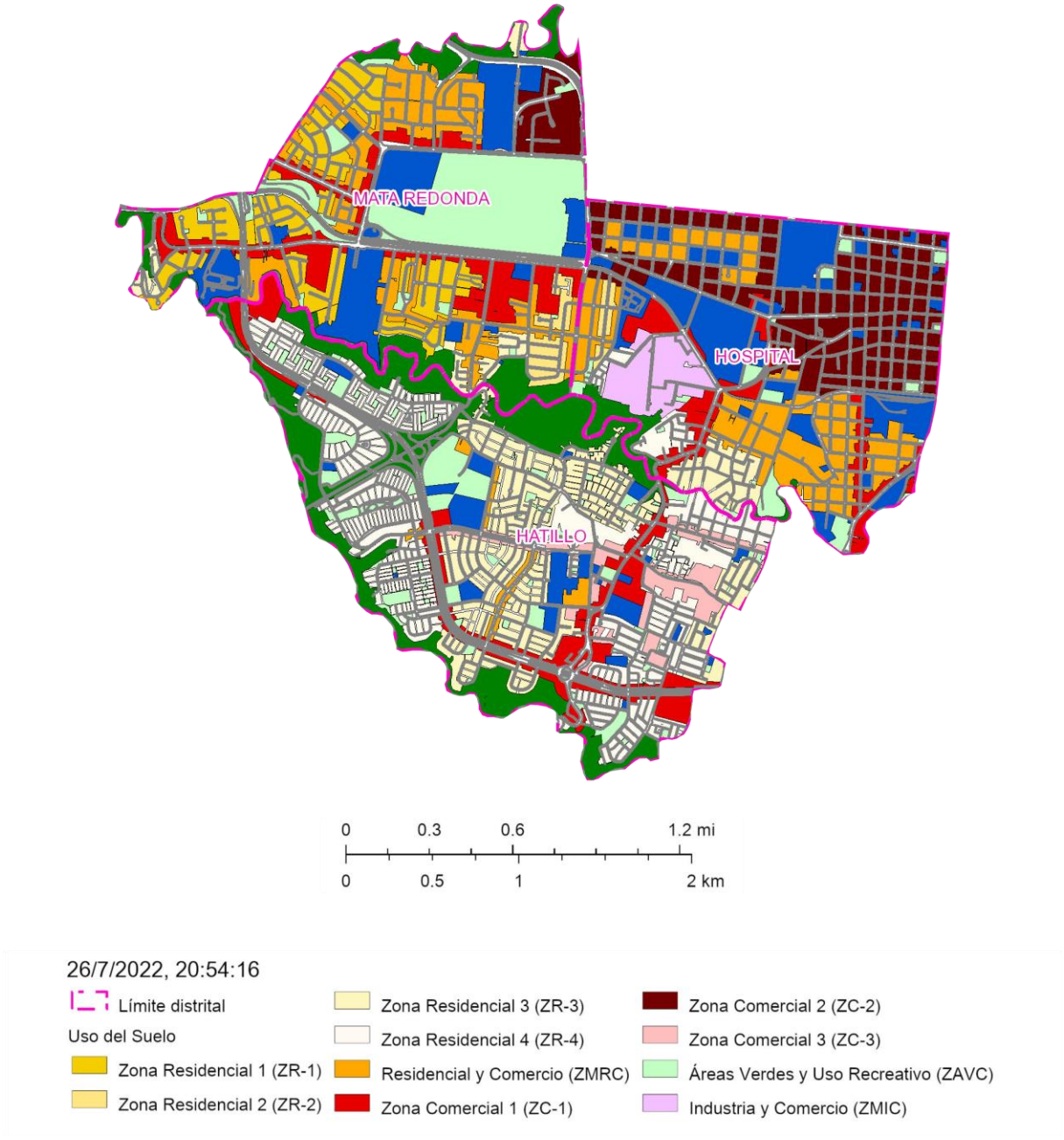


Imagen 86. Mapa de uso de suelo. Fuente: Municipalidad de San José

Aunado a lo anterior, como se ve en la imagen 87, en los distritos de estudio se tienen distintas concentraciones de sitios dedicados al entretenimiento y cultura, salud, institucional, religioso, sedes diplomáticas y educación.

Imagen 87. Mapa de los principales elementos según cada uso. Fuente: elaboración propia con datos del SNIT.

La ubicación de estos distintos usos remarca la diferente vocación que tiene cada distrito. Los usos de entretenimiento y cultura más las instituciones están comúnmente ubicadas en los distritos de Mata Redonda y Hospital; a diferencia del distrito de Hatillos que conserva mayormente zonas residenciales con centros de educación y recreativos.

Consideraciones

De acuerdo con el estudio realizado se sintetizan las siguientes consideraciones:

Urbano – funcional	Social	Movilidad	Ambiente
Marcada diferenciación de usos entre los distritos, por un lado, Hatillo es predominantemente residencial y Mata Redonda y Hospital comerciales. Segregación de los principales núcleos de actividad con las zonas de residencia. Predominan las cuadras irregulares. Deficiente mixticidad de usos, es necesario incorporar vivienda, comercio y espacio público. Existe un potencial paisajístico y de espacio público ligado a los ríos.	La diferenciación de usos puede generar zonas dormitorio donde se desarrolle la inseguridad en ciertos horarios Existen altos porcentajes de población inactiva. El abandono cerca de los ríos puede generar zonas de inseguridad.	Los tres distritos contienen sendas vehiculares ampliamente utilizadas A lo largo de los tres distritos hacen falta mejores vías peatonales Deficiente conectividad norte-sur considerando la concentración de comercios al norte y las residencias al sur.	Existe un desarrollo que excluye los bordes ribereños que resulta en un descuido de los ríos cercanos En los distritos de Hatillo y Hospital se tiene un déficit de área verde por habitante. Los ríos presentan una muy buena oportunidad para reforzar la continuidad ambiental dentro de la capital.

Imagen 88. Consideraciones del análisis macro de la zona de estudio. Fuente: elaboración propia.

Análisis Micro

Uso de suelo

Como se observa en la siguiente imagen, el predio está catalogado como una Zona Sujeta a Estudio, por lo que es necesario realizar un cambio de uso de suelo ante la Municipalidad de San José; considerando los objetivos de esta investigación, es preciso proponer un uso de Zona Mixta Residencia-Comercio (ZMRC).

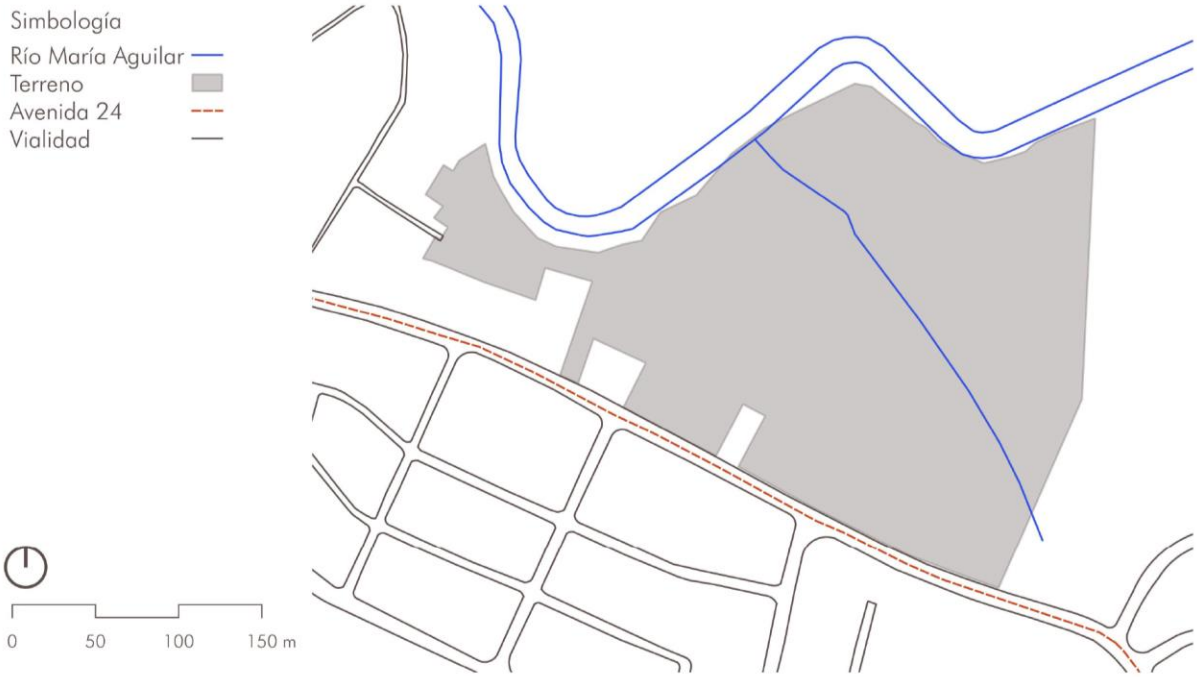


Imagen 89. Uso de suelo y terreno. Fuente: Municipalidad de San José.

Según el artículo 7 del RDU de San José, el uso de suelo denominado ZMRC permite desarrollos habitacionales de distinta índole, así como las siguientes actividades: estacionamiento, venta de repuestos varios, comercio de productos, enseñanza deportiva y artística, oficinas de servicios y locales de distinta gastronomía.

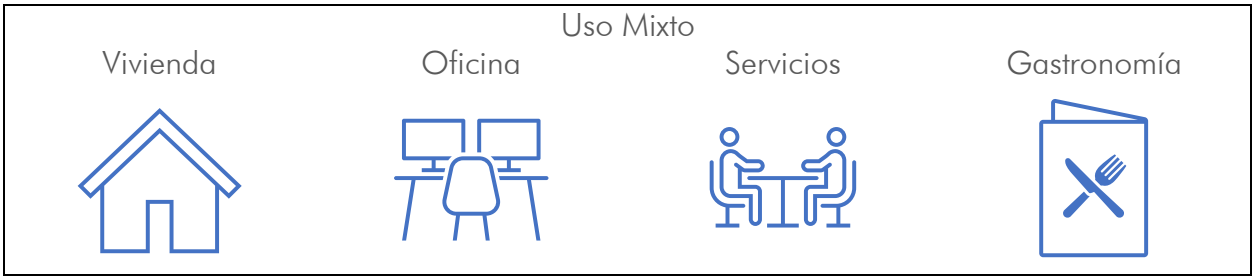


Imagen 90. Mixticidad de usos de suelo. Fuente: elaboración propia.

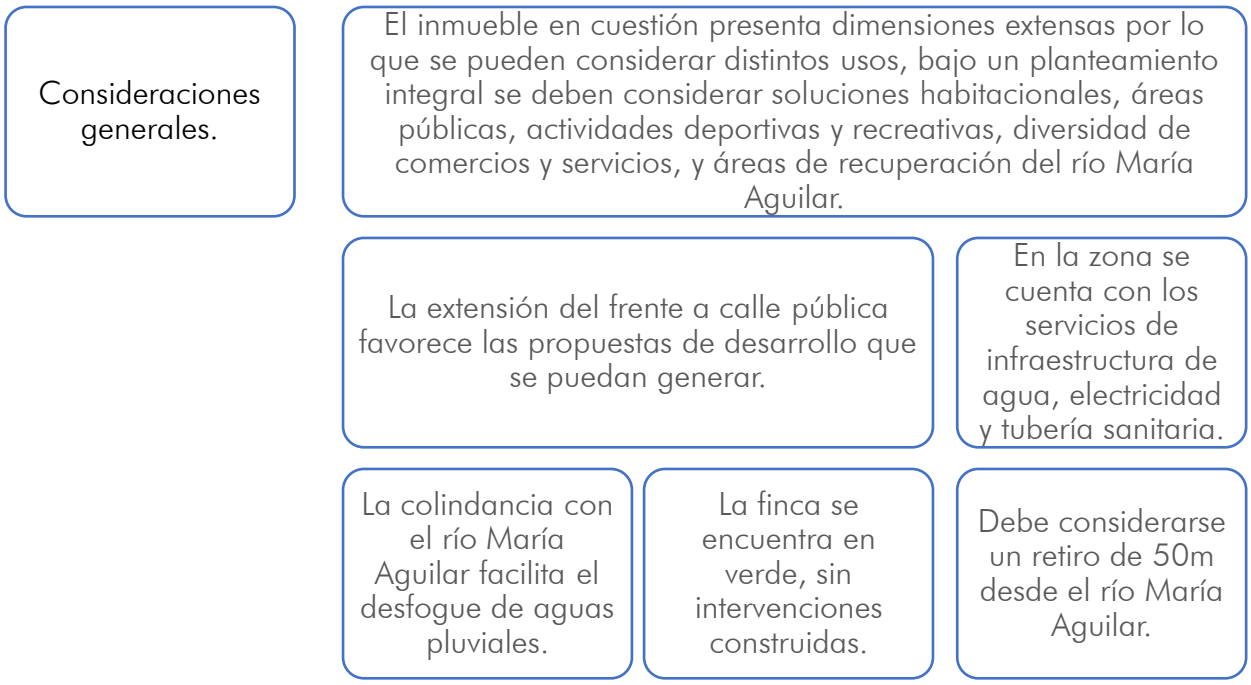


Imagen 91. Consideraciones del predio. Fuente: elaboración propia.

El lote para intervenir cuenta con una superficie de 65 180 m^2 y un frente a calle pública de 293m hacia el sur, asimismo su colindancia al norte se da con el río María Aguilar, al oeste se colinda con distintas propiedades privadas de uso residencial y al este se limita con una propiedad del MEP.

Topografía

La topografía de Hatillo en su mayoría califica como ondulada y ligeramente ondulada, sin embargo, el terreno en estudio presenta un mayor cambio de pendiente debido a la presencia de dos cuerpos de agua, por esto la topografía se ha visto moldeada en función a estas corrientes.

Existe una pendiente desfavorable hacia el río María Aguilar, y es preciso señalar que la colindancia con este río requiere un retiro de 50 m, como se marca en la siguiente imagen. Asimismo, dentro del predio está contenida una quebrada que particiona la topografía y también requiere un retiro de 10m.

Imagen 92. Isométrico de la topografía del sitio. Fuente: elaboración propia.

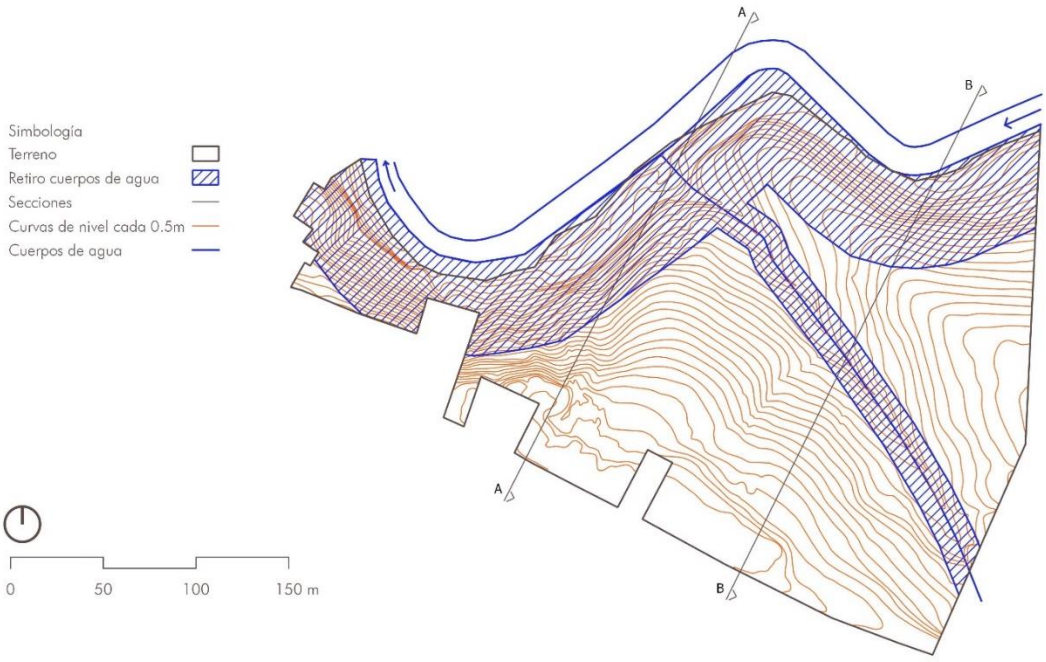


Imagen 93. Curvas de nivel del terreno y retiros por cuerpos de agua. Fuente: elaboración propia.

La condición de la topografía es importante a tomar en cuenta debido a que va a condicionar las posibilidades de uso. Este terreno presenta distintos porcentajes de pendiente, y como se observa en los perfiles A y B, la porción del lote con pendientes menores se relaciona con la cercanía a la calle donde el porcentaje de pendiente ronda el 10%, en otros puntos puede ser hasta un 30% y en promedio el terreno presenta una pendiente de 23%.

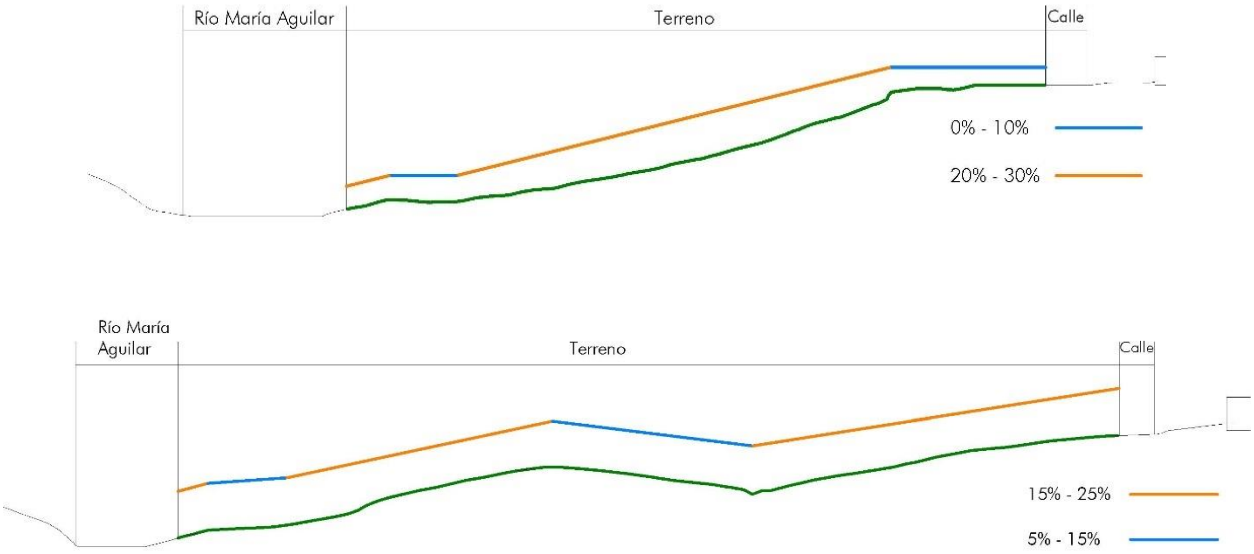
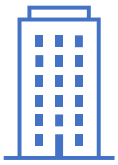


Imagen 94. Perfiles de la topografía del terreno. Fuente: elaboración propia.

Consideraciones

Es necesario contemplar los retiros requeridos desde los cuerpos de agua para asegurar la seguridad de los usuarios y la conservación del medioambiente.



Las edificaciones deberán ser de huella reducida y aprovechar la altura para adaptarse a la topografía.

El uso de terrazas deberá ser una herramienta para estabilizar el terreno y emplazar la propuesta arquitectónica de manera integral con el espacio público.

Imagen 95. Consideraciones de la topografía. Fuente: elaboración propia.

Clima

A continuación, se describen las variables climáticas de precipitación, temperatura y viento. La información corresponde a la Estación Automática del IMN en Radio Columbia, Zapote, San José; los datos derivan de promedios mensuales del período de 2008-2018.

En cuanto a precipitación debe señalarse que el promedio anual varía de 1500 a 2000 mm, lo que corresponde a uno de los valores más bajos del país según el IMN. Y como se observa en el siguiente gráfico, existe un período marcado de lluvias que va de mayo a octubre.

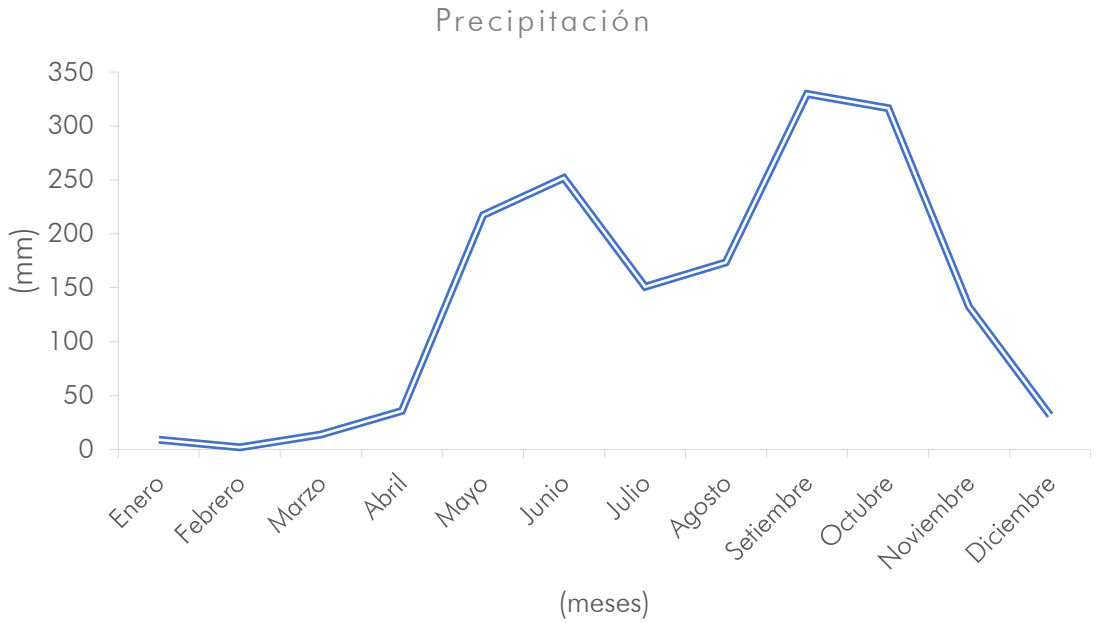


Imagen 96. Gráfico sobre niveles de precipitación mensual. Fuente: IMN, datos promediados 2008-2018.

La velocidad del viento varía de 0,5mph hasta 3,8 mph, en este caso las velocidades del viento no comprometen de manera extra el diseño estructural y Hatillo históricamente no ha sido afectado por tormentas tropicales o huracanes. Sin embargo, es necesario contemplar la dirección del viento, la cual tiende a provenir dentro de un rango variable desde el noreste.

Por otro lado, el valor promedio de temperatura mensual varía de 20,5-23 grados Celsius, como la temperatura no tiene grandes variaciones a lo largo del año se puede indicar una temperatura anual promedio de 22 grados Celsius.

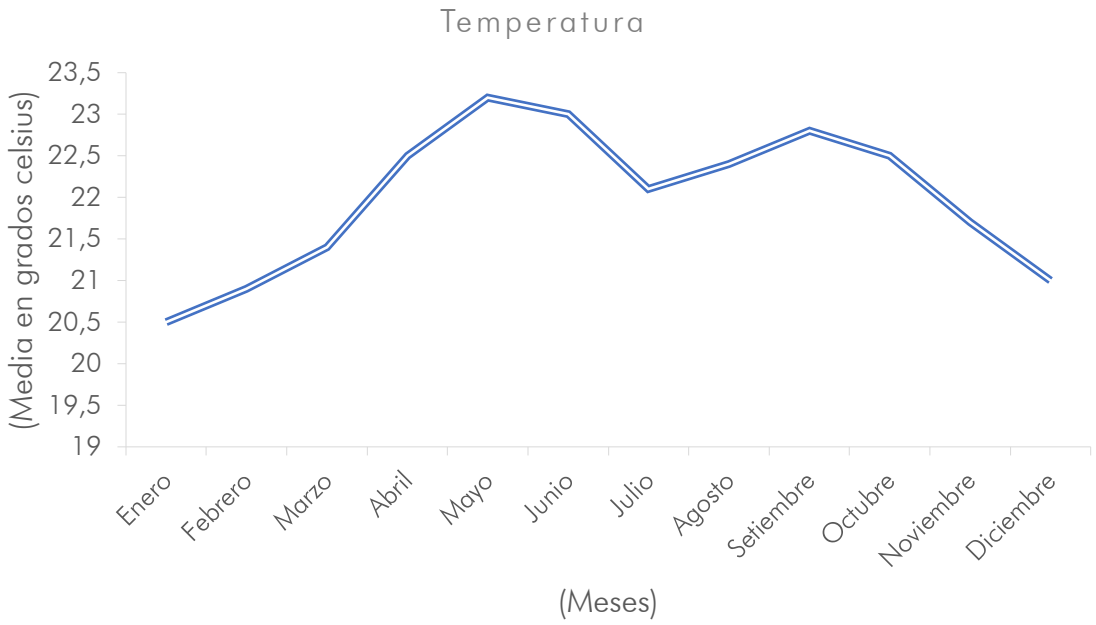


Imagen 97. Gráfico sobre valores de temperatura mensual. Fuente: IMN, datos promediados 2008-2018.

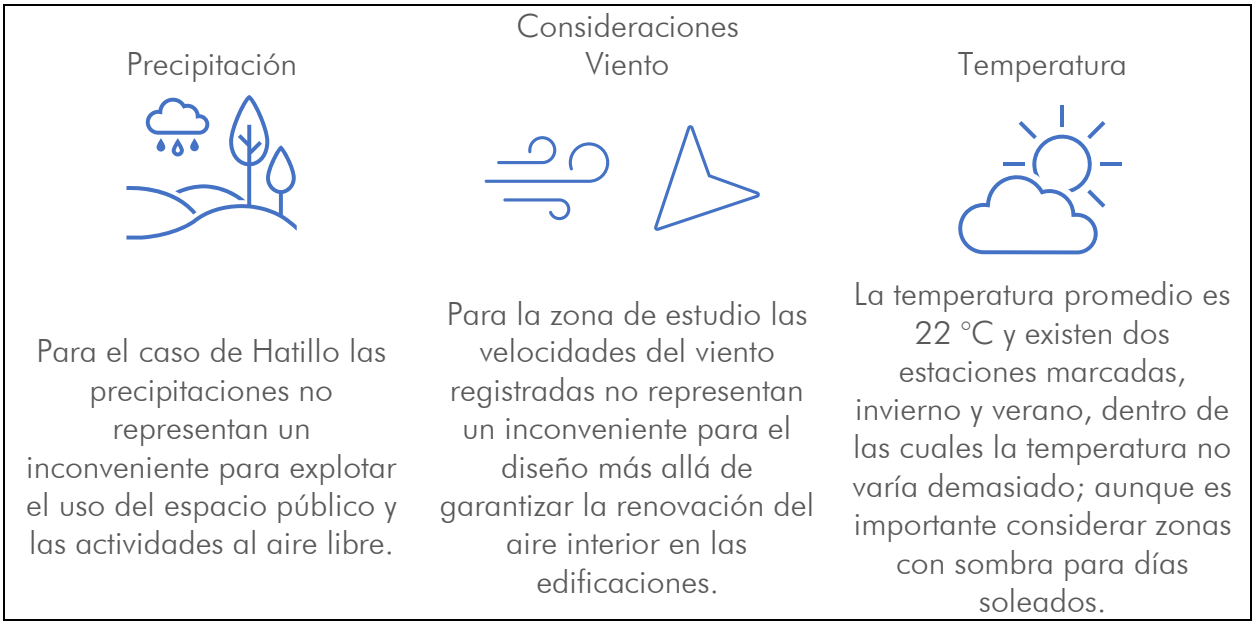


Imagen 98. Consideraciones del clima. Fuente: elaboración propia.

Paisaje

Uno de los recursos más importantes del terreno es su potencial paisajístico, que se compone por tener una gran porción de suelo verde y por su colindancia con el río María Aguilar al norte; más allá del río existe una franja de vegetación donde se localiza el Parque de la Nacionalidad Costarricense que contiene espacios de estancia y senderos, además de canchas de futbol y distintos deportes.

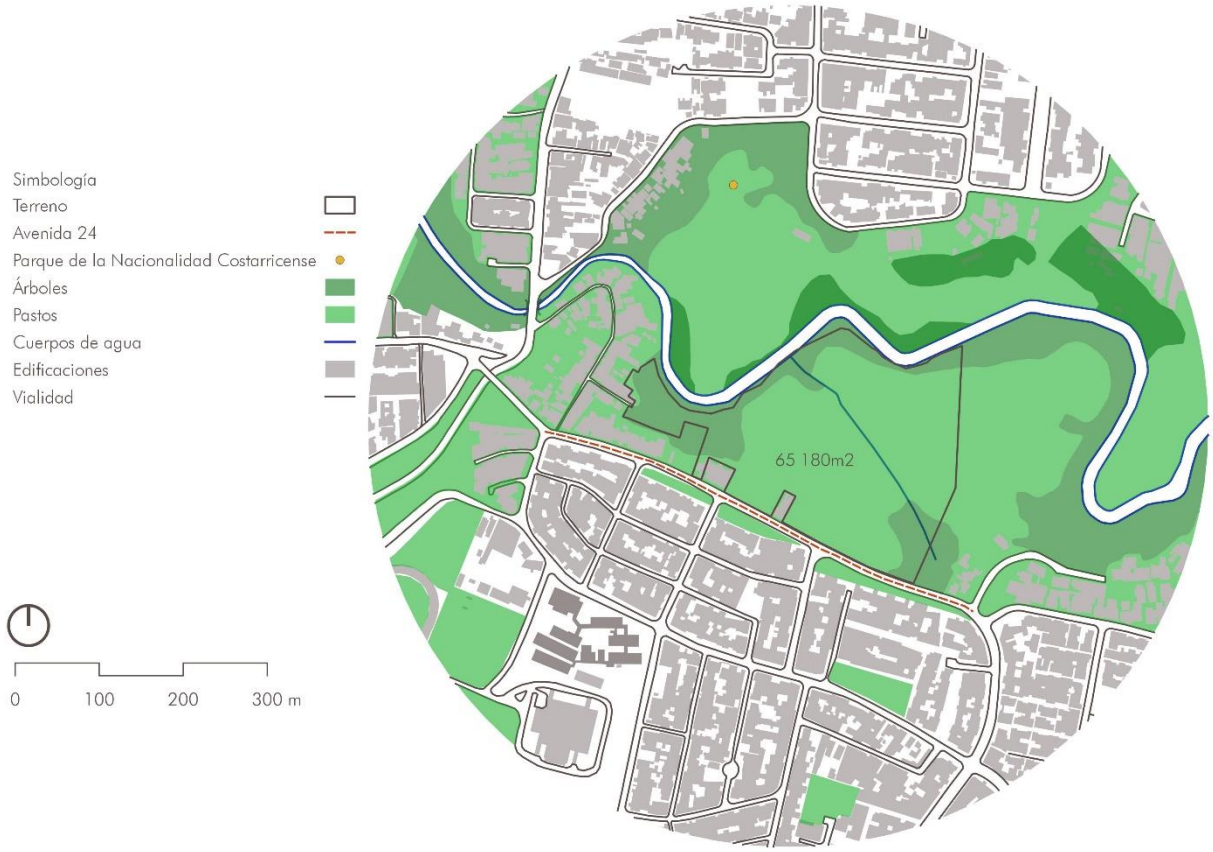


Imagen 99. Mapa de la presencia de vegetación circundante al terreno. Fuente: elaboración propia con datos del SNIT.

En cuanto a vistas el terreno cuenta con un amplio rango de visuales hacia el norte, ya que la pendiente desfavorable hacia el río favorece este aspecto. En la imagen 100, se muestra el perfil urbano del centro de San José que se puede observar desde el sitio.

Imagen 100. Vistas hacia el centro de San José desde el terreno. Fuente: fotografía tomada por el autor.

Imagen 101. 1: Avenida 24 colindante sur del terreno, 2: Parque de los Leones en Hatillo 2, 3: alamedas residenciales en Hatillo 2. Fuente: fotografías tomadas por el autor.

El entorno de Hatillo se caracteriza por edificaciones de baja escala residenciales dispuestas por alamedas que integran zonas verdes públicas. En la fotografía 1, de la imagen 101, se puede observar la calle frente al terreno, la cual tiene dimensiones amplias y cuenta con zonas verdes a ambos lados. Esta condición representa una gran facilidad de acceso peatonal hacia el sitio de la propuesta.

Reglamentación pertinente

	Reglamento de Desarrollo Urbano
1	Retiro frontal: para la Avenida 24, se define un retiro establecido por el MOPT. Retiro posterior y lateral: debe cumplirse con las normas de áreas y dimensiones mínimas establecidas en el Reglamento de Construcciones
2	Área Máxima de Construcción, para zonas residenciales: AMC=(Área del lote-Retiros)*AE Donde, AE: Altura del Edificio=Derecho de vía+(retiro oficial + retiro voluntario)*CA CA: Coeficiente de Altura, para ZMRC es igual a 2.5
3	El porcentaje de cobertura queda a criterio del desarrollador y los profesionales responsables, siempre y cuando se cumpla con la norma de retiros
4	Debe cumplirse con las disposiciones generales sobre uso del suelo
	Reglamento de Construcciones
1	El primer piso de la construcción debe estar mínimo 10cm por encima del nivel de terreno
2	En la construcción de rampas debe respetarse un máximo de 10% de pendiente
3	En corredores y pasillos el ancho mínimo será de 1,2m
4	Las aguas de lluvia deben ser conducidas a aguas naturales por canalización
5	Los proyectos en condominio vertical, horizontal o mixta deben poder utilizarse de manera independiente por distintos propietarios.
6	Los antejardines deben tener mínimo 1,5m de ancho
7	Los bienes comunes son aquellos elementos de todos los propietarios necesarios para el funcionamiento del inmueble. Los bienes privados corresponden solamente a su respectiva finca filial.
8	Las piezas habitables serán la sala, despacho, comedor y dormitorio. Las no habitables serán la cocina, baño, lavandería, bodega, garaje y pasillo.
9	Dimensiones mínimas para considerar: Dormitorio principal 9m2, los otros pueden ser de 7,5m2 con un ancho no menor a 2,5m. Sala-comedor de 10m2. Altura de piso a cielo: 2,40m. Altura mínima de puertas: 2m. Ancho mínimo de puertas: 90cm libres.
10	Para unidades de un dormitorio se requiere un mínimo de área de 30m2 y 7,5m2 mínimo por habitación adicional.
	Ley Reguladora de la Propiedad en Condominio
1	Las distintas fincas filiales deben tener acceso a la calle pública de manera directa o a través de espacios comunes
2	La estructura principal, así como las divisiones entre fincas filiales deben utilizar materiales no inflamables.
3	Las instalaciones del edificio deben ubicarse en zonas comunes y ser registrables desde estos espacios.
	Ley Forestal
1	Se debe respetar una franja de 10m a cada lado de los cuerpos de agua en terrenos urbanos para topografía plana, y si el terreno es quebrado con una pendiente mayor al 30%, el retiro debe ser de 50m

Consideraciones

De manera sintética, a continuación, se presentan algunas consideraciones para el diseño de la propuesta derivadas de las características del terreno:

El tamaño del terreno es realmente amplio, por lo que la zonificación deberá tomar en cuenta como debe ser la sectorización de los usos para integrar el comercio con el frente de calle; en este sentido la ubicación de los edificios deberá contemplar un fácil acceso desde la vía pública.

El uso de terrazas para concebir el diseño del emplazamiento será una pauta necesaria para adaptarse a la topografía, la cual es menos quebrada cerca de la calle.

Debe considerarse la dirección predominante de los vientos, para emplazar los edificios de manera perpendicular con tal de asegurar una ventilación correcta de los espacios.

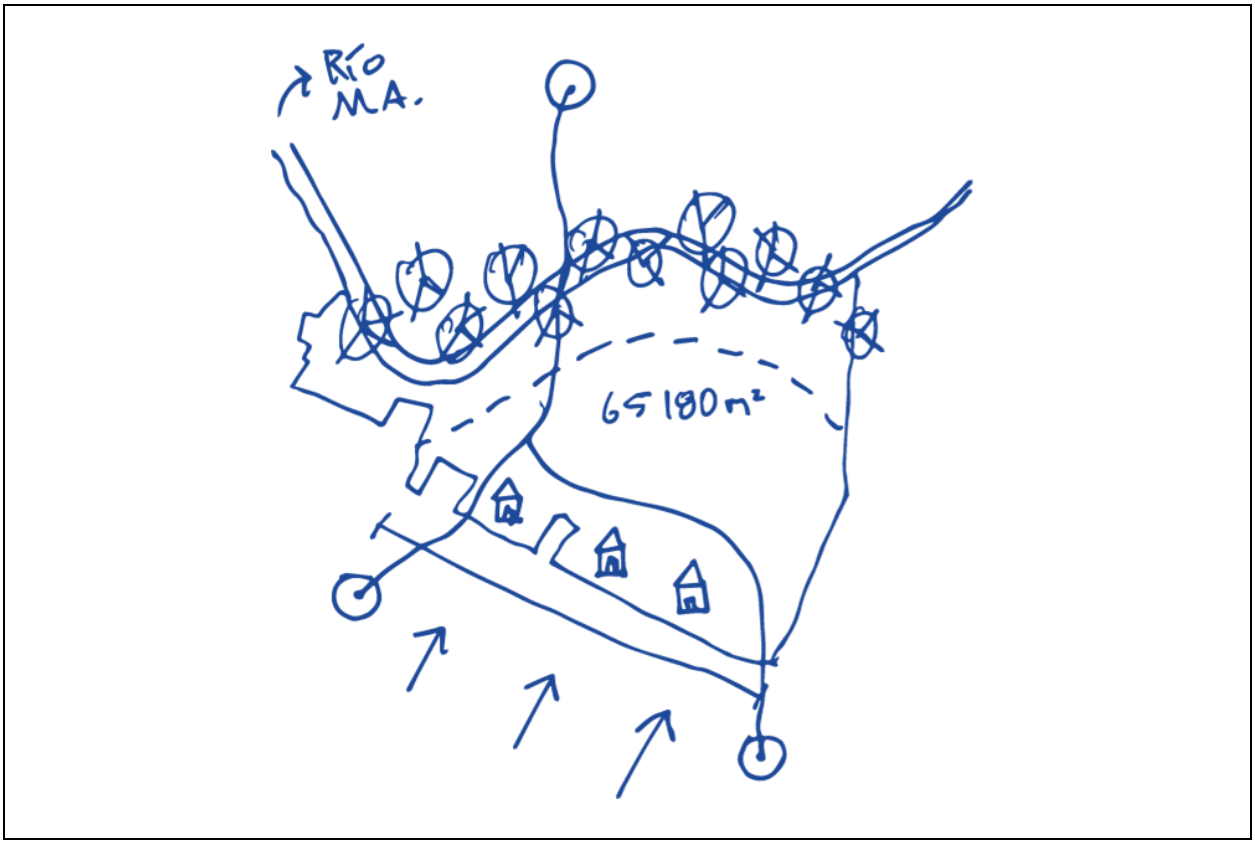


Imagen 102. Consideraciones del sitio. Fuente: elaboración propia.

El espacio público y el aprovechamiento paisajístico van de la mano, ya que se puede intervenir una zona del terreno como senderos y miradores para dotar de zonas de estar y de esparcimiento al contexto, sin generar un impacto ambiental nocivo.

Los distintos niveles de intervención dentro del terreno deben filtrarse desde la calle pública hasta la orilla del río, para que de esta manera se logre la conservación de los cuerpos de agua colindantes con el terreno y complementar con reforestación.

La circulación peatonal dentro del terreno puede enriquecer la conexión norte-sur si se extiende este alcance a lugares cercanos, como el Parque de la Nacionalidad Costarricense ubicado al norte del sitio después del río.

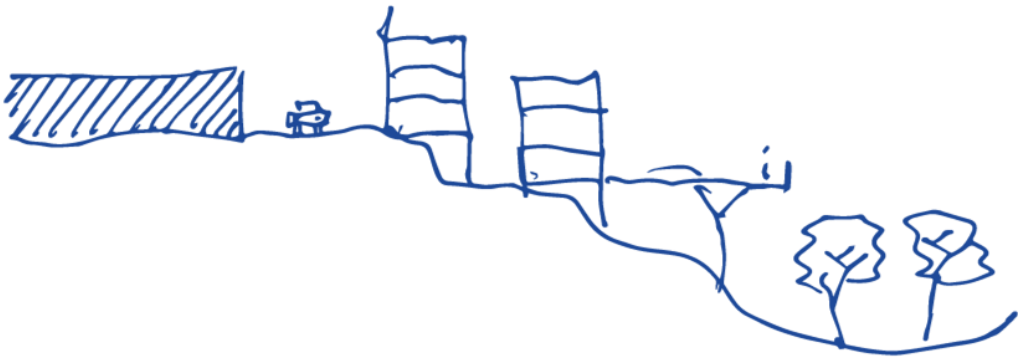


Imagen 103. Consideraciones del sitio. Fuente: elaboración propia.

En la siguiente imagen se muestra una volumetría del contexto circundante, se puede observar que la escala de los edificios cercanos corresponde a la residencial, asimismo la vegetación se incrementa a lo largo del borde ribereño que se acompaña de la pendiente desfavorable hacia el río. Puntualmente, algunas consideraciones del terreno a tomar en cuenta son las siguientes:

Imagen 104. Consideraciones del terreno. Fuente: elaboración propia.

Capítulo 4: La Propuesta

En este capítulo se desarrolla la propuesta de diseño.

En primer lugar se muestra la intervención a nivel de emplazamiento y posteriormente se detalla el anteproyecto arquitectónico del edificio tipo.

Síntesis de la propuesta

Al observar el distrito de Hatillo se percibe como una zona altamente urbanizada, sin embargo, como en muchas zonas de la GAM, este desarrollo ha sido principalmente horizontal. Hoy en día las condiciones en las que vivimos son muy distintas: los usuarios son muy variados, se requiere mayor densidad y compacidad urbana, hay una mayor demanda, se deben mitigar los efectos del cambio climático y existen nuevas teorías de desarrollo urbano que nos obligan a replantear el desarrollo que deben tener las ciudades. En función de lo anterior deben idearse las nuevas tipologías residenciales.

Este proyecto nace de una idea holística que busca mejorar las condiciones económicas de acceso a la vivienda y procesos constructivos. Se hace una propuesta responsable con el medioambiente a través de elementos prefabricados en madera con la producción mínima de residuos. El diseño del edificio surge a partir de una lógica modular flexible que incorpora una diversa cantidad de tipologías de apartamentos para generar una oferta muy variada, asimismo las condiciones sociales y recreativas se ven mejoradas por la incorporación de espacios comunales y también la mayor dotación de espacio público en función de un aprovechamiento paisajístico responsable con el medioambiente.

La propuesta se centra en el desarrollo de un edificio tipo con el sistema constructivo de entramado ligero que requiere una conceptualización bajo criterios de prefabricación y montaje. Dicha propuesta se va a emplazar de manera conjunta con otros edificios dentro del sitio de estudio de acuerdo con las implicaciones físicas y urbanas pertinentes.

Imagen 105. Vista aérea del conjunto desde el norte. Fuente: elaboración propia.

La propuesta arquitectónica

Conceptualización

La propuesta se centra en un edificio tipo que puede tener distintas configuraciones de vivienda de acuerdo con los diferentes usuarios y núcleos familiares, los emplazamientos y la configuración urbana necesaria; incorporando comercio en planta baja, vivienda, huertas urbanas, terrazas y conexiones entre edificios permitiendo verticalizar las relaciones barriales.

La propuesta comprende un planteamiento modular a partir de una unidad funcional obtenida por medio de croquis exploratorios de los espacios básicos de una vivienda, de esta forma se determina una unidad funcional como módulo para la configuración de la vivienda. Desde esta esquematización de los espacios típicos de una vivienda, el edificio se conceptualiza como la sumatoria de una serie de módulos por medio de una matriz ordenada, en la cual se encajan los distintos usos del edificio como las instalaciones, las circulaciones y las distintas tipologías de apartamentos. (Imagen 106)

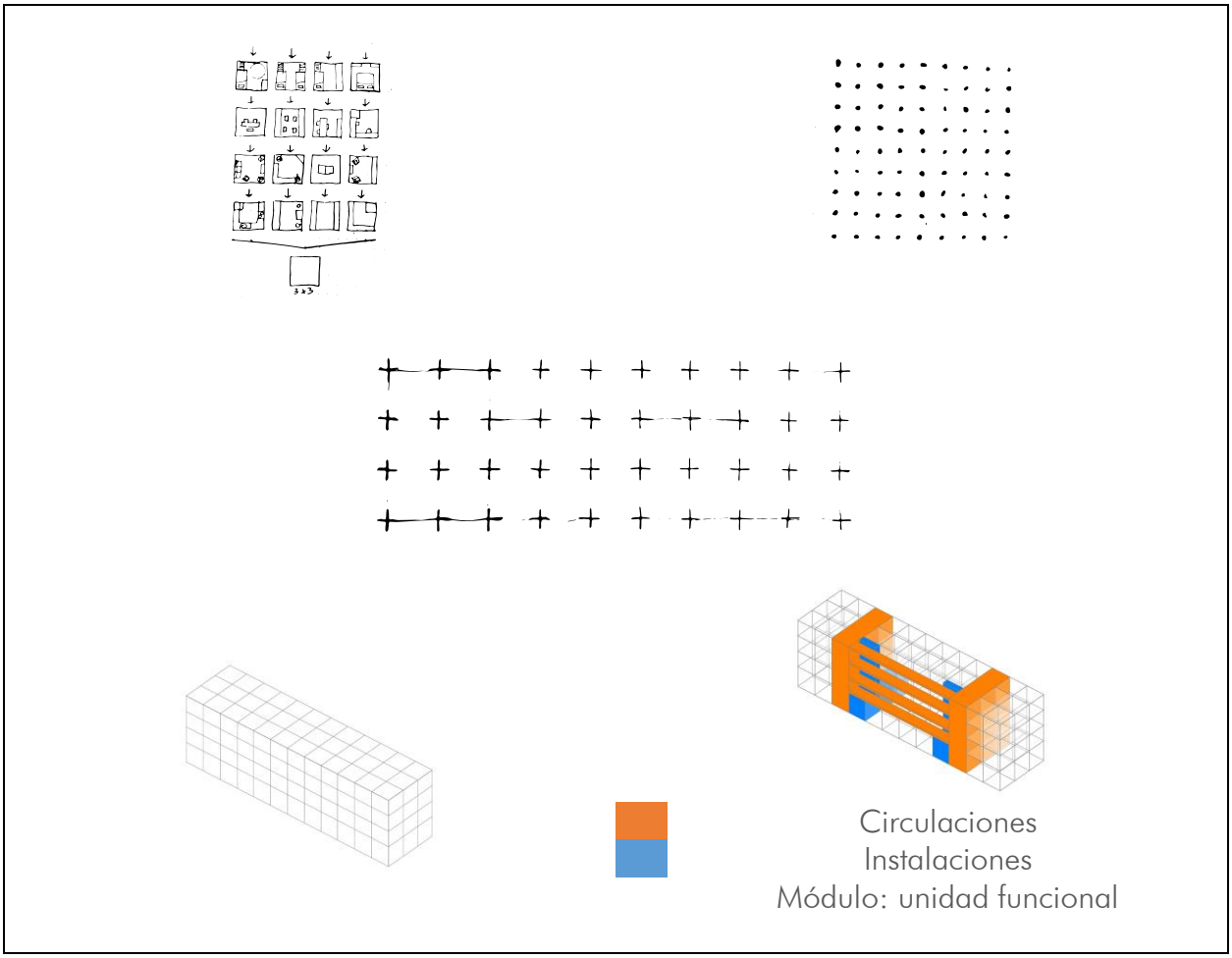


Imagen 106. Conceptualización edificio tipo. Fuente: elaboración propia.

Lo anterior permite generar distintas tipologías de apartamentos en función de la cantidad de módulos que las integran, así se determinan los apartamentos M4, M6, M8 y M12 de la imagen 107.

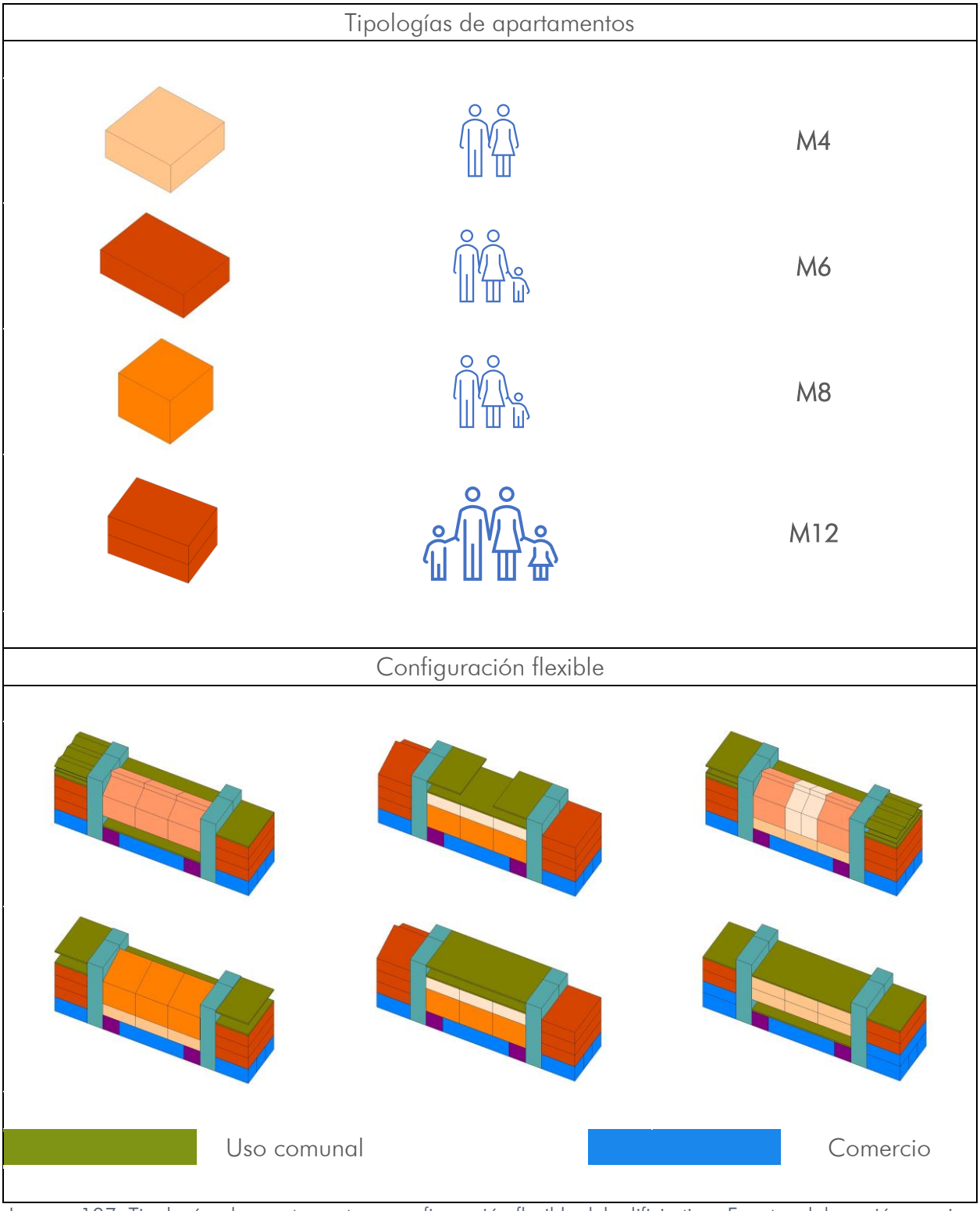


Imagen 107. Tipologías de apartamentos y configuración flexible del edificio tipo. Fuente: elaboración propia.

Obsérvese en la imagen 108 que el edificio tipo permite distintas configuraciones de apartamentos, de tal forma que se puede suplir una solución de vivienda a los distintos tipos de usuario. Esta misma idea de flexibilidad se traslada al plano urbano, donde la propuesta de edificio se puede articular de forma distinta según las condiciones urbanas pertinentes, enlazando espacio público en planta baja, comercio, zonas comunales y conexiones elevadas entre edificios que verticalizan las relaciones barriales.

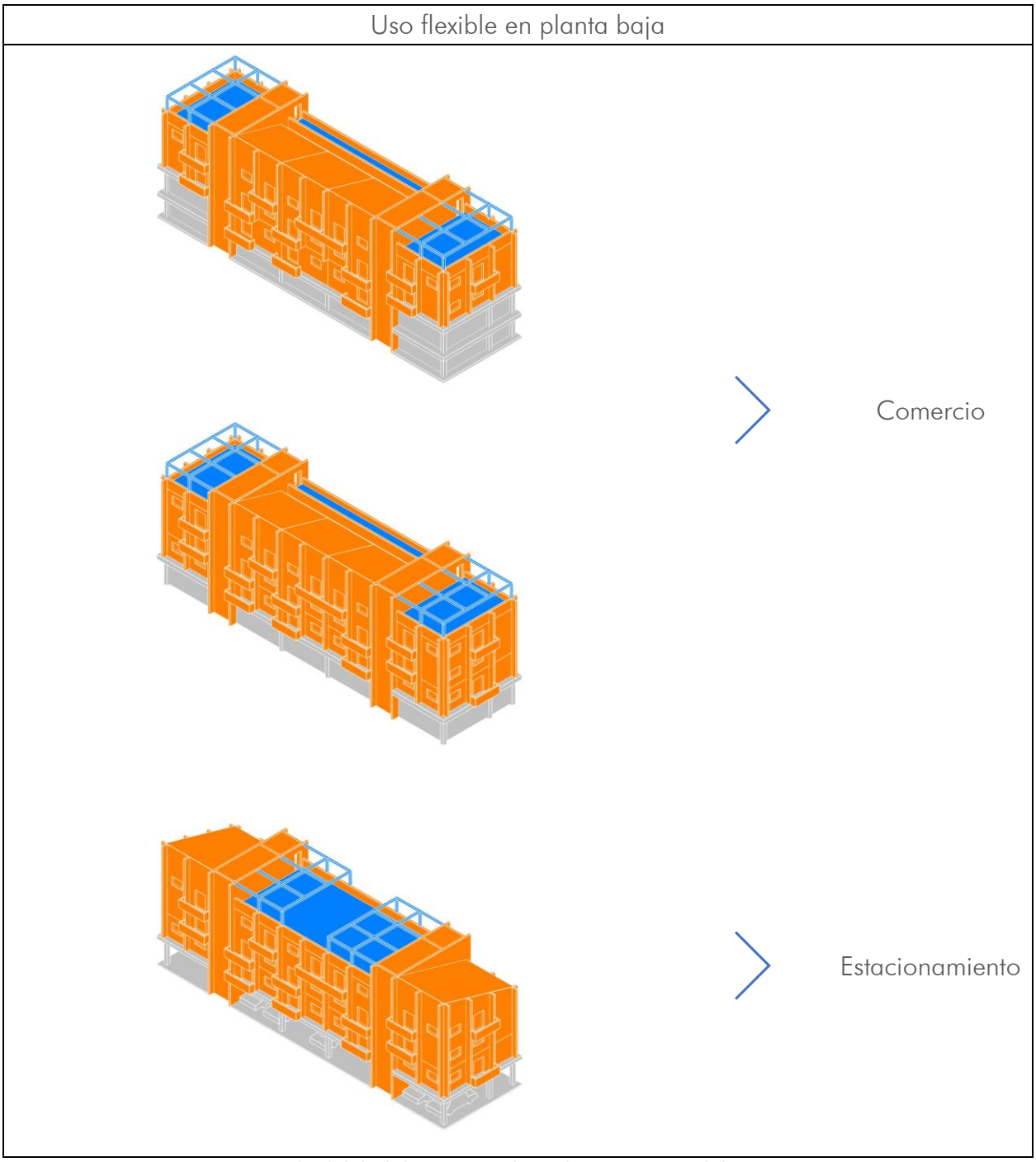


Imagen 108. Flexibilidad de usos en planta baja. Fuente: elaboración propia.

Configuraciones macro

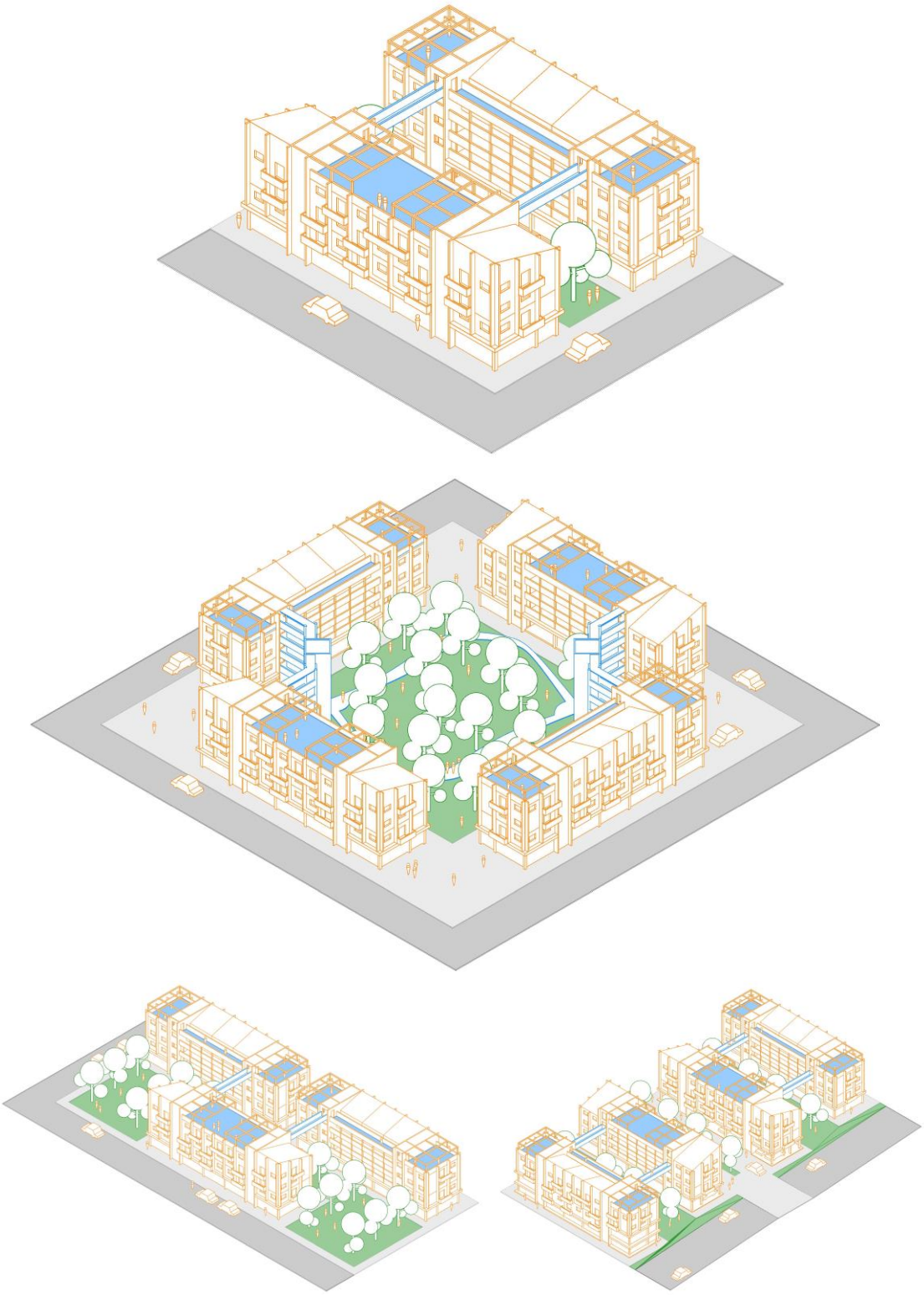


Imagen 109. Configuración urbana y de conjunto del edificio tipo. Fuente: elaboración propia.

Edificio Tipo

En planta baja el edificio va a estar compuesto por un sector de comercio integrado por dos tipologías, y un sector perteneciente al componente de vivienda:

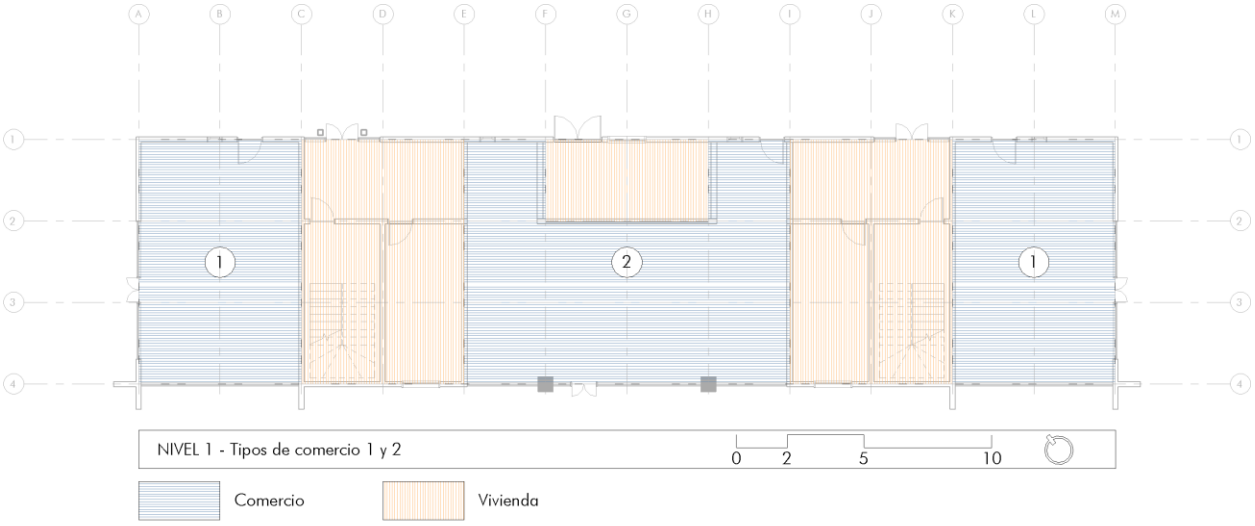


Imagen 110. Nivel 1 tipos de comercio. Fuente: elaboración propia.

Los niveles superiores estarán configurados según la imagen 111, donde se mantienen apartamentos que en principio son de planta libre, los cuales pueden variar desde uno a dos niveles.

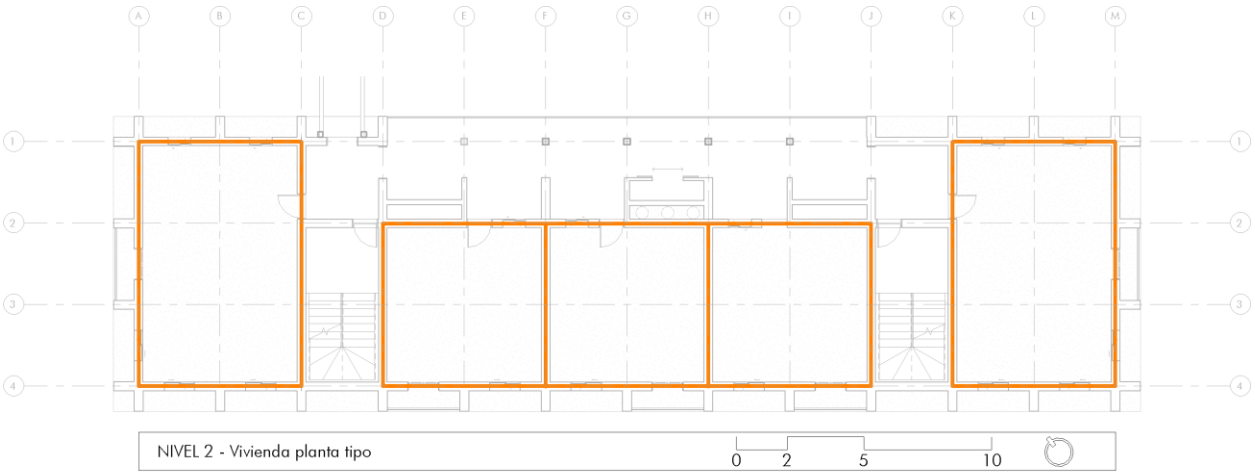


Imagen 111. Planta tipo apartamentos. Fuente: elaboración propia.

En las siguientes imágenes se muestran las plantas arquitectónicas del edificio tipo, así como isometrías y vistas de los espacios interiores.

En el primer nivel se tienen locales comerciales con relación directa a zonas peatonales, asimismo en este nivel se ubican zonas de servicio y de ingreso al segundo nivel de uso residencial.

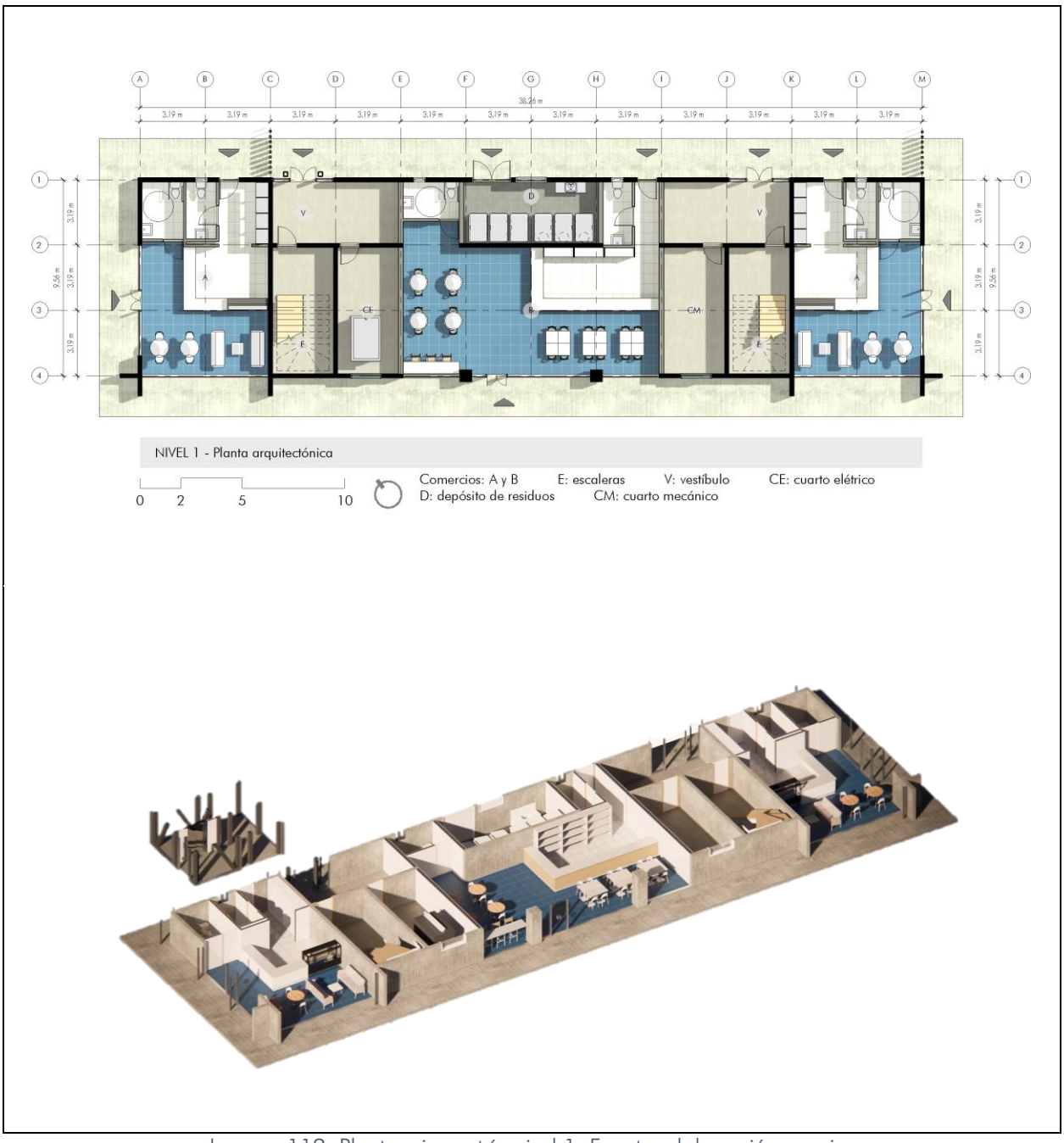
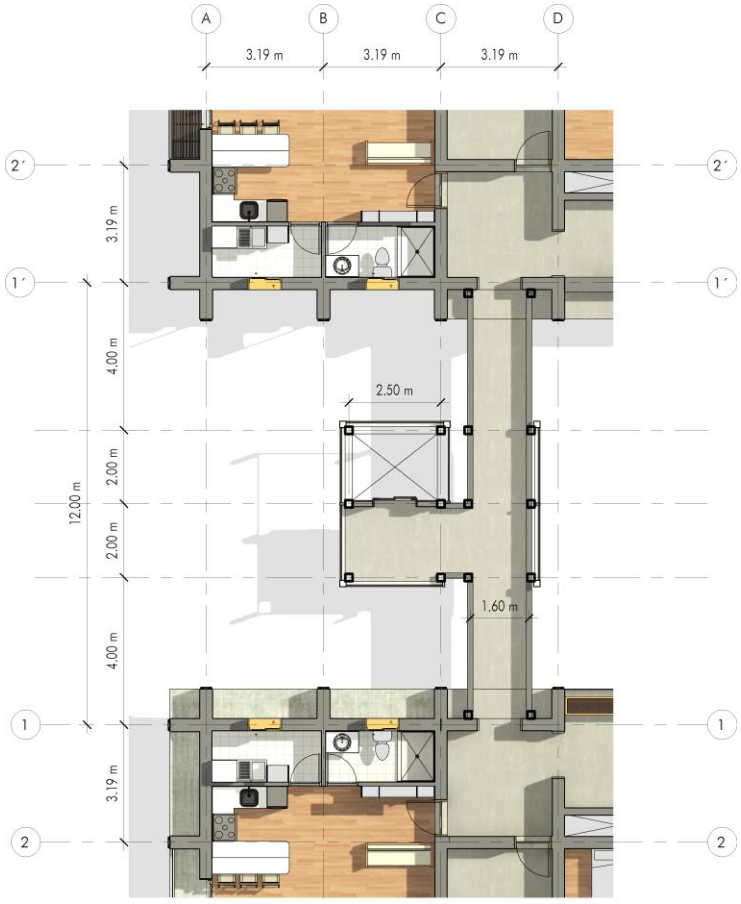


Imagen 112. Planta e isometría nivel 1. Fuente: elaboración propia.

La circulación a niveles superiores se resuelve mediante dos cajas de escaleras compartimentadas, asimismo se cuenta con un elevador exterior que se conecta a ambos edificios por medio de pasarelas elevadas. (Imagen 113)



NIVEL 2 - Conexión con elevador

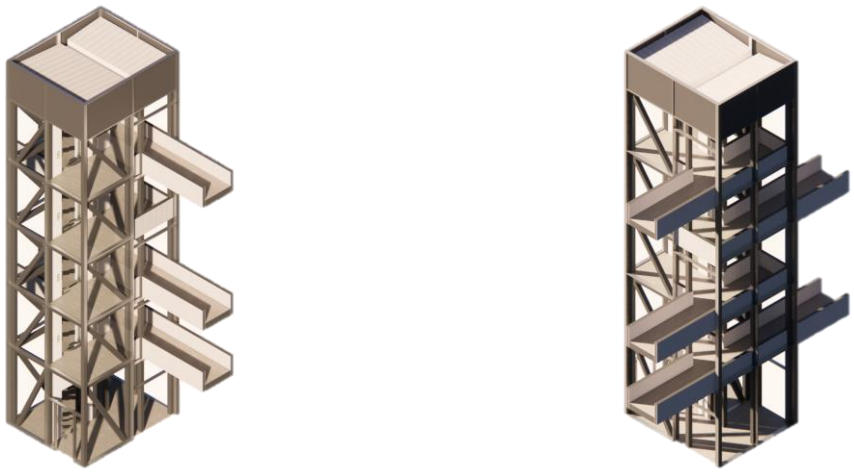
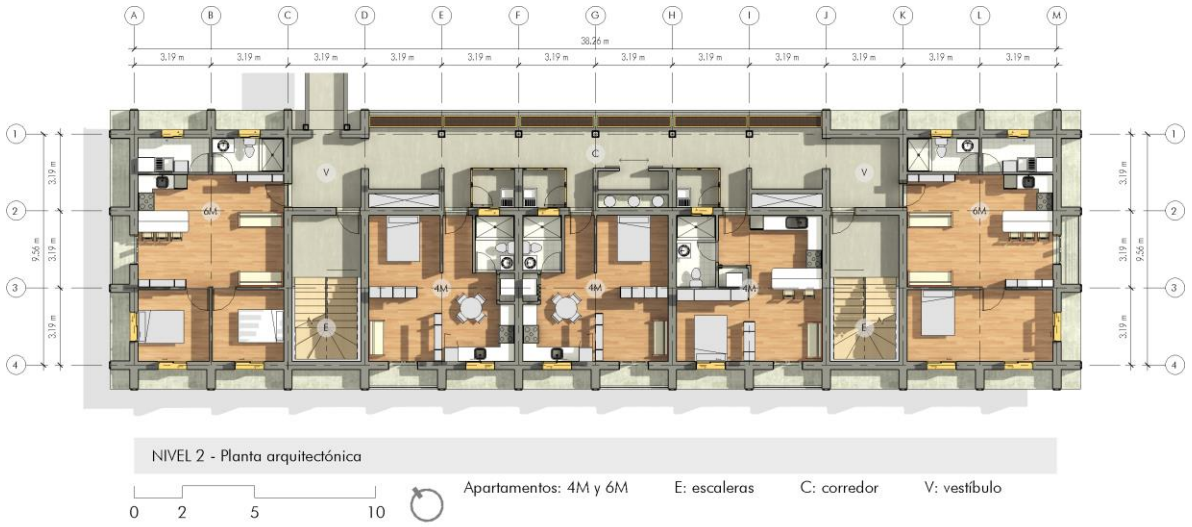


Imagen 113. Elevador exterior. Fuente: elaboración propia.



M4

M6

Imagen 114. Planta e isometría nivel 2. Fuente: elaboración propia.

M4 vista interna

M6 vista interna

Imagen 115. Vistas internas apartamentos M4 y M6. Fuente: elaboración propia.

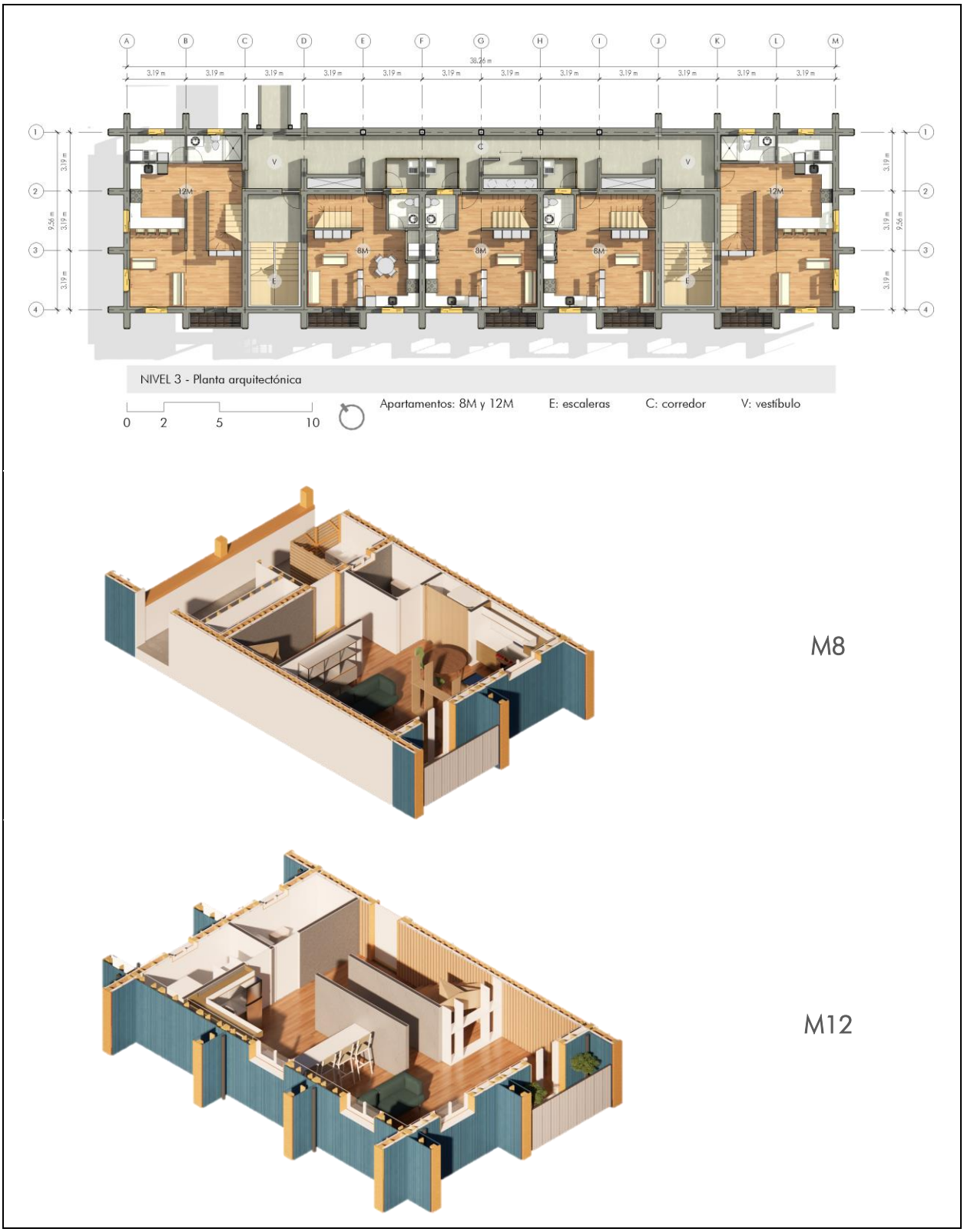


Imagen 116. Planta e isometría nivel 3. Fuente: elaboración propia.

M8 vista interna

M12 vista interna

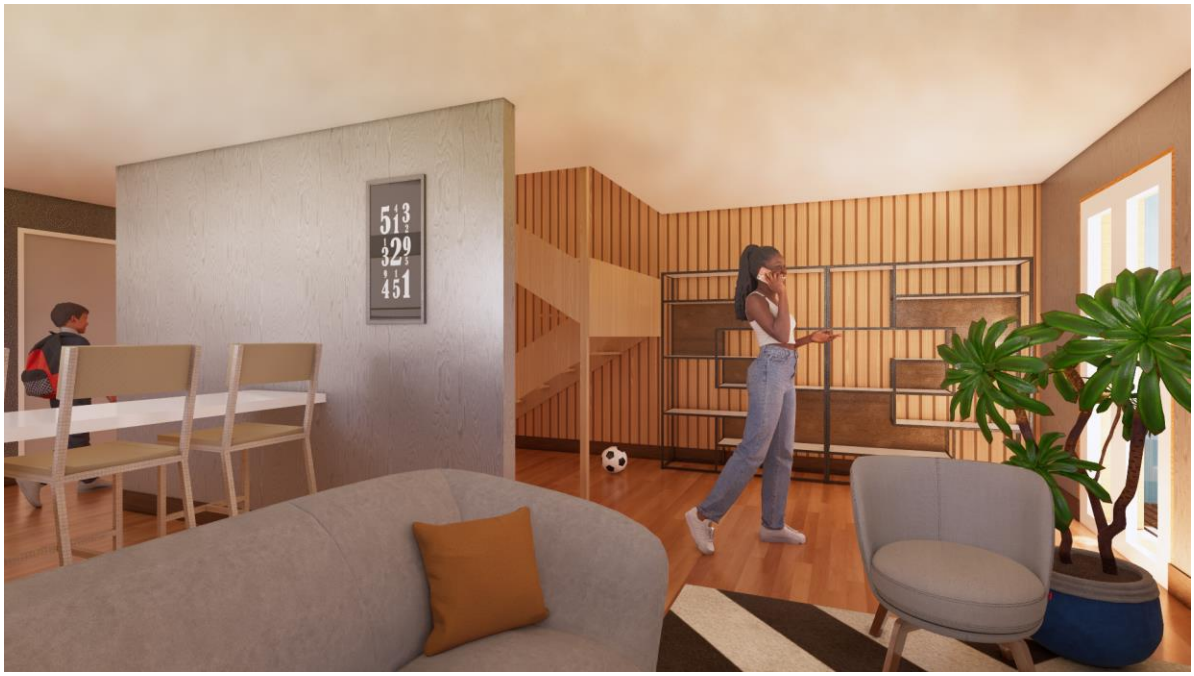


Imagen 117. Vistas internas apartamentos M8 y M12. Fuente: elaboración propia.

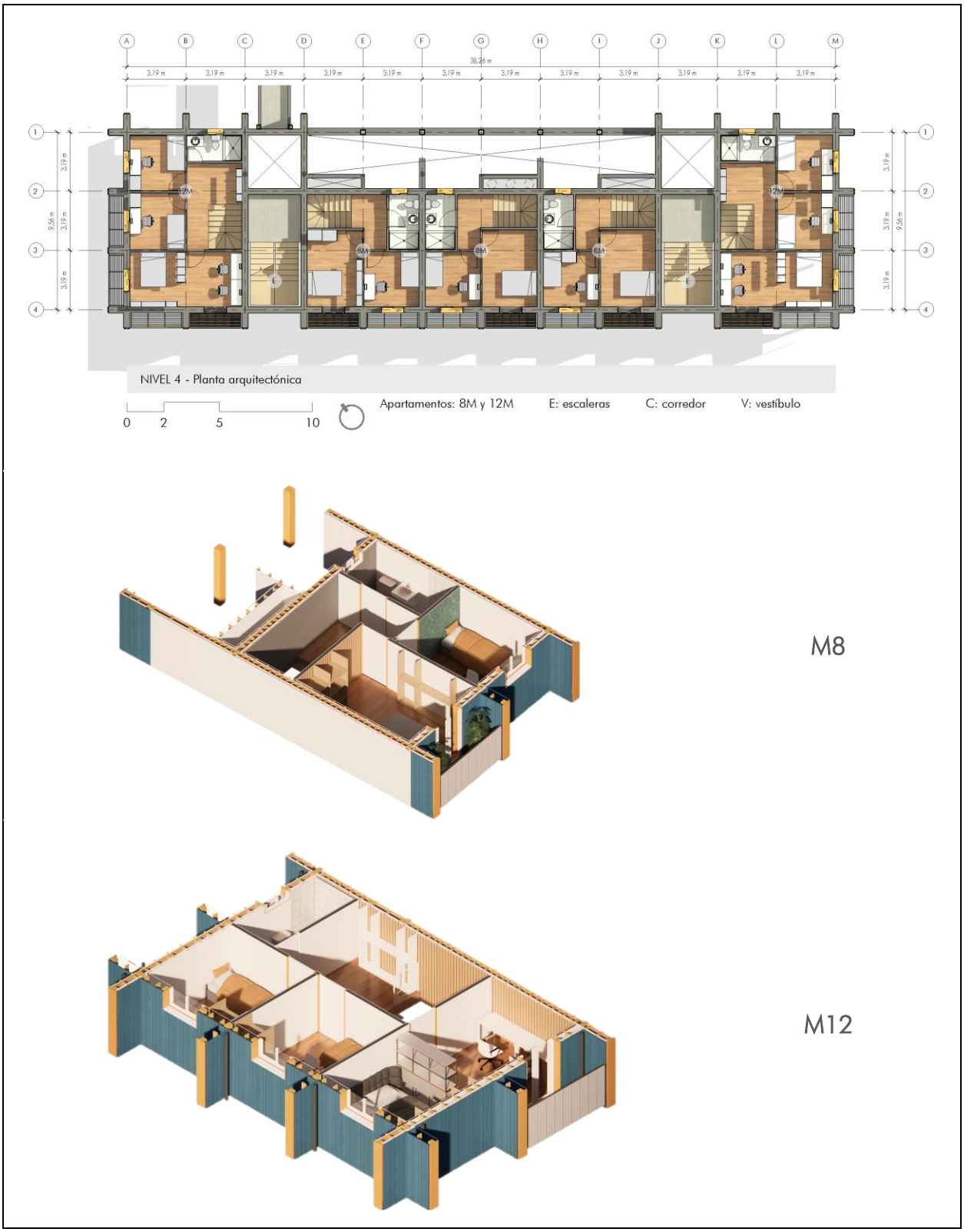


Imagen 118. Planta e isometría nivel 4. Fuente: elaboración propia.

M8 vista interna: habitación principal

M12 vista interna: habitación principal

Imagen 119. Vistas internas, habitación principal apartamentos M8 y M12. Fuente: elaboración propia.

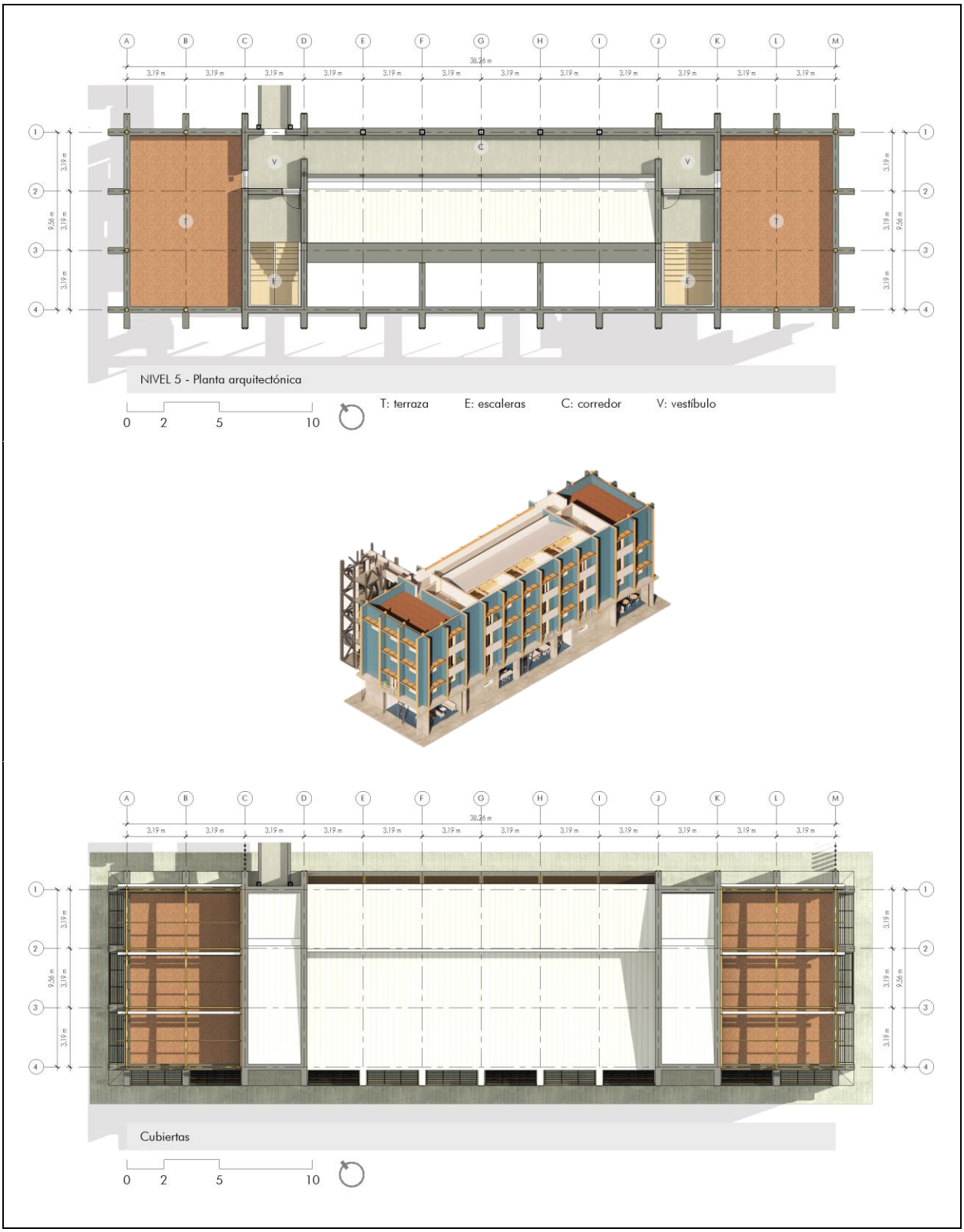


Imagen 120. Nivel 5 y cubierta. Fuente: elaboración propia.

Vista exterior de las terrazas

Vista exterior de las terrazas

Imagen 121. Vistas exteriores, terraza. Fuente: elaboración propia.

En la imagen 122 se puede observar que el lenguaje resultante responde a una volumetría uniforme con aberturas correspondientes a los espacios residenciales internos con un contraste generado por el cambio de uso en planta baja.

Imagen 122. Elevaciones y secciones edificio tipo. Fuente: elaboración propia.

En síntesis, la propuesta de edificio tipo, contiene las siguientes tipologías de apartamentos y áreas por componentes.

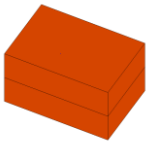
Tipología de apartamento		Cantidad	Total
M4		3	10
M6		2	
M8		3	
M12		2	

Imagen 123. Tipologías de apartamento del edificio tipo. Fuente: elaboración propia.

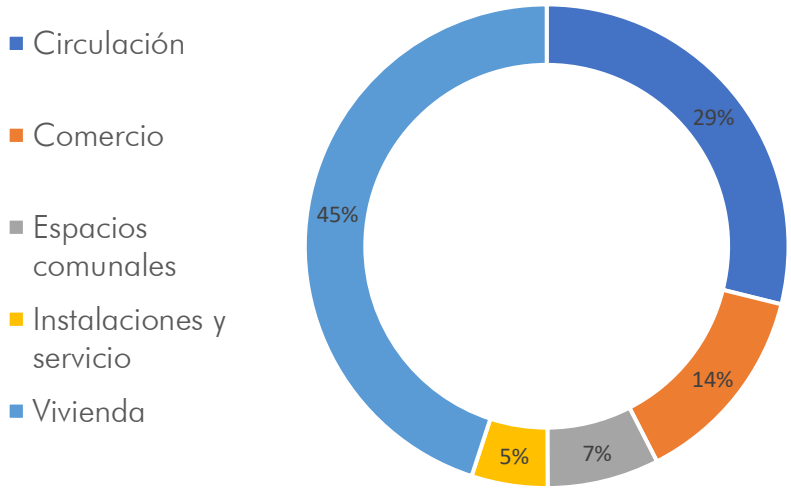


Imagen 124. Porcentaje de áreas por componentes del edificio tipo. Fuente: elaboración propia.

Los ductos verticales de instalaciones mecánicas y eléctricas se ubican a lo largo del corredor de circulación por cada nivel hasta la cubierta, en las siguientes imágenes se muestra la disposición de las instalaciones:

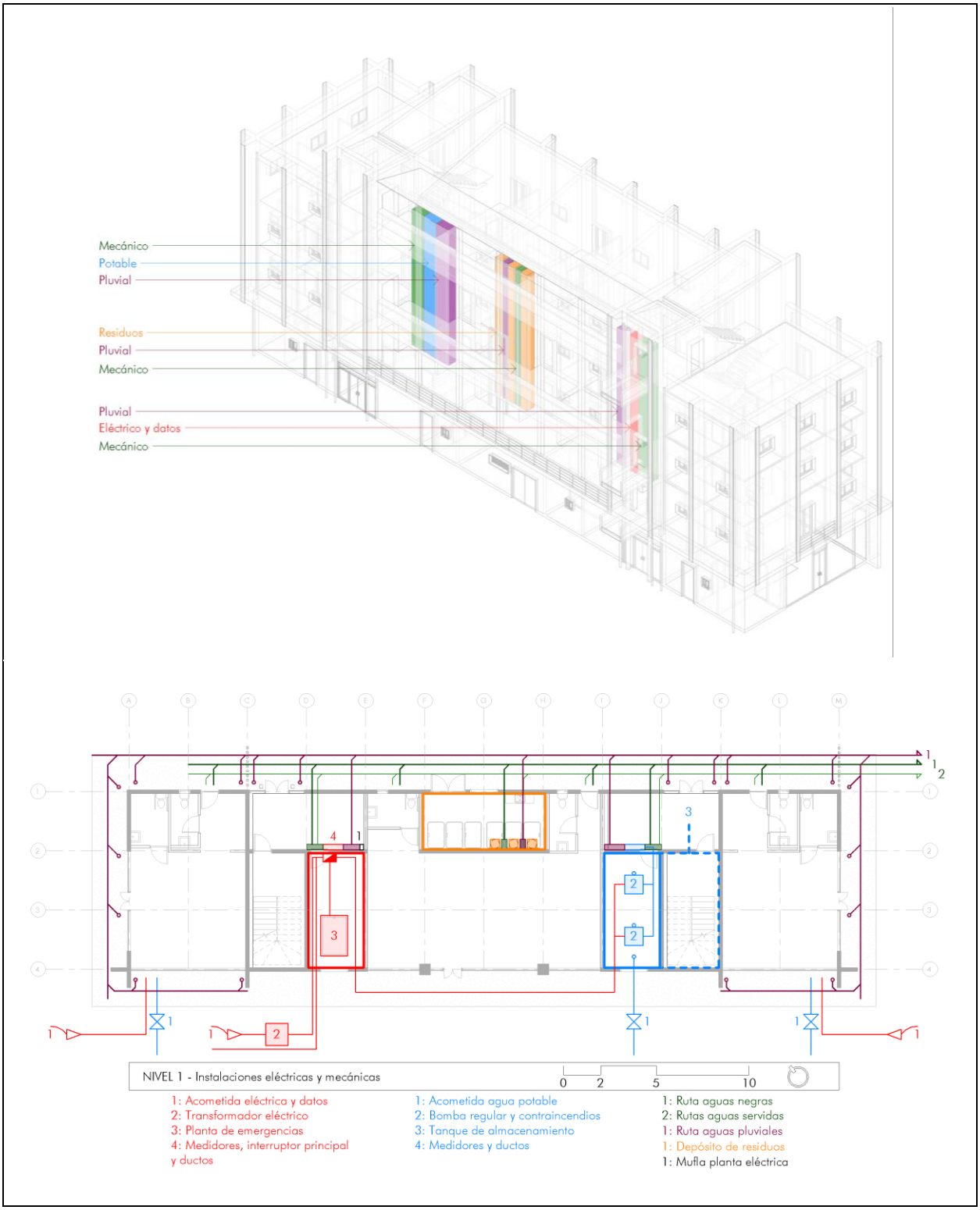


Imagen 125. Ductos y vías principales de instalaciones nivel 1. Fuente: elaboración propia.

Imagen 126. Vías principales de instalaciones nivel 2 y 4. Fuente: elaboración propia.

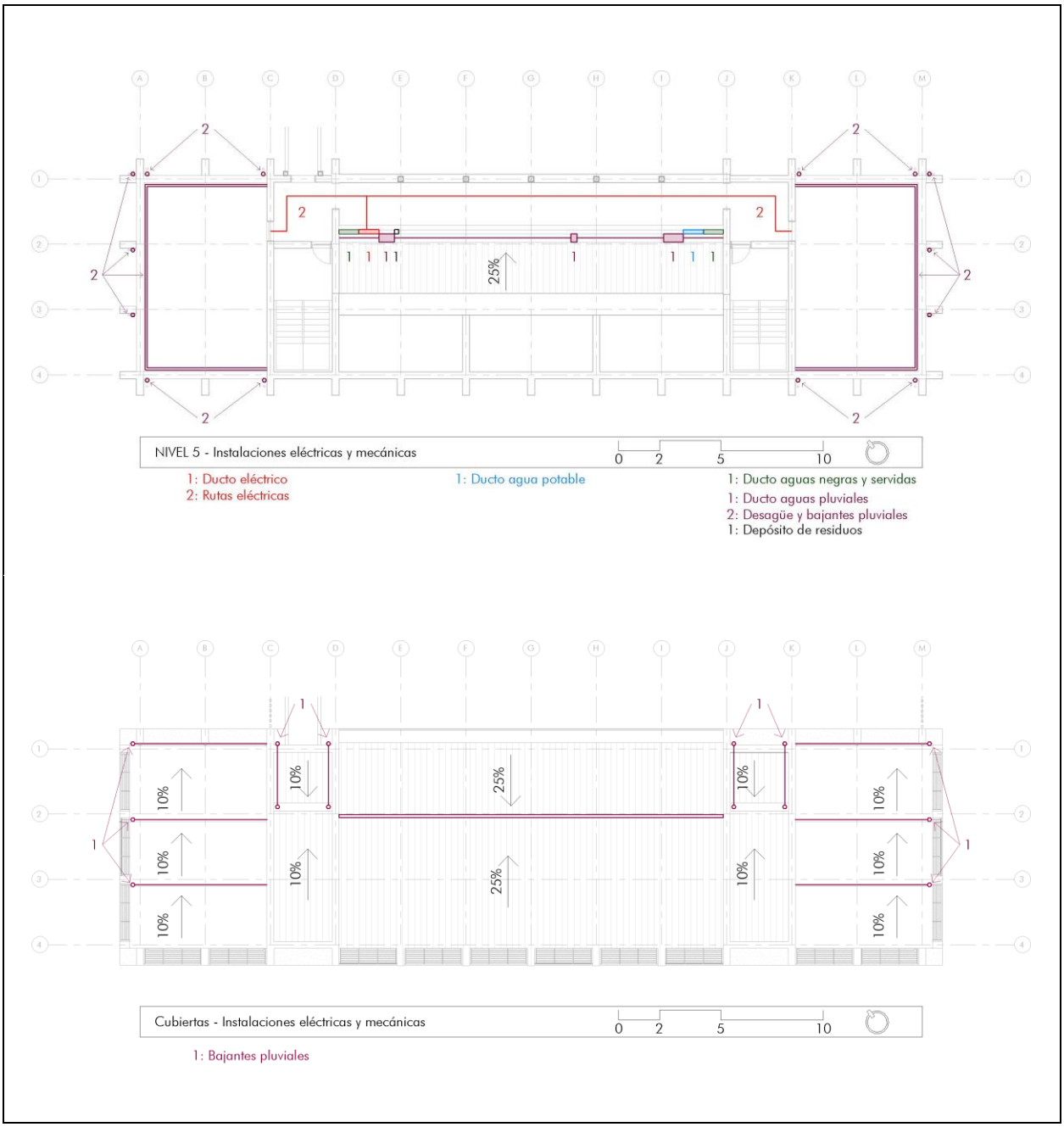


Imagen 127. Vías principales de instalaciones nivel 5 y cubierta. Fuente: elaboración propia.

El edificio tipo cuenta con dos núcleos verticales de circulación, estos medios de egreso configuran los recorridos de evacuación dispuestos a lo largo del corredor que conecta ambos medios de egreso.

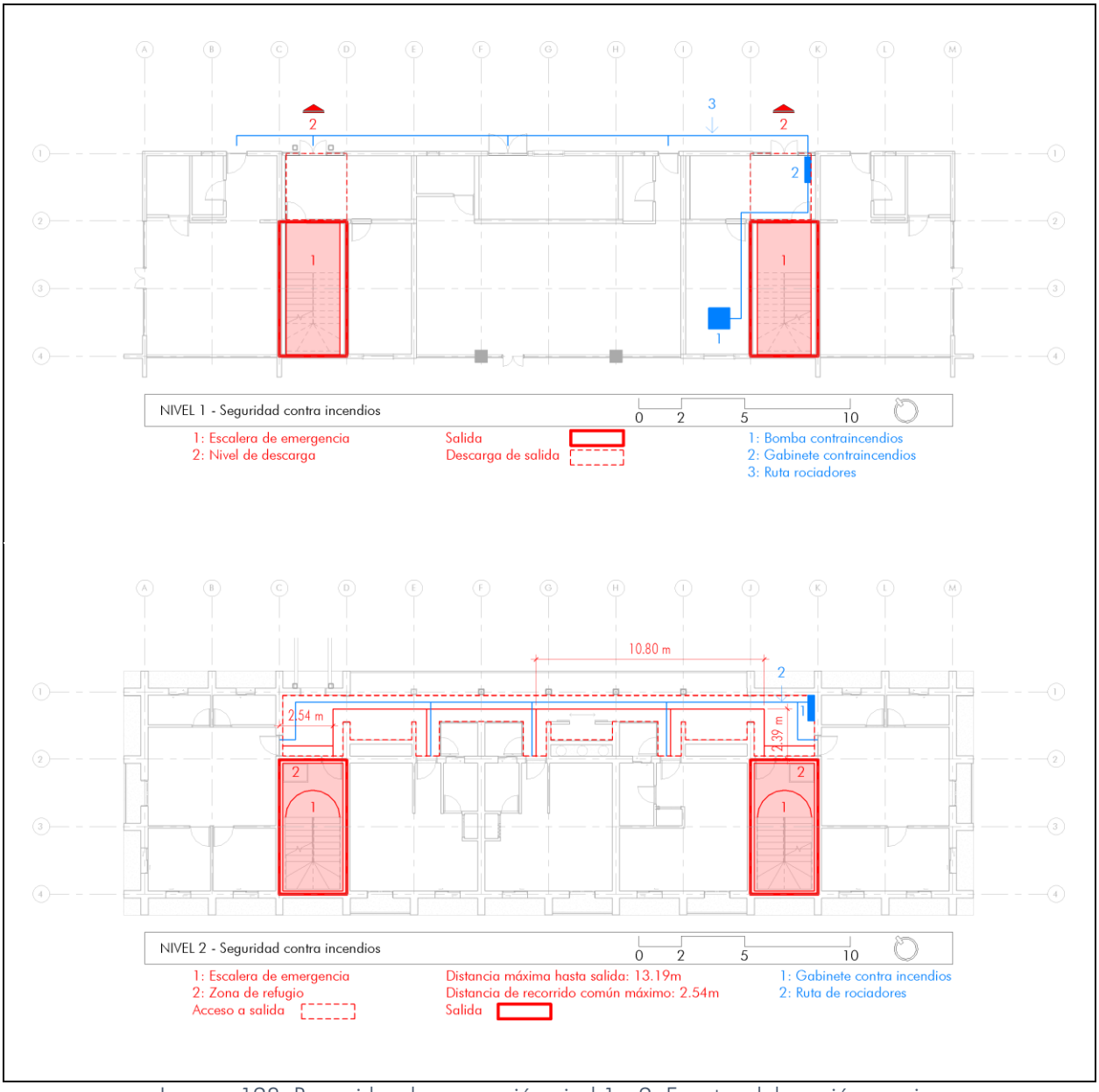


Imagen 128. Recorridos de evacuación nivel 1 y 2. Fuente: elaboración propia.

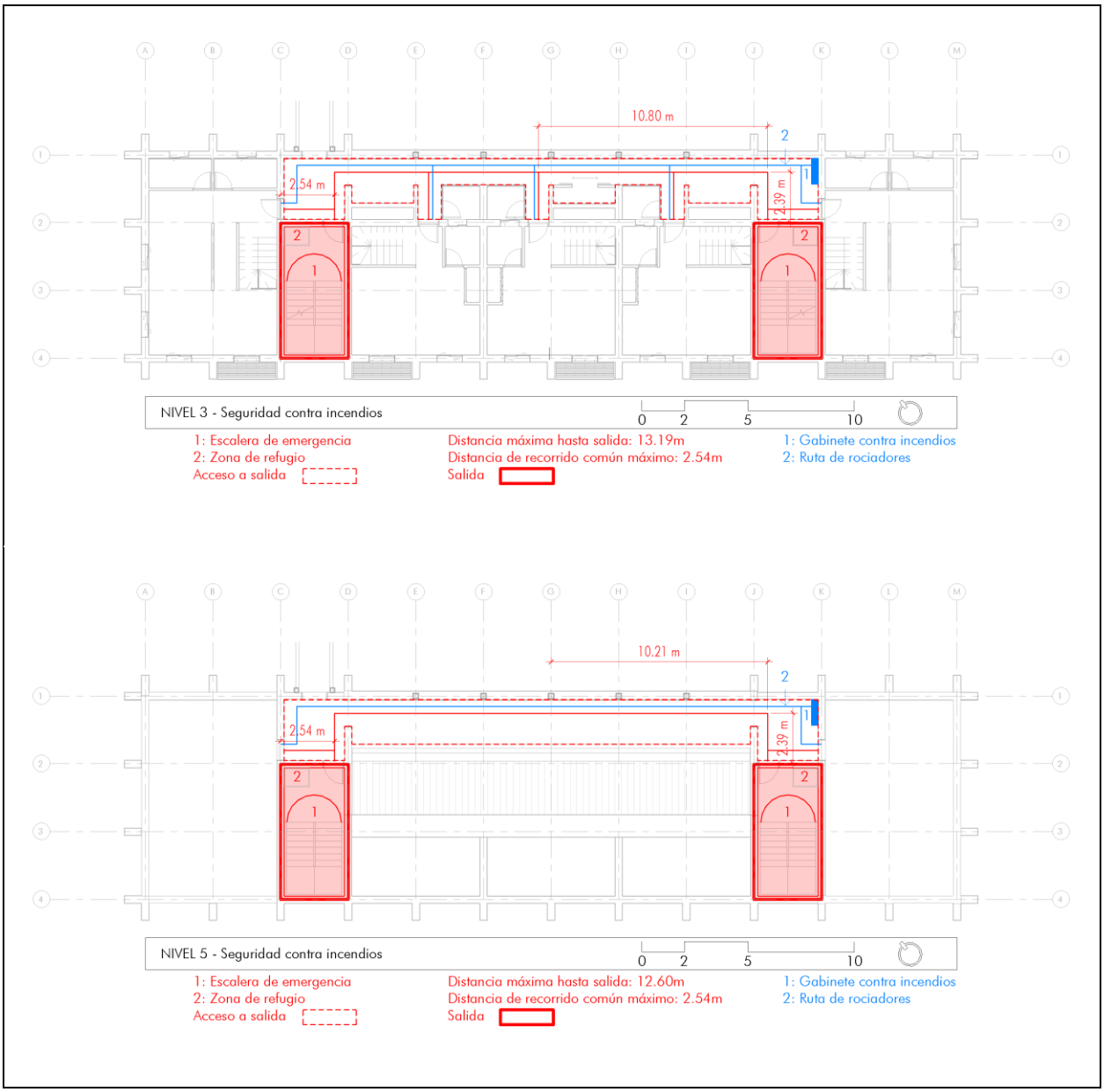


Imagen 129. Recorridos de evacuación nivel 3 y 5. Fuente: elaboración propia.

Verificaciones estructurales y técnicas

Requerimientos generales

La verificación estructural se realiza haciendo uso del software C+T desarrollado por la empresa Eligemadera, dicho software se basa en la normativa chilena NCh1198 para la verificación de elementos simples como vigas y columnas, los muros de corte se verifican siguiendo la normativa norteamericana SDPWS 2015.

Como una guía se procede a realizar una homologación con soluciones constructivas publicadas por el Ministerio de Vivienda y Urbanismo de Chile (MINVU), que cuentan con los respectivos ensayos que respaldan su desempeño, de esta forma se concreta un diseño homologado para cumplir con las exigencias normativas, que en este caso corresponde a la Ordenanza General de Urbanismo y Construcción (OGUC) de Chile. En la imagen 130 se describen 3 aspectos distintos que se consideraron en el diseño del edificio tipo.

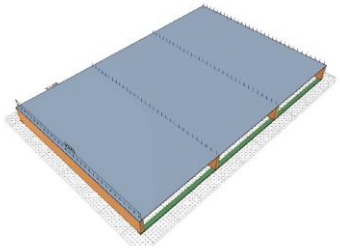
Metodología		
Diseño arquitectónico	Software C+T	Soluciones constructivas
		
A partir del diseño arquitectónico se obtienen las dimensiones y cargas necesarias para realizar el predimensionamiento de los elementos	Este software facilita la verificación estructural de cada elemento en madera	A partir de estas soluciones se realiza un diseño homologado para la propuesta de edificio tipo

Imagen 130. Metodología de diseño. Fuente: elaboración propia

Según cada elemento que compone el edificio se deben hacer distintas verificaciones:

Elemento		Diseño		
		Fuego	Acústico	Estructural
Vigas / entramado de piso		Si	Si	Si
Columnas		Si	No	Si
Muros	Exterior	Si	No	Si
	Divisorio	Si	Si	Si
	Caja de escaleras	Si	No	Si

Imagen 131. Requerimientos de distintos elementos estructurales en el edificio. Fuente: elaboración propia.

Exigencias OGUC para fuego:

Tipología del edificio	Superficie edificada	Número de pisos						
		1	2	3	4	5	6	7 o más
Habitacional	Cualquiera	d	d	c	c	b	a	a

Elementos de construcción									
Tipo	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)
a	F-180	F-120	F-120	F-120	F-120	F-30	F-60	F-120	F-60
b	F-150	F-120	F-90	F-90	F-90	F-15	F-30	F-90	F-60
c	F-120	F-90	F-60	F-60	F-60	-	F-15	F-60	F-30
d	F-120	F-60	F-60	F-60	F-30	-	-	F-30	F-15

Imagen 132. Resistencia al fuego según cada elemento constructivo. Fuente: OGUC

Elementos verticales

(1) Muros cortafuego.
(2) Muros zona vertical de seguridad y caja de escalera.
(3) Muros caja ascensores.
(4) Muros divisorios entre unidades (hasta la cubierta).
(5) Elementos soportantes verticales.
(6) Muros no soportantes y tabiques.

Elementos verticales y horizontales

(7) Escaleras.

Elementos horizontales

(8) Elementos soportantes horizontales.
(9) Techumbre incluido cielo falso.

Exigencias OGUC acústicas:

Para la verificación acústica la OGUC indica que los distintos elementos constructivos que dividan o separen las unidades deben cumplir con las siguientes características:

1. Los elementos constructivos horizontales o inclinados, tales como pisos y rampas, deberán tener un índice de reducción acústica mínima de 45dB(A) y presentar un nivel de presión acústica de impacto normalizado máximo de 75dB.
2. Los elementos constructivos verticales o inclinados que sirvan de muros divisorios o medianeros deberán tener un índice de reducción acústica mínima de 45dB(A).

Exigencias de cargas:

Para edificaciones de entramado ligero se puede considerar las siguientes cargas típicas:

Cargas muertas (kg/m^2)	Cargas vivas (kg/m^2)
CM_{techo}=60	Lr=100
CM_{piso}=150	L=200

Imagen 133. Cargas estructurales para edificios en entramado ligero. Fuente: Manual de Diseño de Estructuras en Madera (Montaño y otros, 2021)

Los valores anteriores constituyen una consideración conservadora para realizar un prediseño de las vigas de entrepiso y columnas. Sin embargo, para la verificación de los muros de corte y sus pies derechos debe considerarse la geometría del edificio, y en ese sentido se determinará el muro de corte más solicitado, el cual pertenecerá al primer nivel de la estructura en entramado ligero. Por lo anterior debe calcularse cuanta será la descarga de los pisos superiores hacia los elementos del primer piso.

Considerando que la estructura de entramado ligero tiene 3 entrepisos habitables más la cubierta, debe multiplicarse por tres la carga muerta de piso y sobrecarga de uso. Asimismo, debe considerarse el efecto de una carga lateral para la verificación de los muros de corte de 70kg/m2, según la normativa de viento NCh433.

En resumen, la siguiente imagen sintetiza los requerimientos anteriormente planteados:

Elemento		Diseño		
		Fuego	Acústico	Estructural
Vigas/entramados de entrepiso		F-60	Mínimo 45(A) dB Máximo 75 dB	D=150 kg/m2 L=200 kg/m2 Lr= 100 kg/m2
Columnas		F-60	No	D=150 kg/m2 L=200 kg/m2 Lr= 100 kg/m2
Muros	Exterior	F-60	No	D=510kg/m2 L= 600 kg/m2 Lr= 100 kg/m2 W= 70 kg/m2
	Divisorio	F-60	Mínimo 45(A) dB	
	Caja de escaleras	F-90	No	

Imagen 134. Requerimientos generales acústicos, estructurales y de resistencia al fuego. Fuente: OGUC.

Verificación de columnas

A lo largo de los corredores se propone una serie de columnas que soportan las cargas de los entrepisos, en el caso de la columna en el segundo nivel se puede observar que recibe las cargas de dos niveles superiores más la estructura de techo. Con las cargas anteriormente descritas y el área tributaria correspondiente se realiza la iteración con el software C+T.

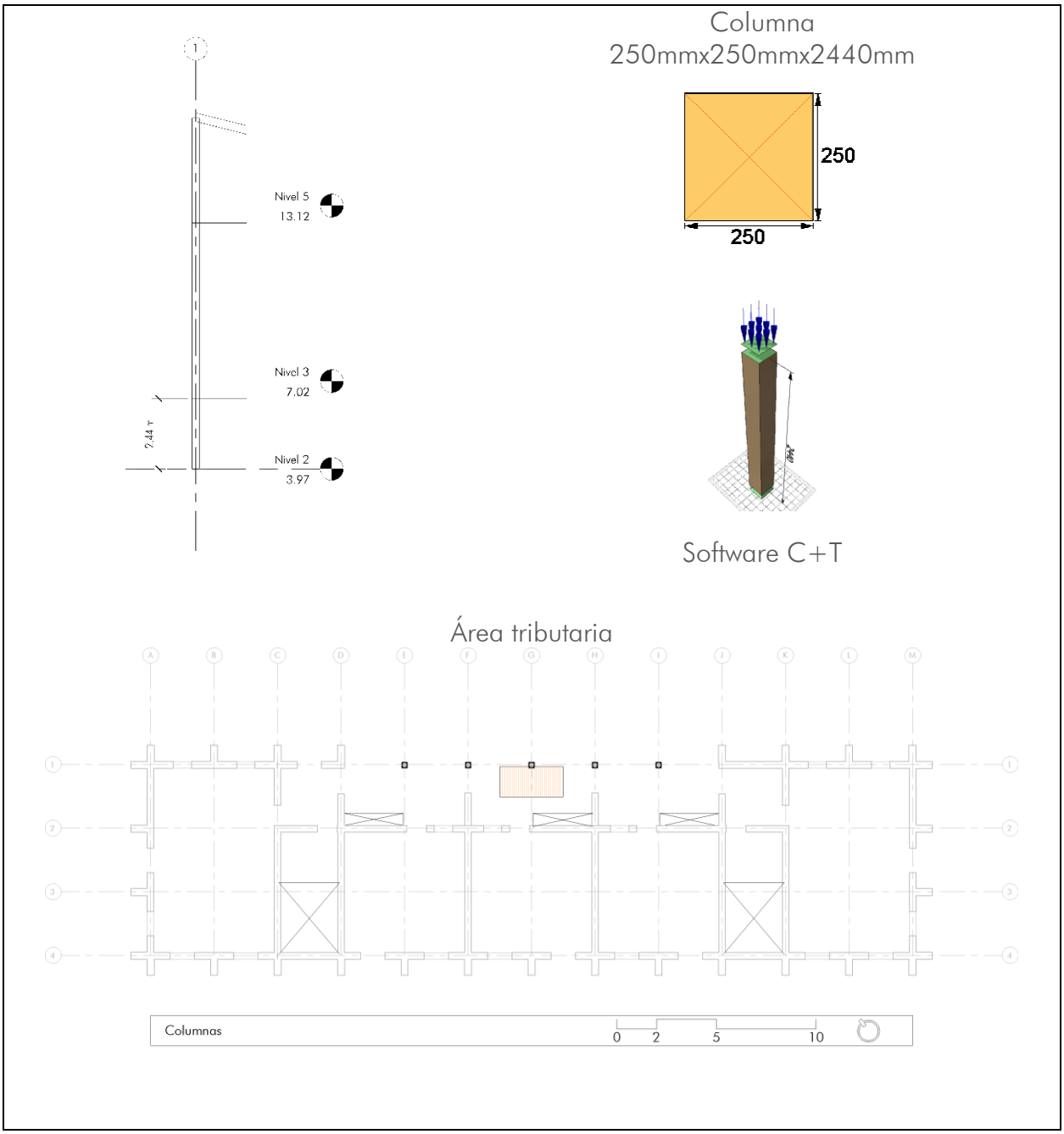


Imagen 135. Verificación columna. Fuente: elaboración propia.

Al predimensionar la columna con una sección cuadrada de 250mm de lado se obtiene un porcentaje de utilización de solo 9%, este resultado sobrepasa holgadamente los requerimientos, sin embargo, es prudente esta dimensión considerando que parte de la madera quedará expuesta, lo que conlleva un sobredimensionamiento como medida contraincendio. El informe estructural completo de la columna se puede observar en la sección de anexos.

Verificación de vigas y entramado de piso

La verificación estructural se hace para las vigas y viguetas de entrepiso señaladas en la siguiente imagen, dichos elementos horizontales son los que reciben más carga.

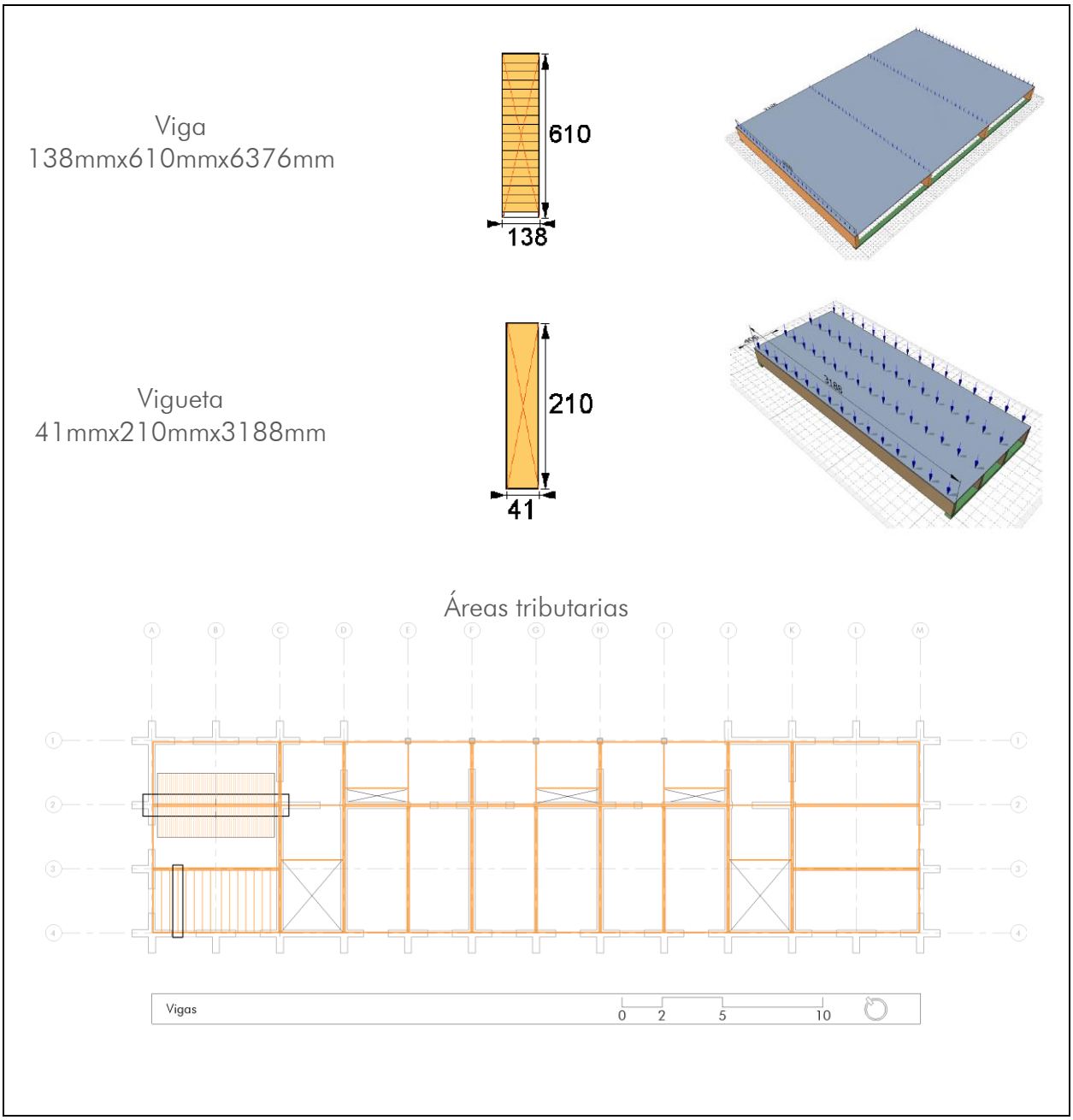
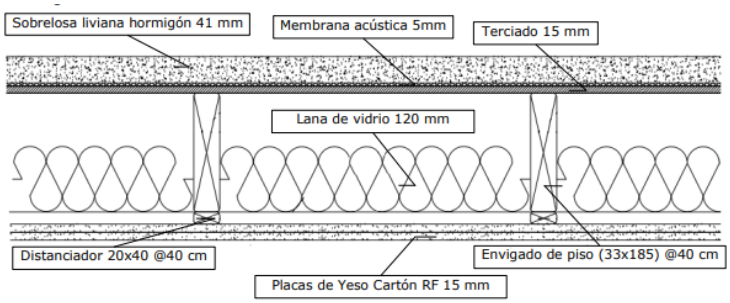


Imagen 136. Verificación de vigas y viguetas

Para la viga principal de entrepiso es necesario realizar un diseño en madera laminada debido a la luz que debe cubrir; este elemento verifica correctamente con una sección de 138mmx610mm. Por otro lado, la vigueta verifica correctamente con una sección de

41mmx210mm. En la sección de anexos se puede encontrar el informe estructural de cada elemento.

Para cumplir con los requerimientos acústicos del entrepiso se realiza un diseño homologado con la siguiente solución constructiva que cuenta con la aprobación de los requisitos anteriormente descritos. También es preciso señalar que este mismo ensamble tiene catalogada una resistencia al fuego de F60.

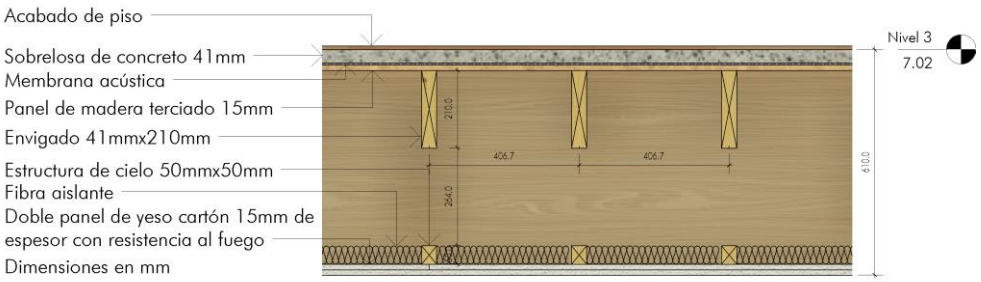


Descripción

Envigado de piso estructural de pino de 33x185, en su cara inferior atornillado a la estructura con doble placa de yeso cartón Gyplac RF de 15 mm., separados de la estructura por un distanciador de pino de 20x41. En su cara superior se instala una placa de madera terciada de 15 mm y un sistema compuesto por una membrana acústica de gránulos de caucho de 5 mm y una sobrelosa de hormigón liviano de 41 mm. El interior de la estructura incorpora lana de vidrio Romeral rollo libre de 120 mm de espesor y factor R100 de 282.

Imagen 137: Solución de entrepiso con requerimientos acústicos. Fuente: Laboratorio CPIA

Detalle



Así como el ensamble de entrepiso anterior, en esta propuesta se utiliza una sobrelosa de 41mm sobre placas de madera terciadas de 15 mm. El envigado se propone de acuerdo con el predimensionamiento de 41mmx210mm, y en este caso se deja un espacio vacío para el paso de instalaciones entre el envigado y la estructura soportante del cielo, que se compone de doble panel de yeso cartón resistente al fuego.

Imagen 138. Propuesta de entrepiso. Fuente: elaboración propia.

Verificación de los muros

De acuerdo con la distribución del envigado de piso se van a determinar las cargas tributarias correspondientes a cada muro:

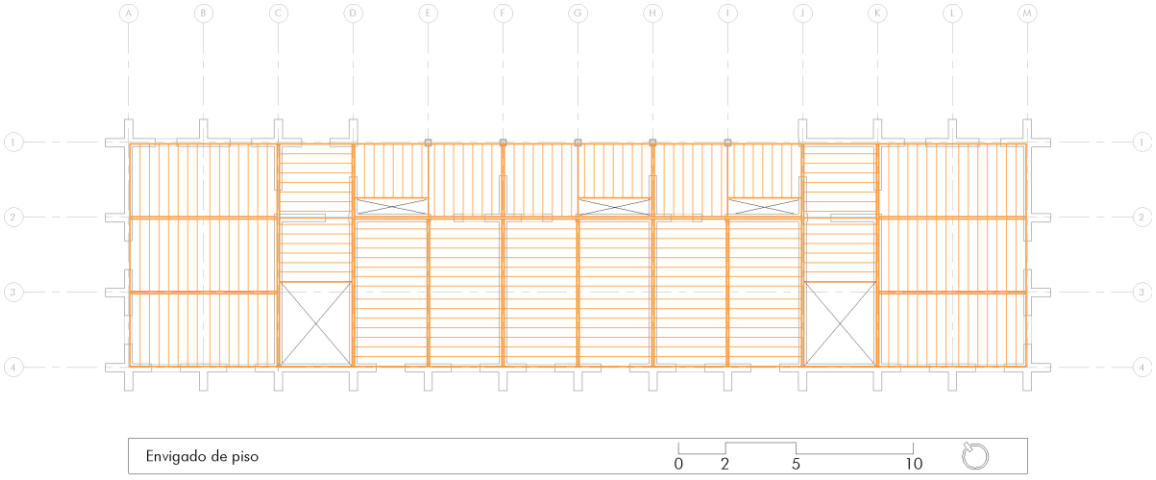


Imagen 139. Envigado de piso. Fuente: elaboración propia.

La siguiente imagen muestra la disposición de los distintos muros estructurales del primer nivel de la estructura en entramado ligero.

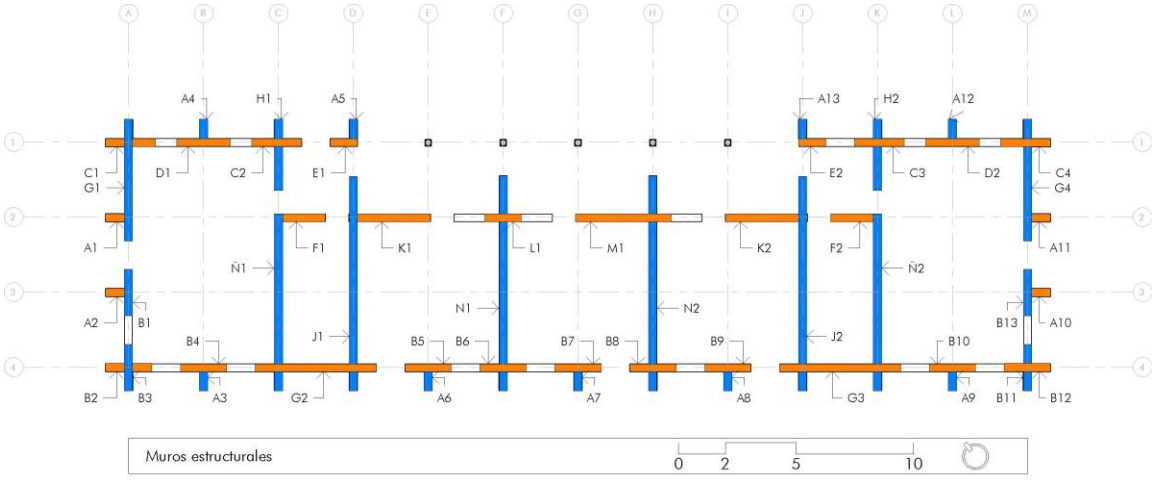


Imagen 140. Disposición de muros estructurales en dirección X-X y Y-Y. Fuente: elaboración propia.

Para determinar cuál muro está siendo más solicitado debe averiguarse cual recibe una mayor carga tributaria, en las siguientes imágenes se muestran las cargas tributarias respectivas para cada muro estructural en dirección X-X y Y-Y.

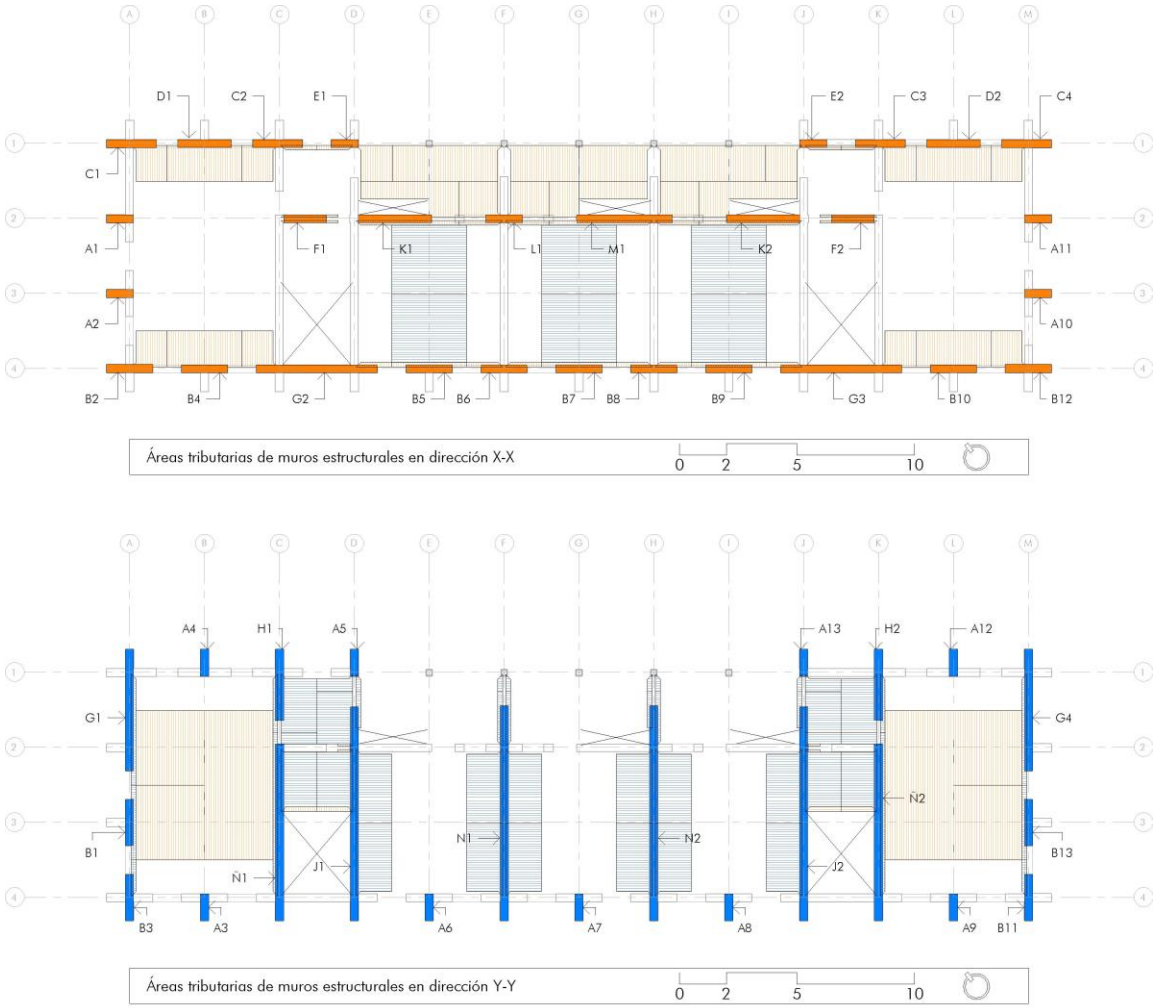


Imagen 141. Áreas tributarias para cada muro estructural según la dirección X-X o Y-Y. Fuente: elaboración propia.

En la siguiente tabla se describe el largo y alto de los muros en relación con las cargas tributarias respectivas con el fin de determinar cual tiene una relación entre longitud y área tributaria más crítica.

Así se determina que los muros B5, B7, B9, B1 y B13 son los más solicitados.

Área tributaria de muros estructurales en dirección X-X Nivel 2					
Muro	Altura (m) h	Largo (m) l	Rel. h/l	Área tributaria (m2) At	Rel. L/At
A1	2,135	1,14	0.53	0	-
A2	2,135	1,14	0.53	0	-
A10	2,135	1,14	0.53	0	-
A11	2,135	1,14	0.53	0	-
B2	2,135	1,97	0.92	2.03	1,03
B4	2,135	1,97	0.92	4.86	2,56
B5	2,135	1,97	0.92	9,93	5,04
B6	2,135	1,97	0.92	0,56	0,28
B7	2,135	1,97	0.92	9,93	5,04
B8	2,135	1,97	0.92	0,56	0,28
B9	2,135	1,97	0.92	9,93	5,04
B10	2,135	1,97	0.92	4,86	2,46
B12	2,135	1,97	0.92	2,03	1,03
C1	2,135	2,12	0.99	2,03	0,95
C2	2,135	2,12	0.99	2.31	1,08
C3	2,135	2,12	0.99	2,31	1,08
C4	2,135	2,12	0.99	2,03	0,95
D1	2,135	2,27	1.06	4,86	2,14
D2	2,135	2,27	0.99	4,86	2,14
E1	2,135	1,16	0.54	2,36	2,03
E2	2,135	1,16	0.54	2,36	2,03
F1	2,135	2,17	1.01	0,48	0,22
F2	2,135	2,17	1.01	0,48	0,22
G2	2,135	5,16	2.41	2,31	0,44
G3	2,135	5,16	2.41	2,31	0,44
K1	2,135	3,46	1.62	10,15	2,93
K2	2,135	3,46	1.62	10,15	2,93
L1	2,135	1,55	0.72	5,8	3,74
M1	2,135	4,06	1.9	10,15	2,5

Área tributaria de muros estructurales en dirección Y-Y Nivel 2					
Muro	Altura (m)	Largo (m)	Rel. h/l	Área tributaria (m2)	Rel. L/At
A3	2,135	1,14	0.53	0	-
A4	2,135	1,14	0.53	0	-
A5	2,135	1,14	0.53	0.94	0,82
A6	2,135	1,14	0.53	0	-
A7	2,135	1,14	0.53	0	-
A8	2,135	1,14	0.53	0	-
A9	2,135	1,14	0.53	0	-
A12	2,135	1,14	0.53	0	-
A13	2,135	1,14	0.53	0,94	0,82
B1	2,135	1,97	0.92	9,93	5,04
B3	2,135	1,97	0.92	0,28	0,14
B11	2,135	1,97	0.92	0,28	0,14
B13	2,135	1,97	0.92	9,93	5,04
G1	2,135	5,16	2.41	10,22	1,98
G4	2,135	5,16	2.41	10,22	1,98
H1	2,135	3,01	1.41	3,92	1,30
H2	2,135	3,01	1,41	3,92	1,30
J1	2,135	9,1	4.26	16,61	1,82
J2	2,135	9,1	4.26	16.61	1,82
N1	2,135	9,15	4,28	9,82	1,07
N2	2,135	9,15	4,28	9,82	1,07
Ñ1	2,135	7,53	3,52	5,29	0,70
Ñ2	2,135	7,53	3,52	5,29	0.70

Imagen 142. Área tributaria sobre cada muro estructural y su relación con el largo. Fuente: elaboración propia.

Para proceder con la verificación de estos muros se selecciona el B1 como ejemplo, y en primer lugar se debe verificar la capacidad de sus pies derechos.

Con el uso del software C+T y la información de las tablas 143 y 144 se empieza a iterar hasta obtener una solución de pie derecho apto para el diseño planteado.

Nivel	Diseño gravitacional	
	Escuadría recomendada de PPDD	Espaciamiento (mm)
1	2x6	400
2	2x6	400
3	2x4	400
4	2x4	400

Imagen 143. Sugerencia de prediseño de los PPDD intermedios de muros para edificios de 4 pisos. Fuente: Manual de Diseño de Estructuras en Madera (Montaño y otros, 2021)

Piso	Diseño sísmico			
	Cantidad de tableros OSB	Espaciamiento de clavos en perímetro del tablero (mm)	Número de PPDD de borde	Modelo de HD
1	2	50	6	HD19
2	2	100	4	HD12
3	1	50	4	HD9B
4	1	100	3	HD5B

Imagen 144. Sugerencia de prediseño de muros de corte y anclajes HD para edificios de 4 pisos. Fuente: Manual de Diseño de Estructuras en Madera (Montaño y otros, 2021)

Para ingresar los datos al software C+T deben calcularse las cargas puntuales sobre cada pie derecho de acuerdo con el área que tributa el muro por el espaciamiento que tiene cada pie derecho, siendo el largo del muro 1,97 m, debería contener al menos 5 pies derechos si se distancian a 400mm. Sin embargo, luego de iterar, se obtiene que el pie derecho debe ser de 41mmx138mm distanciado a 320mm

Determinación de cargas laterales

Para el cálculo de estas cargas sísmicas se utiliza el Método Estático Equivalente de la normativa NCh433, dicho método se calcula a partir de un corte basal que se compone de la siguiente multiplicación:

$$Q_0 = C * I * P$$

Donde:

C: coeficiente sísmico

I: coeficiente de importancia

P: peso sísmico total del edificio

El coeficiente sísmico se puede obtener a partir de la siguiente tabla en la normativa:

R	C
2	0,90 SA_0/g
3	0,60 SA_0/g
4	0,55 SA_0/g
5,5	**0,40 SA_0/g**
6	0,35 SA_0/g
7	0,35 SA_0/g

Donde R corresponde a un factor de modificación de la respuesta asociado a cada sistema constructivo, en este caso el sistema de entramado ligero en madera corresponde a 5,5. Entonces el coeficiente sísmico se calcularía de la siguiente forma:

$$C = \frac{0{,}40 * SA_0}{g}$$

Donde:

S: depende de la calidad del suelo según la siguiente tabla.

Tipo de suelo	S
A	0,90
B	1,00
C	1,05
D	1,20
E	1,30

Como se está haciendo un prediseño en condiciones conservadoras se utiliza el tipo de suelo menos favorable correspondiente al tipo E.

A_0: es la aceleración efectiva máxima del suelo de acuerdo con la zona sísmica:

Zona sísmica	A_0
1	0,20 g
2	0,30 g
3	0,40 g

g: es la aceleración de gravedad

Así se obtiene que C es igual a:

$$C = \frac{0{,}40 * 1{,}3 * 0{,}40 * g}{g}$$

$$C = 0{,}21$$

El coeficiente de importancia *I* se obtiene por medio de la normativa sísmica de acuerdo con la categoría del edificio:

Categoría	I
I	0,6
II	1,0
III	1,2
IV	1,2

El uso habitacional corresponde a la categoría II, por lo que I es igual a 1,0.

Finalmente, para calcular el peso sísmico según la normativa NCh433 se utiliza la siguiente fórmula para estructuras que frecuentemente no tienen aglomeraciones:

$$P = (Pp + D) + 0{,}25(L + Lr)$$

Donde:

Pp: peso propio

D: carga muerta

L: sobrecarga de piso

Lr: sobrecarga de techo

A continuación, se describe un esquema que muestra las cargas sobre el muro B1, en el cual la carga muerta D corresponde a CMpiso, CMtecho y el peso propio del muro Pp.

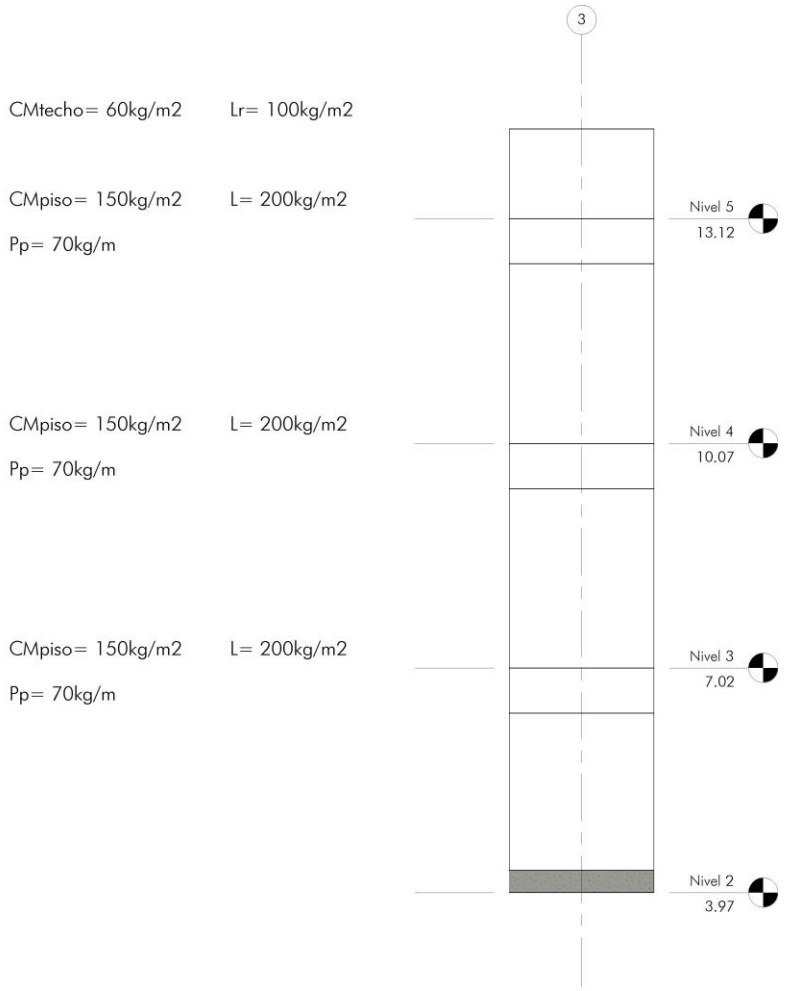


Imagen 145. Cargas estructurales sobre el muro B1. Fuente: elaboración propia.

$$P = (413{,}7 + 5062{,}8) + 0{,}25(5958 + 993)$$

$$P = 7213{,}75$$

Con este último valor se calcula el corte basal correspondiente la muro B1:

$$Q_0 = 0{,}21 * 1{,}0 * 7213{,}75$$

$$Q_0 = 1514{,}88\ kg$$

Para distribuir el corte basal en los distintos niveles se utiliza la siguiente ecuación, que es una ponderación para las diferentes alturas de los niveles del edificio:

$$F_k = \frac{A_k * P_k}{\sum_{J=I}^{N} A_j * P_j} * Q_0$$

Donde:

A_k se calcula con la siguiente expresión:

$$A_k = \sqrt{1 - \frac{Z_{k-1}}{h}} - \sqrt{1 - \frac{Z_k}{h}}$$

En la cual *h* es igual a la altura total en la que se reparte el corte basal, y Z_k corresponde a la altura del piso en estudio y Z_{K-1} es la altura del piso anterior. Así se obtienen los siguientes valores: A_4=0,50, A_3=0,20, A_2=0,15 y A_1=0,13

El P_k corresponde al peso sísmico de cada piso que se calcula con la ecuación descrita anteriormente, se reemplazan los valores de cada nivel y se obtienen los siguientes pesos sísmicos: P_1=2122,9, P_2=2122,9, P_3=2122,9, P_4=620,8

Una vez con estos datos calculados se puede proceder con la siguiente sumatoria:

$$\sum_{j=1}^{N} A_j * P_j = 1329{,}39kg$$

Con este último dato ya se pueden reemplazar los valores que no dependen de cada piso, que son el corte basal y la sumatoria:

$$F_k = \frac{A_k * P_k}{1329{,}39kg} * 1514{,}88kg$$

En la imagen 146 se muestran los valores de A y P para cada nivel:

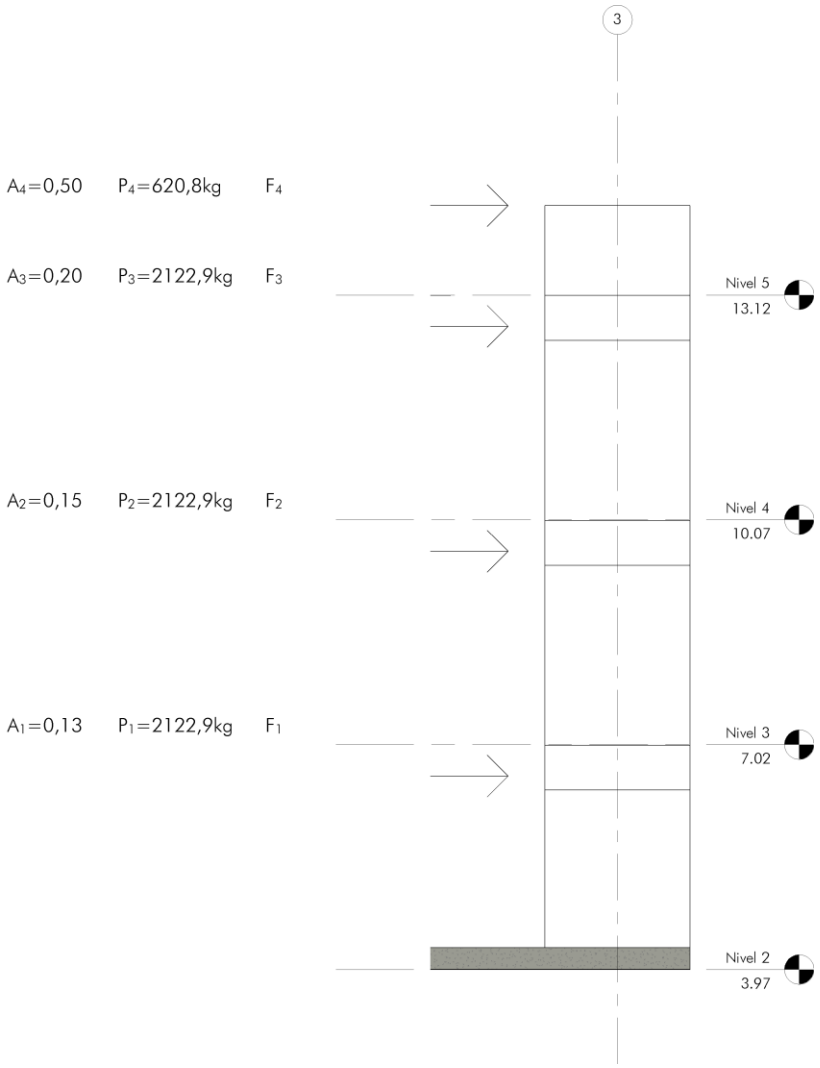


Imagen 146. Peso sísmico para cada nivel sobre el muro B1. Fuente: elaboración propia.

Reemplazando los valores para cada piso se obtienen las fuerzas sísmicas laterales: F_4=353,7 kg, F_2=483,82 kg, F_3=362,86 kg y F_1=314,48 kg

Verificación muro de corte

Para iniciar con la verificación del muro debe averiguarse primeramente los esfuerzos de corte y momento, como se muestra en la imagen 147, el corte se obtiene directamente de la fuerza sísmica lateral de manera acumulativa para cada nivel asociado; por otro lado, de manera similar el momento sobre cada nivel se obtiene por medio de la multiplicación de la altura del nivel por el esfuerzo de corte correspondiente más el momento del nivel por encima.

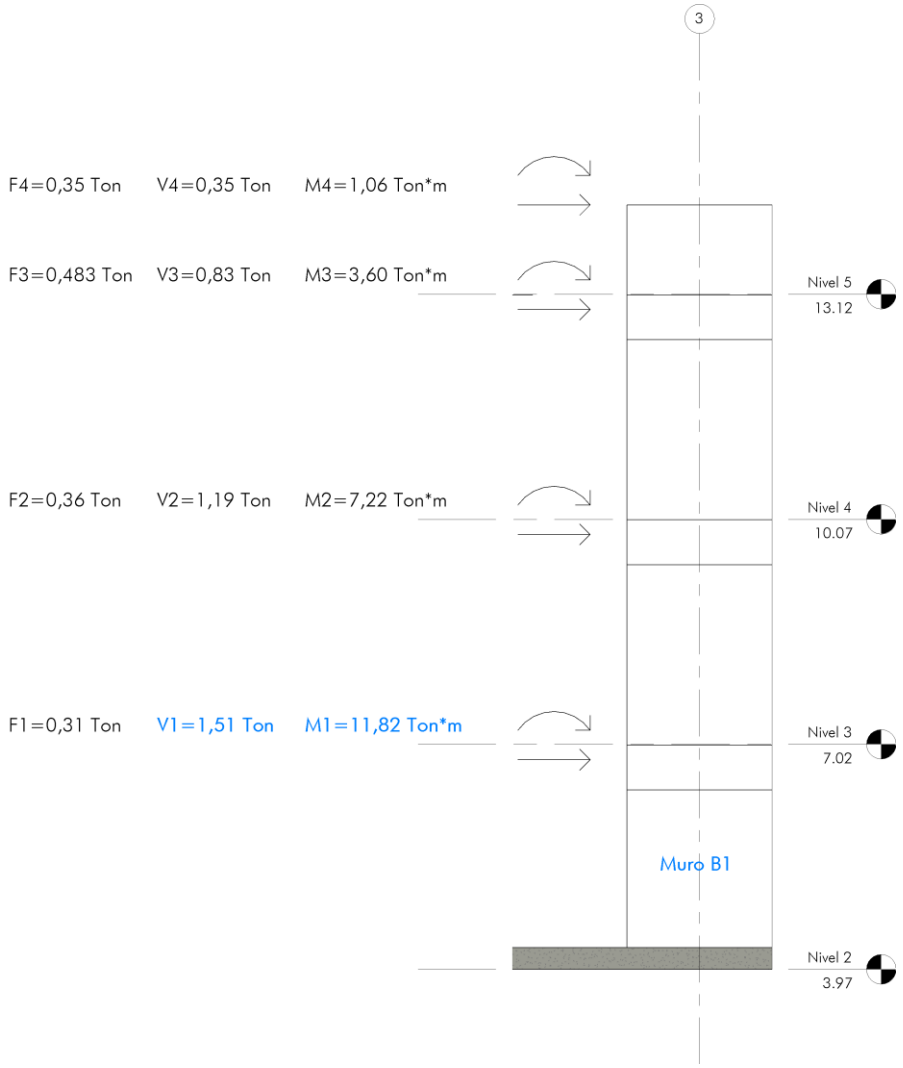
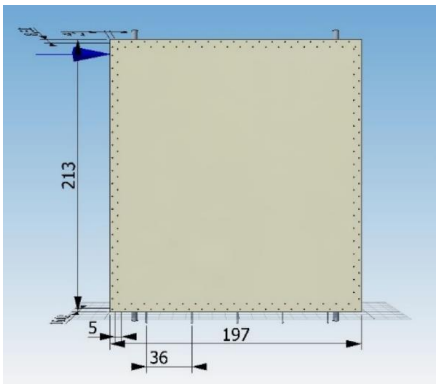
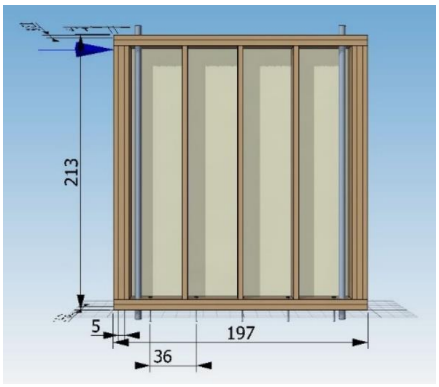


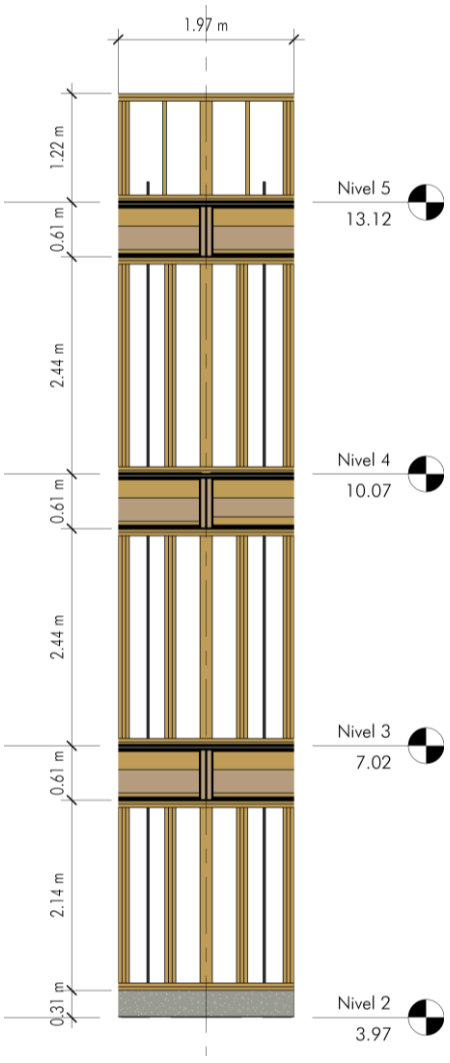
Imagen 147. Esfuerzos de corte y momento sobre el muro B1. Fuente: elaboración propia.

Así se determina que, para el muro más solicitado, que es el B1, existe un esfuerzo de corte de V=1,51 Ton y de momento M=11,82 Ton*m. Con estos datos se inicia la iteración con el software C+T para determinar la solución estructural del muro, en la siguiente tabla se describe el resultado:





Muro	Tableros OSB		Clavos		Escuadría	Pies derechos Pino Radiata			Soleras	ATS
	Cant.	Espesor (mm)	Tipo	Separación (mm)	bxh (mm)	Grado estructural	Cant.PPDD de borde	Separación (mm)	Cant.	
B1	2	11,1	8d	5	41x138	GS	3	300	4	1"



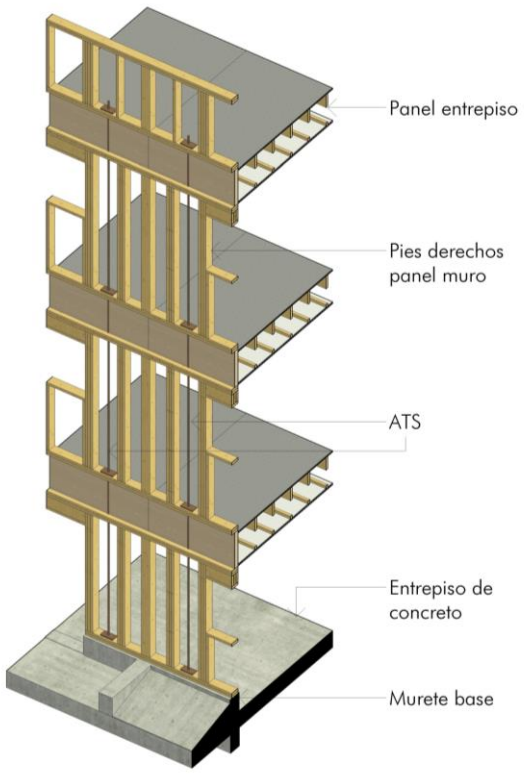


Imagen 148. Especificaciones del muro de corte B1 según software C+T. Fuente: elaboración propia.

Tipos de muros

Luego de verificar estructuralmente el muro más cargado es preciso distinguir distintos tipos de ensambles de acuerdo con la ubicación del muro dentro del edificio, ya que los requerimientos acústicos, cortafuego e higrotérmicos serán distintos. En la siguiente imagen se muestra una clasificación de los muros según sean perimetrales y de fachada, muros divisorios entre unidades residenciales y los muros que delimitan la circulación vertical del medio de egreso. En las siguientes páginas también se describe la solución de ensamble propuesto basada en un ensamble verificado con ensayos de laboratorio.

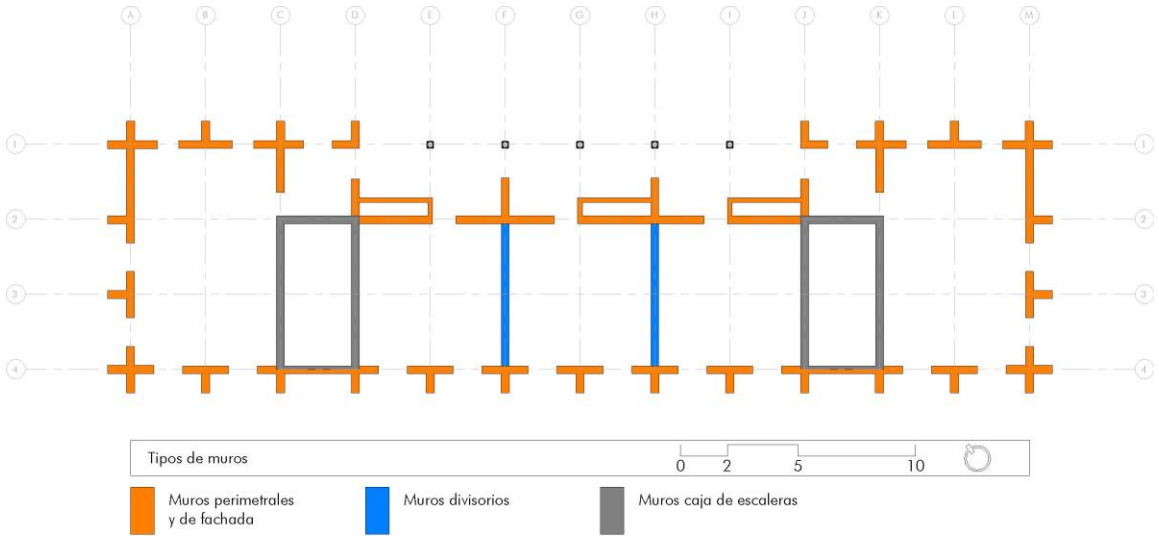


Imagen 149. Clasificación de los muros según distinto tipo de ensamble requerido. Fuente: elaboración propia.

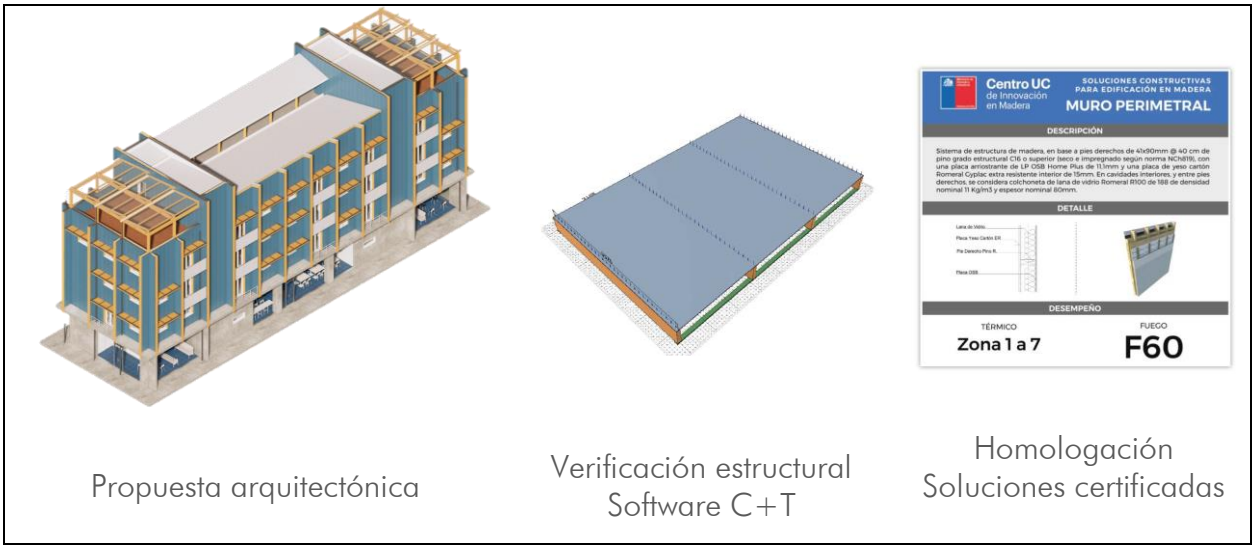
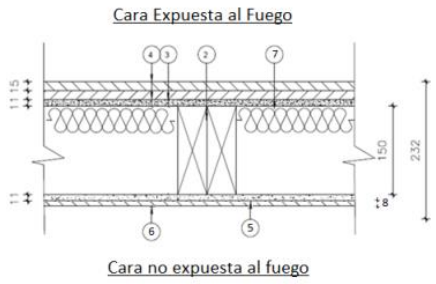


Imagen 150. Homologación de soluciones constructivas. Fuente: elaboración propia.

Muros perimetrales y de fachada

Detalle



N	Elemento		Descripción
1	Estructura	Soleras (no mostradas)	Superior e inferior. Pieza de madera de Pino Radiata de escuadría 2x6"
2		Pies derechos	Pieza de madera de Pino Radiata de escuadría 4x6" (constituida por dos de 2x6"), distanciadas a eje a 0,4 [m]
3		Cara expuesta al fuego	Placa OSB de 11,1 [mm] de espesor, traslapada y fijadas a la estructura mediante tornillos #6 x 1 ¼" cada 0,25 [m].
4			Doble plancha de yeso-cartón "Volcán® RH" de 15 [mm] de espesor, traslapadas entre sí. La primera plancha fijada a la estructura con tornillos zincados cabeza de trompeta punta fina #6 x 1 1/4" cada 25 [cm]. Segunda plancha fijada con tornillos zincados cabeza de trompeta punta fina #6 x 1 5/8" cada 25 [cm]. Sello en unión de planchas es con cinta de fibra de vidrio más pasta a base de yeso
5		Cara no expuesta al fuego	Placa OSB de 11,1 [mm] de espesor, traslapada y fijadas a la estructura mediante tornillos #6 x 1 ¼" cada 0,25 [m].
6			Placa de fibrocemento de 8 [mm] de espesor, traslapada.
7	Aislación		Lana de vidrio, formato rollo libre de 50 [mm] de espesor nominal y 11 [kg/m3] de densidad nominal.

Imagen 151. Solución de muro perimetral F90. Fuente: (IDIEM, 2019).

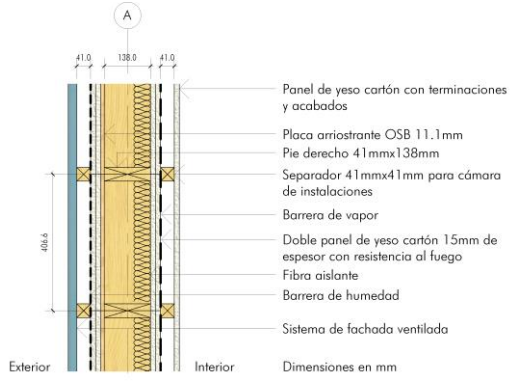
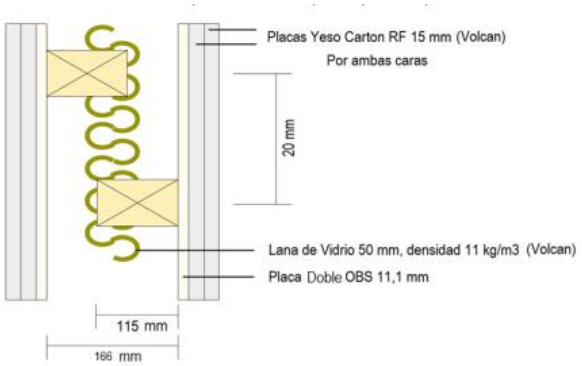
Ensamble propuesto	
Detalle	Descripción
	La composición del ensamble contempla protección contra el fuego en ambos lados, y se incorpora una barrera de humedad y vapor para evitar condensaciones al interior. Asimismo, mediante un sistema de fachada ventilada en las zonas exteriores se proporciona una protección extra que brinda una climatización pasiva del edificio, que además es fácilmente reparable sin comprometer los elementos internos, lo cual también se replica al interior con un revestimiento extra para los acabados que se separa del muro dejando una cámara de instalaciones, ya sean eléctricas, mecánicas, entre otras. Esta solución se puede adaptar según se necesite doble placa arriostrante o no.

Imagen 152. Ensamble propuesto para muro perimetral. Fuente: elaboración propia.

Muros divisorios

Detalle



N	Elemento		Descripción
1	Estructura	Soleras (no mostradas)	Superior e inferior. Pieza de madera de Pino Radiata de escuadría 2x6"
2		Pies derechos	Pieza de madera de Pino Radiata de escuadría 2x5" en Zig-Zag, distanciadas a eje a 0,2 [m]
3	Revestimiento	Interior	Placa OSB de 11,1 [mm] de espesor, dispuesta en ambas caras y fijadas a la estructura mediante tornillos #6 x 1 ¼" cada 0,2 [m]
4		Terminación	Doble placa de yeso-cartón "Volcán® RF" de 15 [mm] de espesor, por la cara interior, y Doble placa de yeso-cartón "Volcán® RF" de 15 [mm] de espesor, por la cara exterior. La parte interior va fijada a la estructura con tornillos zincados cabeza de trompeta punta fina #6 x 1 1/4" cada 2 [cm], la placa exterior va fijada con tornillos zincados cabeza de trompeta punta fina #6 x 1 5/8" cada 2 [cm]. Sello en unión de placas es con cinta de fibra de vidrio más pasta a base de yeso
5	Aislación		Lana de vidrio formato rollo libre de al menos 50 [mm] de espesor nominal y 11 [kg/m3] de densidad nominal (R100 = 122)

Imagen 153. Solución de muro divisorio. Fuente: (IDIEM, 2019).

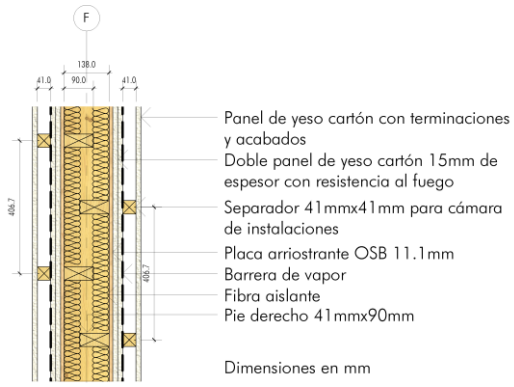
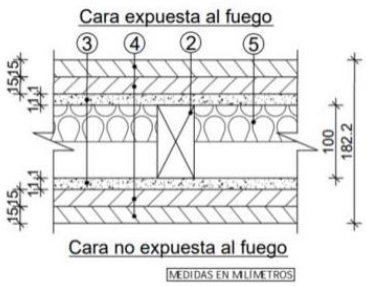
Ensamble propuesto	
Detalle	Descripción
	La principal característica de este ensamble es que cuenta con un desacople acústico al fijar los pies derechos a una sola de las caras del panel por medio de una reducción en su sección, así se logra un mejor comportamiento acústico. De la misma manera se incorpora protección contra incendio a ambos lados y se conserva un espacio vacío para las instalaciones que quedaran cubiertas por otro panel con los distintos acabados. Esta solución se puede adaptar según se necesite doble placa arriostrante o no.

Imagen 154. Propuesta de ensamble para muro divisorio entre unidades residenciales. Fuente: elaboración propia.

Muros para caja de escaleras

Detalle


N	Elemento		Descripción
1	Estructura	Soleras (no mostradas)	Pieza de madera de Pino Radiata de escuadría 2x4"
2		Pie derechos	Pieza de madera de Pino Radiata de escuadría 2x4", distanciadas a eje a 0,6 [m]
3	Revestimiento	Interior	Placa OSB de 11,1 [mm] de espesor, dispuesta en ambas caras y fijadas a la estructura mediante tornillos #6 x 1 ¼" cada 0,25 [m]
4		Terminación	Doble placa de yeso-cartón "Gyplac® RF" de 15 [mm] de espesor, instalada en ambas caras, traslapadas entre sí, en ambas caras. La placa interior va fijada a la estructura con tornillos zincados cabeza de trompeta punta fina #6 x 1 1/4" cada 25 [cm], la placa exterior va fijada con tornillos zincados cabeza de trompeta punta fina #6 x 1 5/8" cada 25 [cm]. Sello en unión de placas es con cinta de fibra de vidrio más pasta a base de yeso
5	Aislación		Lana de vidrio "Aislanglass®" formato rollo libre de 50 [mm] de espesor nominal y 12 [kg/m3] de densidad nominal (R100 = 122)

Imagen 155. Solución de muro con resistencia al fuego F120. Fuente: (IDIEM, 2019).

Ensamble propuesto	
Detalle	Descripción
	En este caso el esquema es similar a los anteriores, tomando en cuenta que para aumentar la capacidad contra incendio todos los paneles de recubrimiento deben ser especificados para este propósito. Asimismo, se cuenta con barreras de vapor para proteger de humedad el interior del panel. Esta solución se puede adaptar según se necesite doble placa arriostrante o no.

Imagen 156. Propuesta de ensamble para muro en escaleras. Fuente: elaboración propia.

Protección bioclimática

La propuesta volumétrica del edificio tipo es muy sencilla en función de aprovechar las capacidades del sistema estructural de entramado ligero, debido a esto la protección bioclimática utiliza estrategias alternas para generar una protección contra la radiación solar y demás condiciones climáticas.

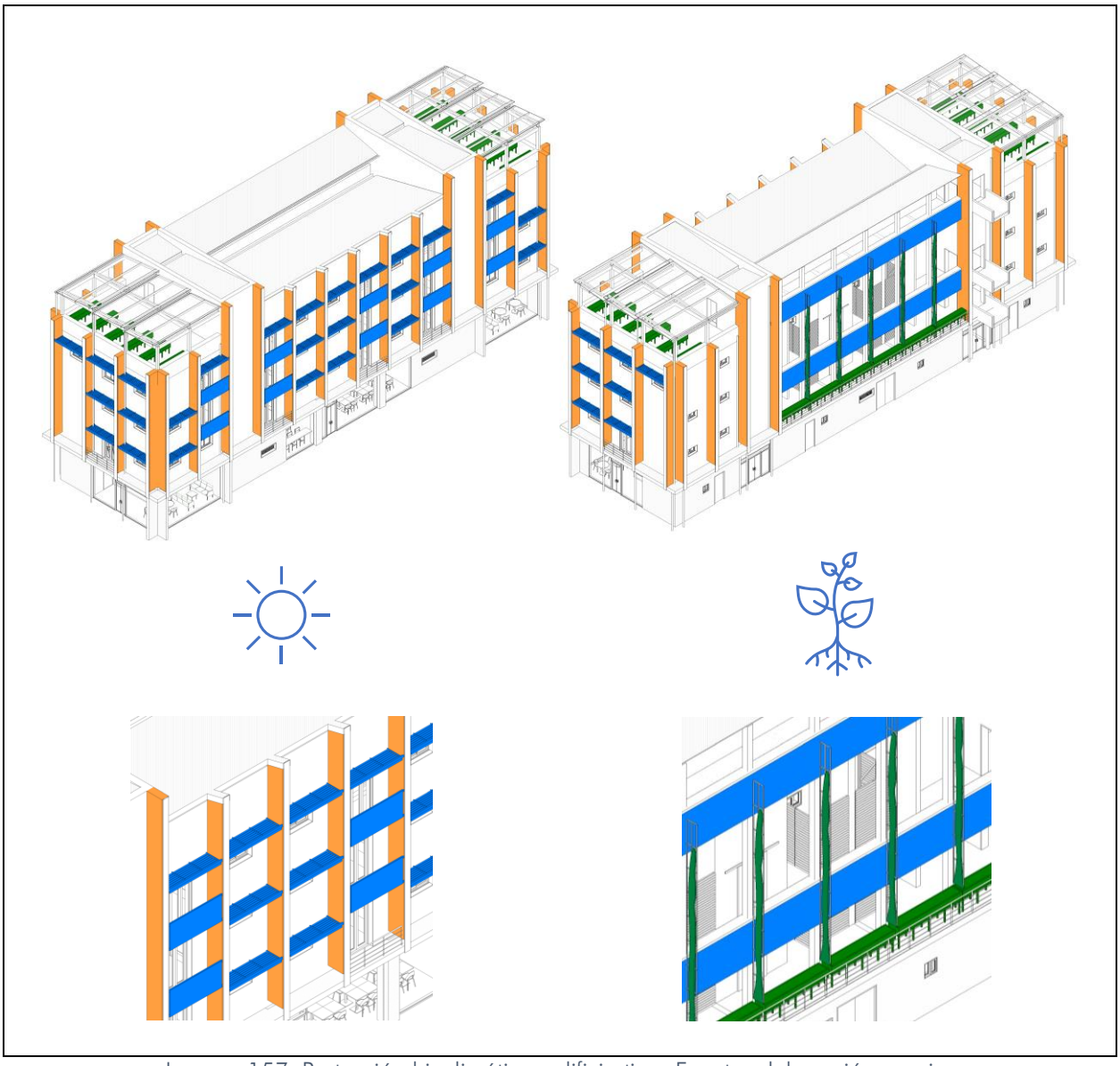
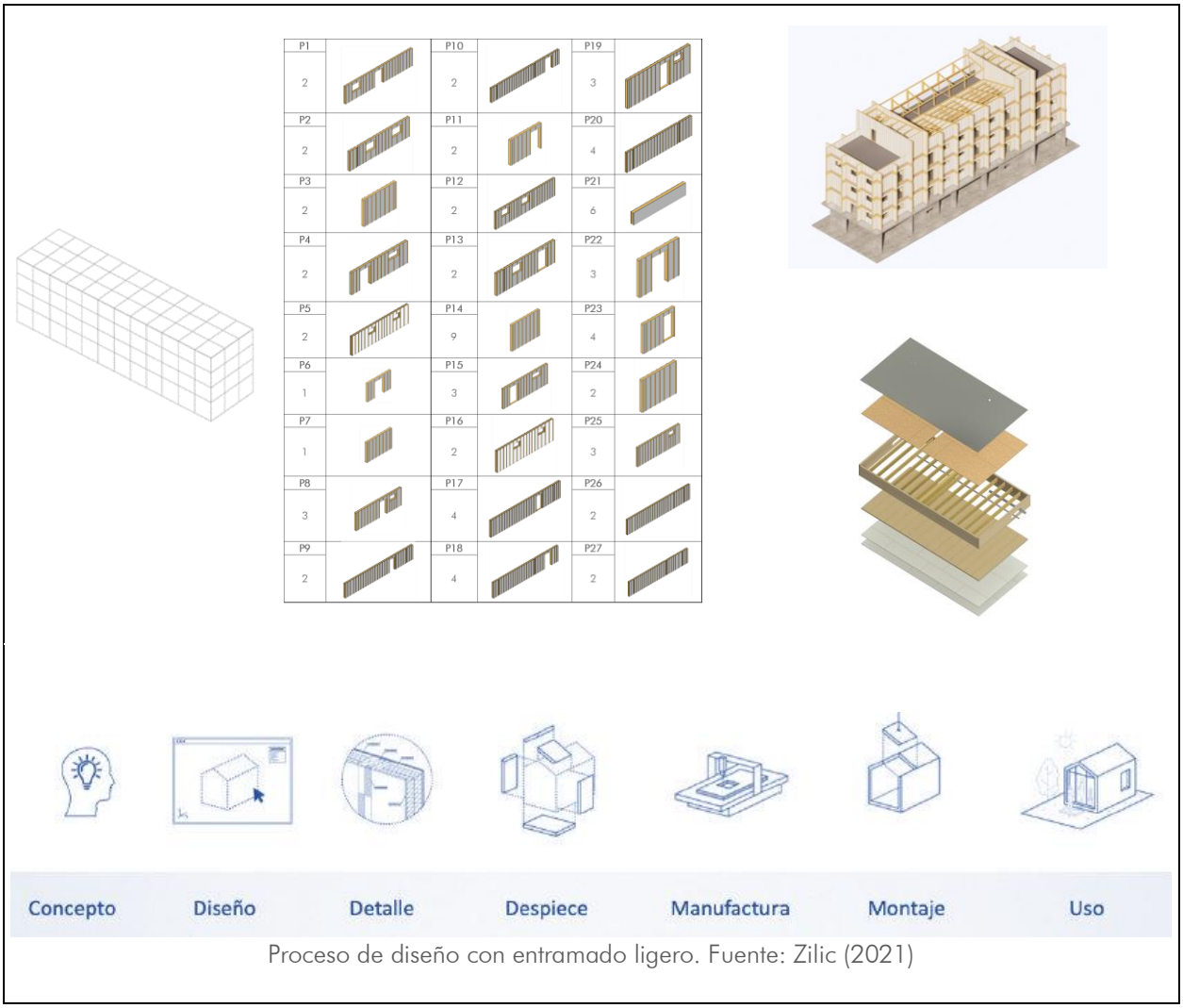


Imagen 157. Protección bioclimática, edificio tipo. Fuente: elaboración propia.

La protección con mochetas verticales además de proporcionar estabilidad al edificio proporciona una mayor interacción con la ventilación externa que facilita su ingreso al edificio, asimismo, la utilización de parasoles horizontales y vegetación en fachada protegen de la radiación solar excesiva.

Diseño prefabricación y montaje

De acuerdo con el esquema modular planteado, la propuesta de edificio tipo se descompone en paneles prefabricados para posteriormente proceder con el ensamblaje de estos sobre un primer piso de concreto. Como explica Zilic (2021), este proceso de diseño parte desde un concepto o idea que permite detallar y hacer el despiece del edificio bajo una lógica de manufactura y montaje, así se facilita la construcción en este tipo de sistema constructivo.



Proceso de diseño con entramado ligero. Fuente: Zilic (2021)

Imagen 158. Proceso diseño, prefabricación y montaje. Fuente: elaboración propia.

En las siguientes tablas se detalla la cantidad y los distintos tipos de paneles que componen la propuesta de edificio tipo.

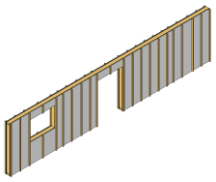
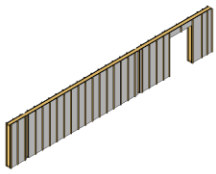
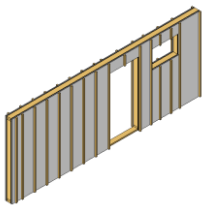
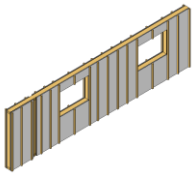
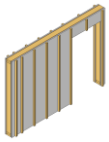
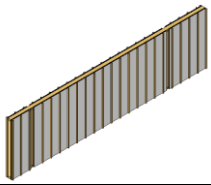
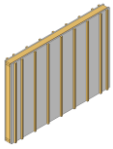
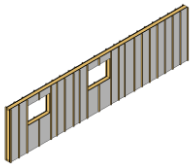
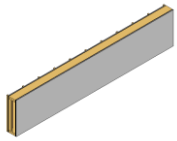
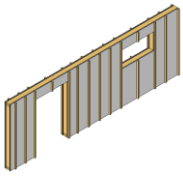
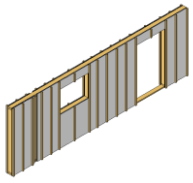
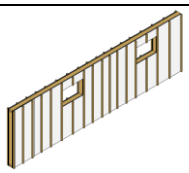
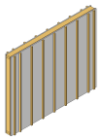
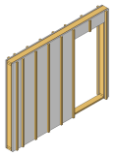
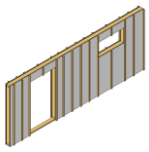
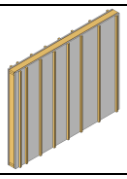
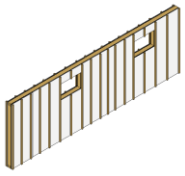
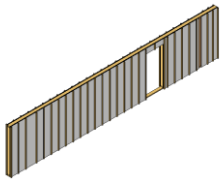
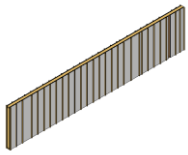
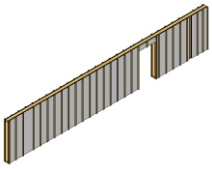
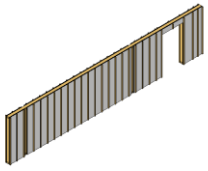
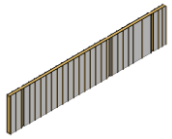
P1 2 	P10 2 	P19 3 
P2 2 	P11 2 	P20 4 
P3 2 	P12 2 	P21 6 
P4 2 	P13 2 	P22 3
P5 2 	P14 9 	P23 4 
P6 1	P15 3 	P24 2 
P7 1	P16 2 	P25 3
P8 3	P17 4 	P26 2 
P9 2 	P18 4 	P27 2 

Tabla 7. Tipos de paneles. Fuente: elaboración propia.

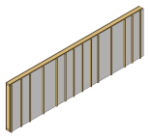
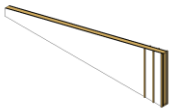
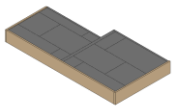
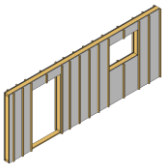
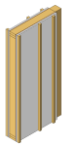
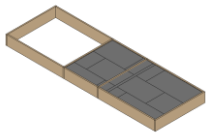
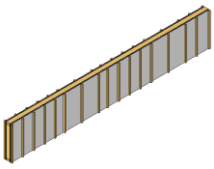
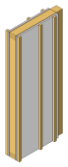
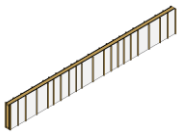
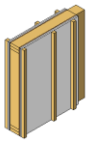
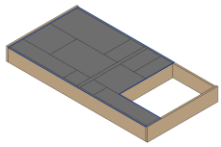
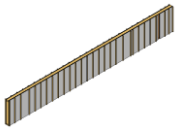
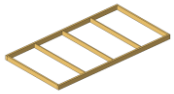
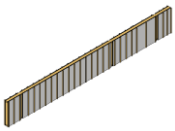
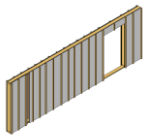
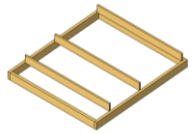
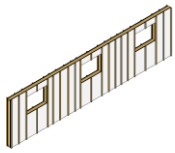
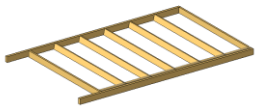
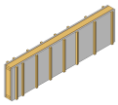
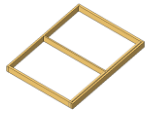
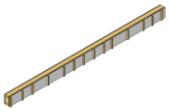
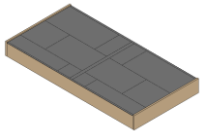
P28 3 	P37 2 	PE2 6 
P29 3 	P38 15 	PE3 6 
P30 4 	P39 30 	PE4 6
P31 2 	P40 12 	PE5 5 
P32 2 	P41 3	PT1 2 
P33 2 	P42 2 	PT2 2 
P34 4	P43 2 	PT3 6 
P35 2 	P44 2	PT4 6 
P36 3 	PE1 25 	

Tabla 8. Tipos de paneles. Fuente: elaboración propia.

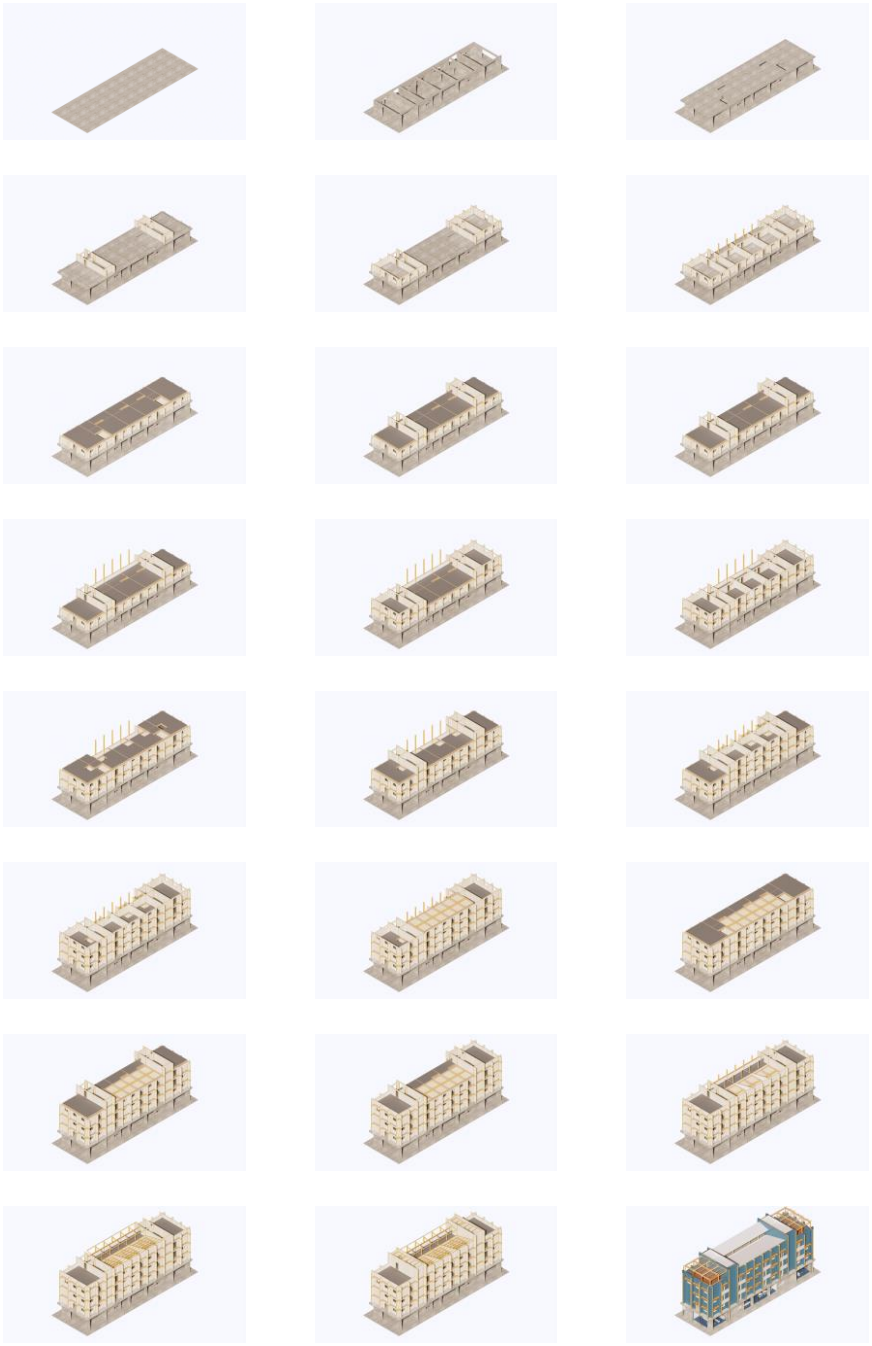


Imagen 159. Esquema de proceso de ensamble. Fuente: elaboración propia.

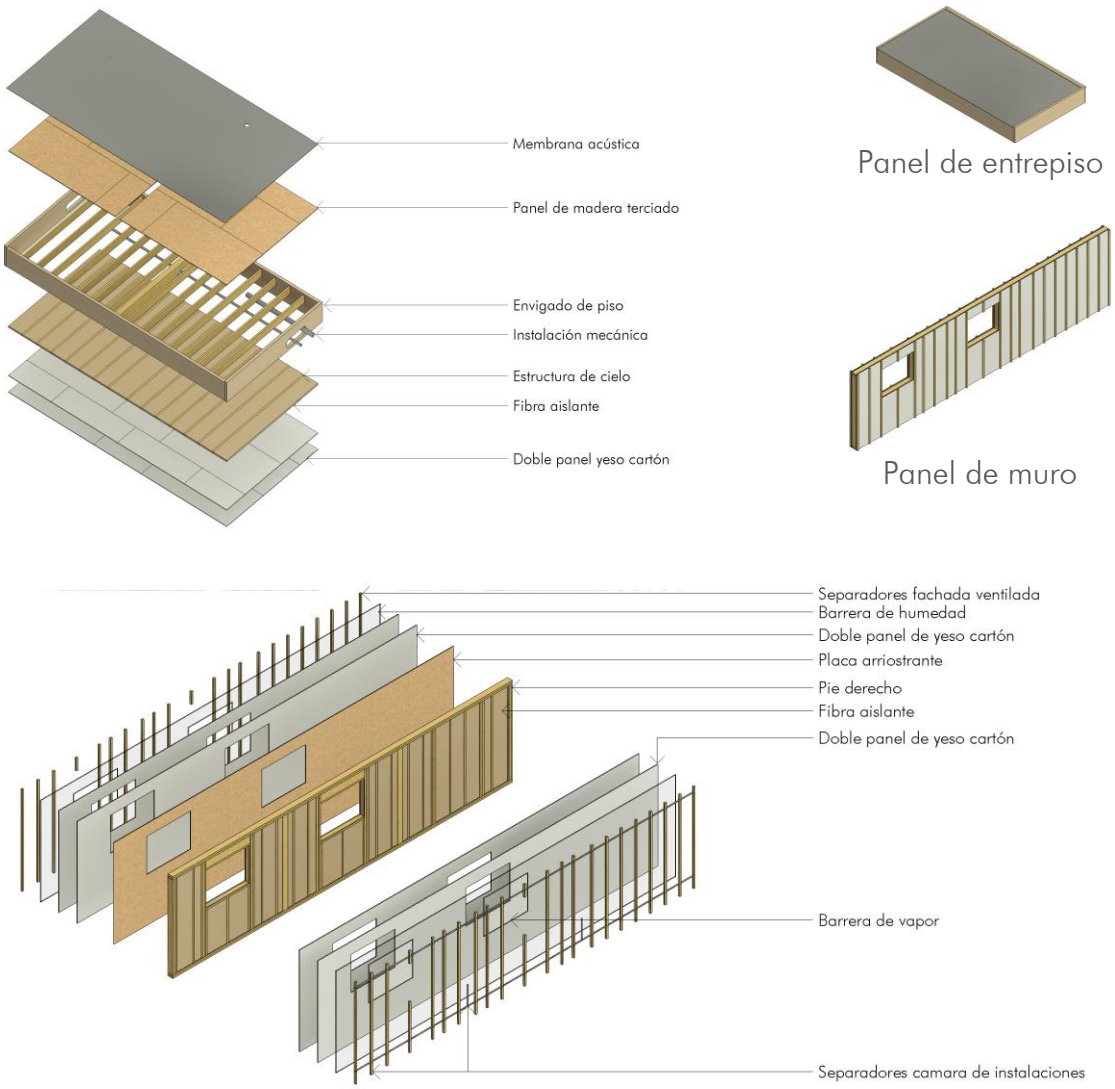


Imagen 160. Componentes de un panel de entrepiso y un panel de muro. Fuente: elaboración propia.

El proceso de prefabricación permite disminuir la complejidad constructiva, como se observa en la imagen anterior, cada tipo de panel tiene distintos componentes que pueden ser ensamblados antes de llegar al lugar de la construcción. En la imagen 161 se muestra una isometría explotada con los todos los paneles prefabricados que componen la propuesta.

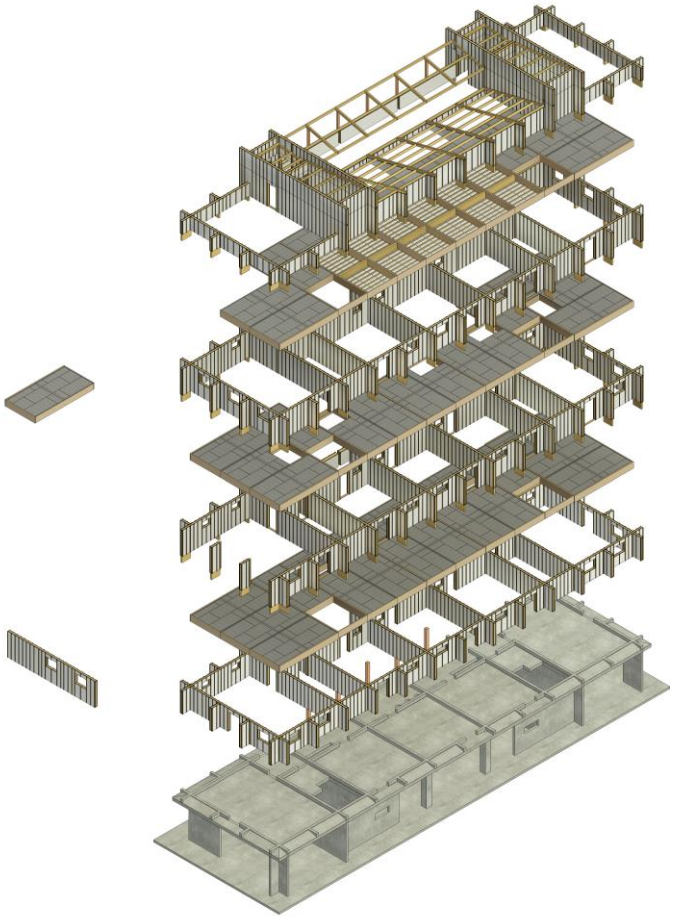


Imagen 161. Isometría explotada de los paneles prefabricados del edificio tipo. Fuente: elaboración propia.

La propuesta de emplazamiento

El presente proyecto se emplaza en la zona de Hatillo, sitio reconocido debido a que en este lugar el INVU ha consolidado una de las zonas residenciales más importantes del país. Los primeros desarrollos respondieron a las necesidades de ese momento, que principalmente consistían en generar opciones de vivienda horizontal para los obreros que trabajaban en las actividades manufactureras emergentes en el centro de San José.

A continuación, se describe un planteamiento esquemático de la configuración del conjunto en la finca del INVU en Hatillo 2. Esta propuesta responde a la integración del edificio tipo dentro de este contexto, incorporando comercios en planta baja y espacio público. Lo anterior se realiza de acuerdo con las condicionantes físicas del lote, entre las cuales destaca la pendiente desfavorable hacia el río María Aguilar y también el amplio frente a calle disponible según el predio.

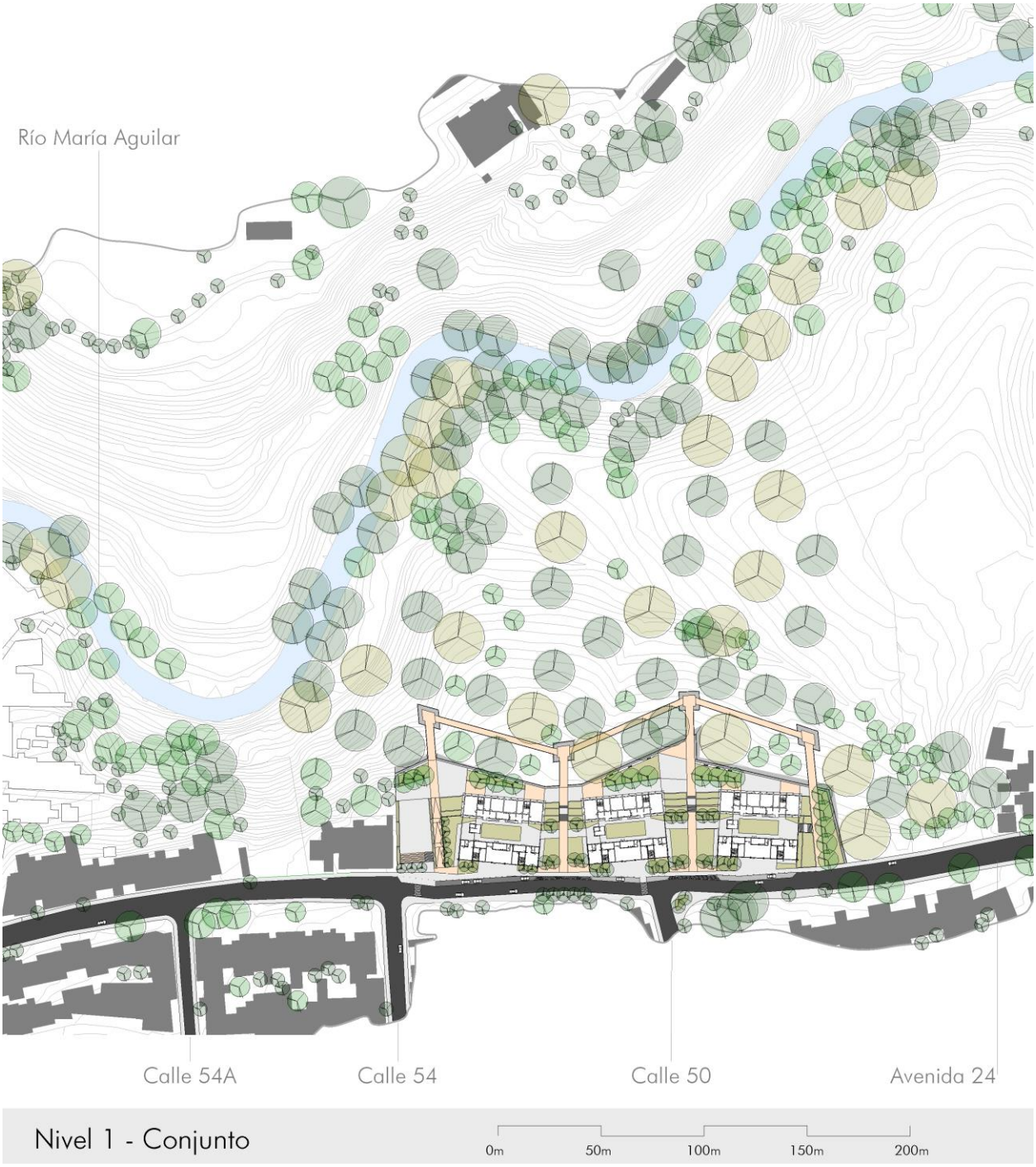


Imagen 162. Planta de conjunto general. Fuente: elaboración propia.

Desde un plano general se delimita la intervención del emplazamiento en una zona cercana a la vía pública, aprovechando esta proximidad con la calle y también la pendiente del terreno en esta zona, pues es menos quebrada. Así se interviene el predio de manera gradual desde la calle hasta el río María Aguilar, definiendo primero una zona de terrazas, luego pasarelas elevadas y finalmente una zona de protección y reforestación.

Imagen 163. Emplazamiento de los edificios tipo. Fuente: elaboración propia.

En este planteamiento se da un trato destacado al espacio público de recorrido peatonal, donde se delimita la intervención a una zona cercana a la calle con amplios accesos directos entre los edificios, que están dispuestos en parejas y entre ellos se delimita una zona comunal para los residentes.

En esta propuesta se utilizan terrazas para adaptarse a la topografía, de tal forma que los edificios en parejas están desfasados entre si un nivel. En planta baja se tienen zonas de comercio relacionadas con plazas urbanas y juegos infantiles, así como un espacio de anfiteatro. Por último, los recorridos peatonales se extienden por medio de pasarelas elevadas y miradores hacia el río María Aguilar.

Ya que la legislación deja a criterio del desarrollador la cantidad de estacionamientos, se aprovecha para enfocar la propuesta a un uso peatonal, donde la ubicación del predio representa una ventaja, pues gracias a su cercanía con amplios servicios de la ciudad se puede prescindir del automóvil y fomentar una movilidad peatonal.

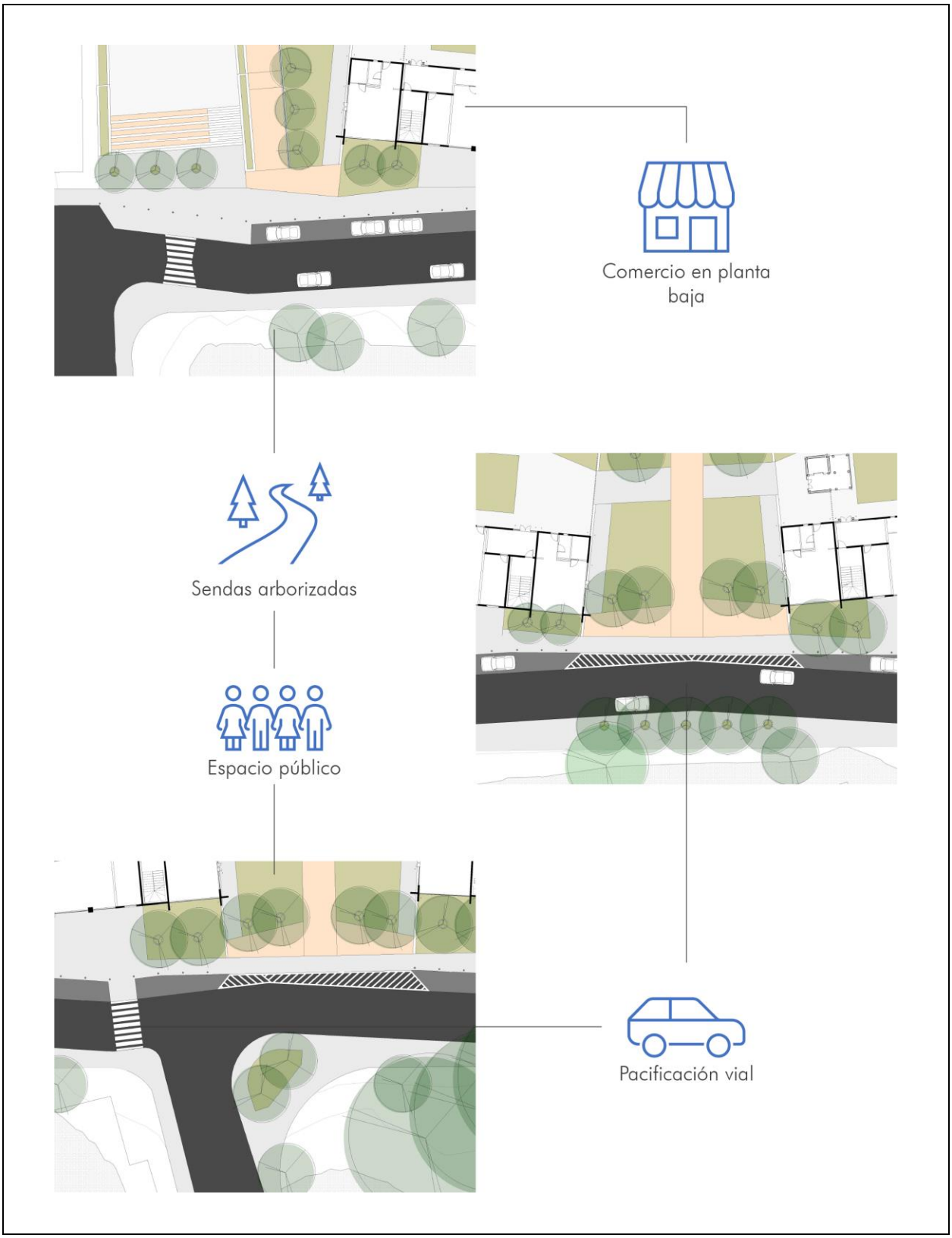
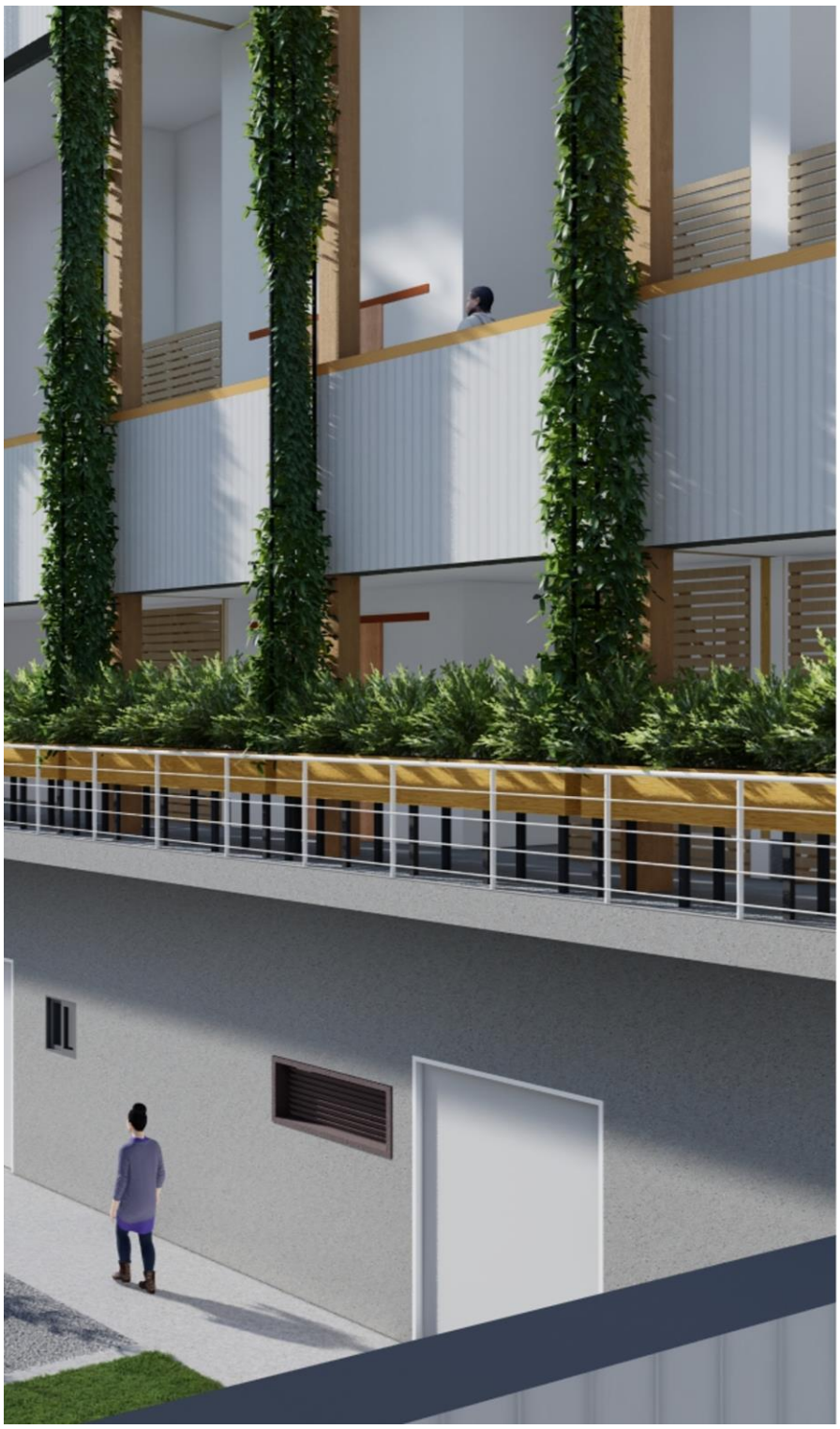


Imagen 164. Cualidades del emplazamiento. Fuente: elaboración propia.



Espacios comunales vivienda

Huertas

Zonas de juego

Zonas verdes

Imagen 165. Vista exterior, huerta comunal. Fuente: elaboración propia.

Espacio público

Plazas

Mobiliario urbano

Aprovechamiento vistas

Arborización

Imagen 166. Vista exterior, espacio público. Fuente: elaboración propia.

Espacio público

Pasarelas y miradores

Mobiliario urbano

Aprovechamiento vistas

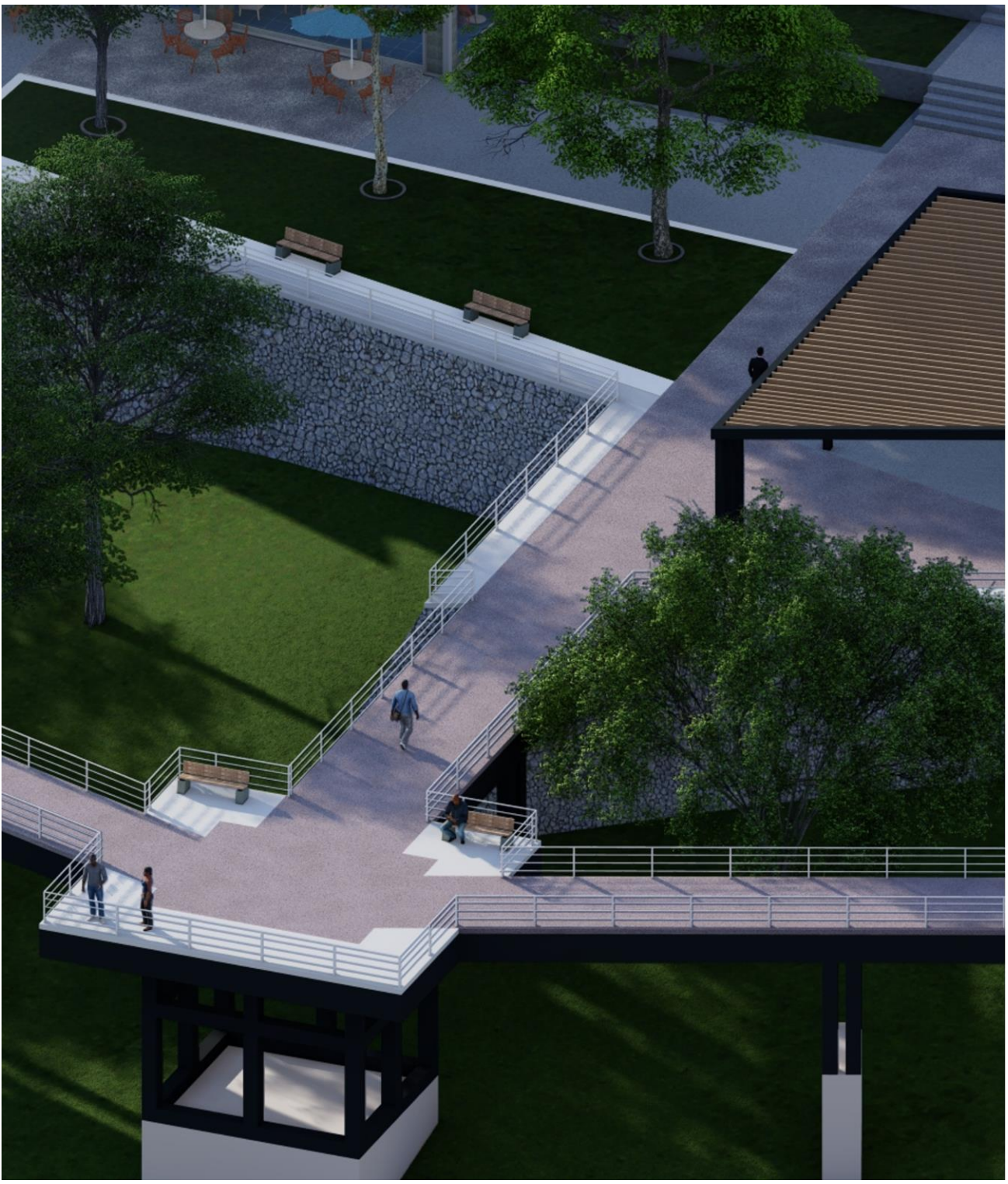
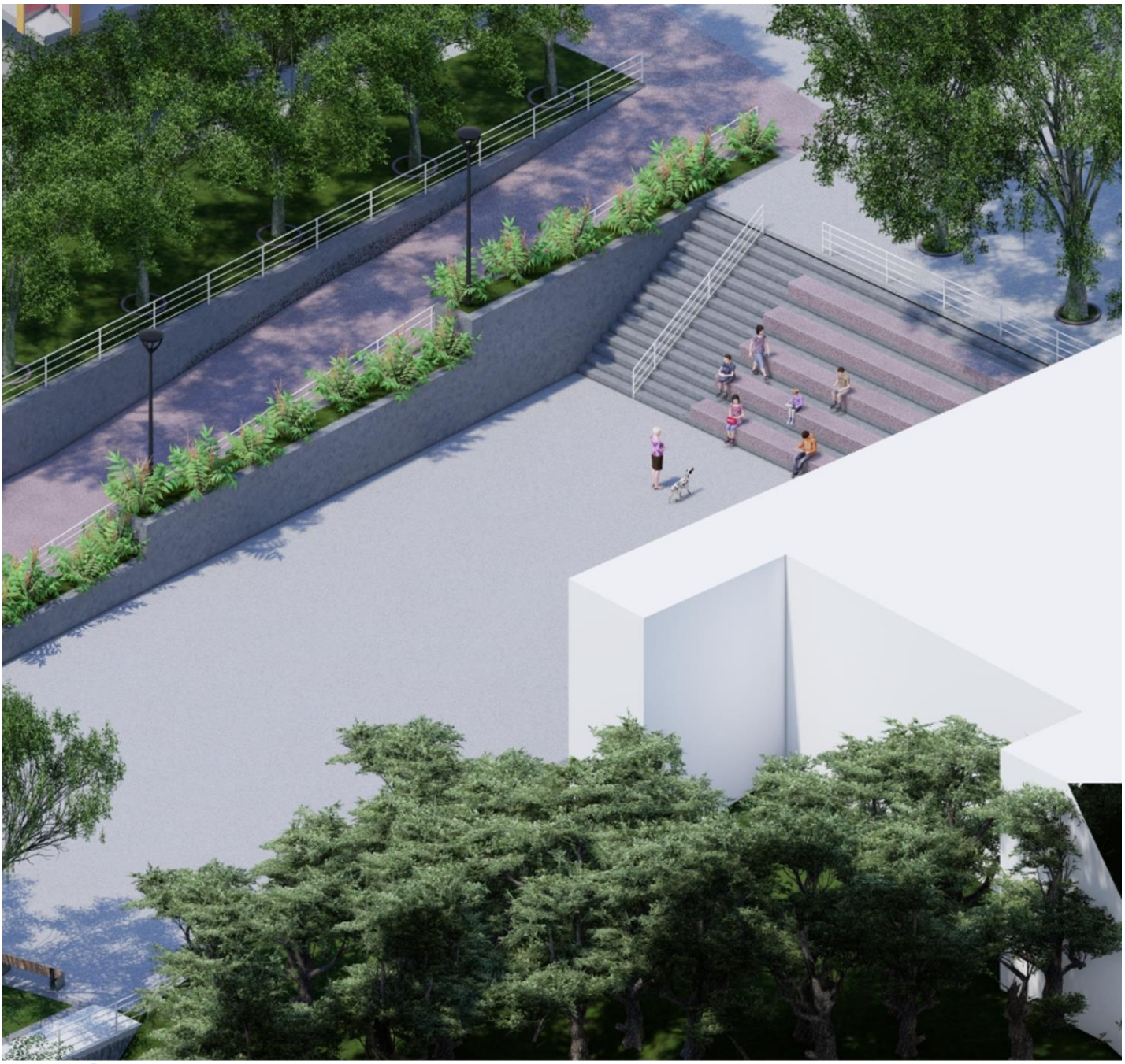


Imagen 167. Vista exterior, mirador. Fuente: elaboración propia.

Espacio público

Plazas

Zonas verdes estar



Arborización

Actividades culturales

Imagen 168. Vista exterior, anfiteatro. Fuente: elaboración propia.

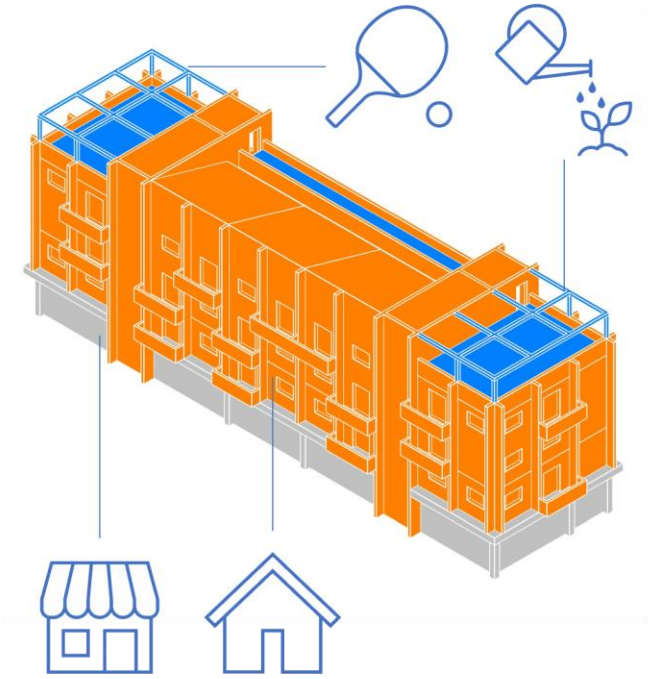
Circulación vertical

Relación interior/exterior

Corredores exteriores

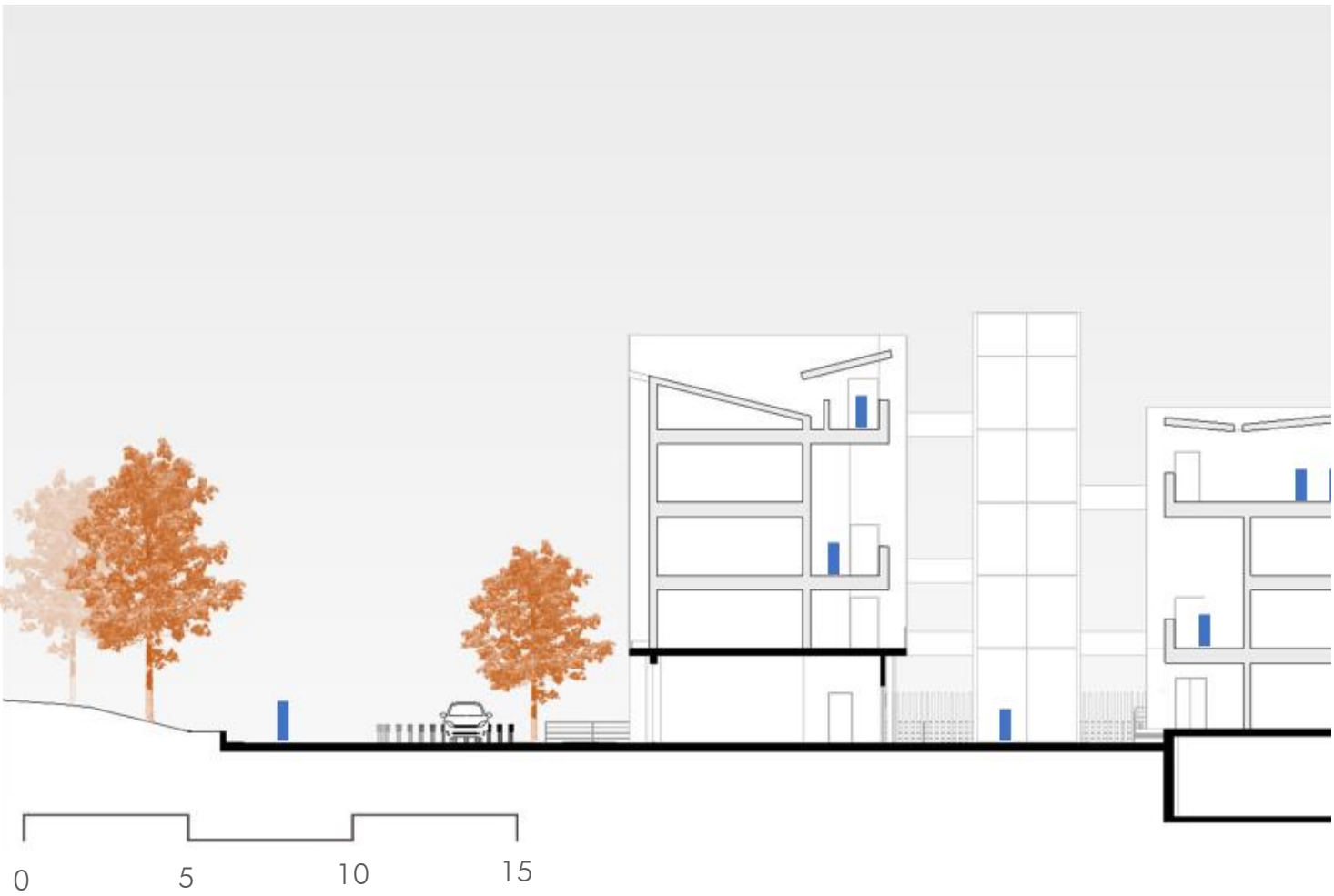
Encuentro social

Imagen 169. Vista exterior, interacción vertical. Fuente: elaboración propia.



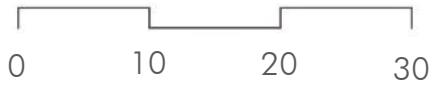
La flexibilidad de usos se refleja en el primer nivel comercial y las terrazas de uso comunal para los vecinos del edificio. La verticalidad de la vivienda permite una interacción con el entorno desde el plano de la fachada, que incorpora balcones y demás aberturas hacia el contexto.

Imagen 170. Vista exterior, conexión peatonal calle pública. Fuente: elaboración propia.



En las plantas bajas se concentra el uso comercial relacionado directamente con la vía pública y demás sendas y plazas urbanas, de esta forma el espacio público se complementa con actividades económicas que van a enriquecer el entorno.

Imagen 171. Sección A-A. Fuente: elaboración propia.



Los edificios emparejados se adaptan al terreno al desfasarse un nivel respecto al otro, manteniendo una zona central entre ellos de uso exclusivo para los residentes, la cual se conecta directamente con la circulación vertical que conecta ambas edificaciones.

Como una extensión del espacio público, se tienen las pasarelas y miradores que se integran con el paisaje ofreciendo una forma responsable con el medio ambiente para aprovechar el potencial paisajístico que ofrecen los bordes ribereños.

Imagen 172. Sección B-B. Fuente: elaboración propia.

Para adaptarse a la topografía los edificios se desfasan un nivel respecto de el de su pareja, así se genera un cambio de altura que va de la mano con el tratamiento del espacio público mediante terrazas, hasta las pasarelas de acceso peatonal que aprovechan las vistas al norte y el potencial paisajístico del lugar.

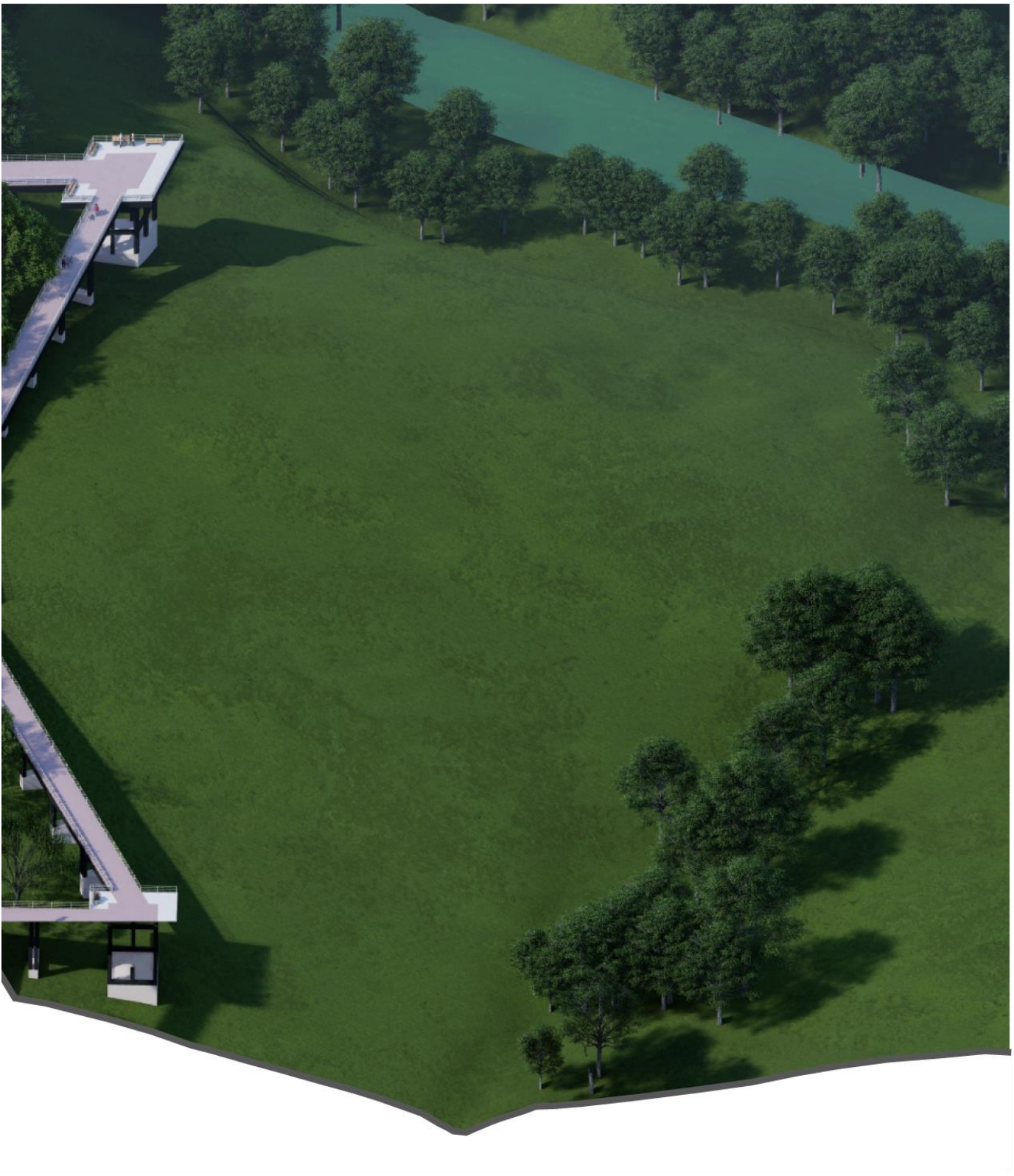
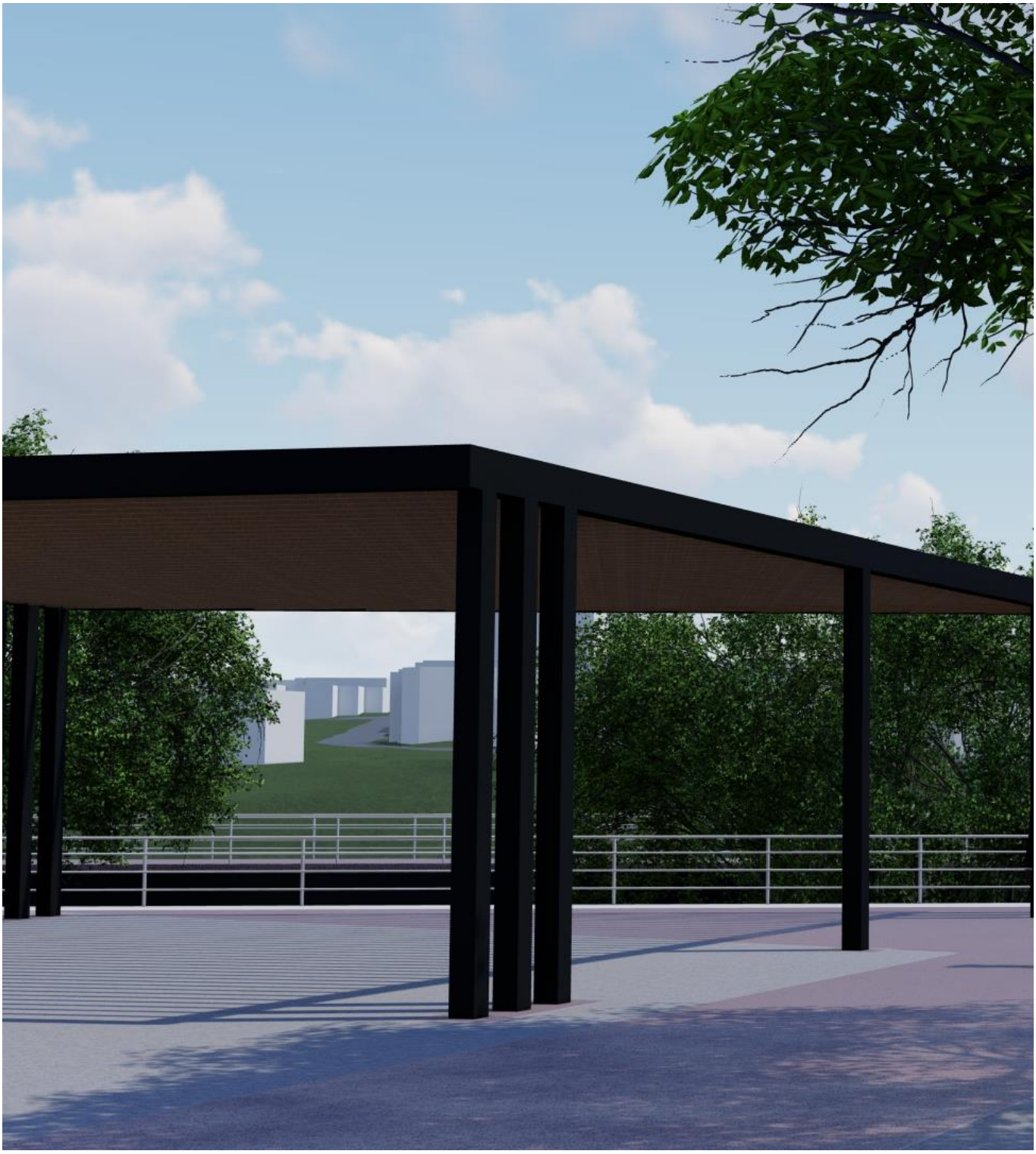


Imagen 173. Vista en corte desde el oeste. Fuente: elaboración propia.

El desnivel del terreno se aprovecha para generar espacios como anfiteatros y sendas accesibles para los peatones y visitantes del lugar.

Imagen 174. Vista hacia el norte desde el anfiteatro. Fuente: elaboración propia.



Desde el nivel de calle pública se tiene acceso a las pasarelas peatonales que se integran al paisaje permitiendo un aprovechamiento de las visuales hacia el borde ribereño del río María Aguilar.

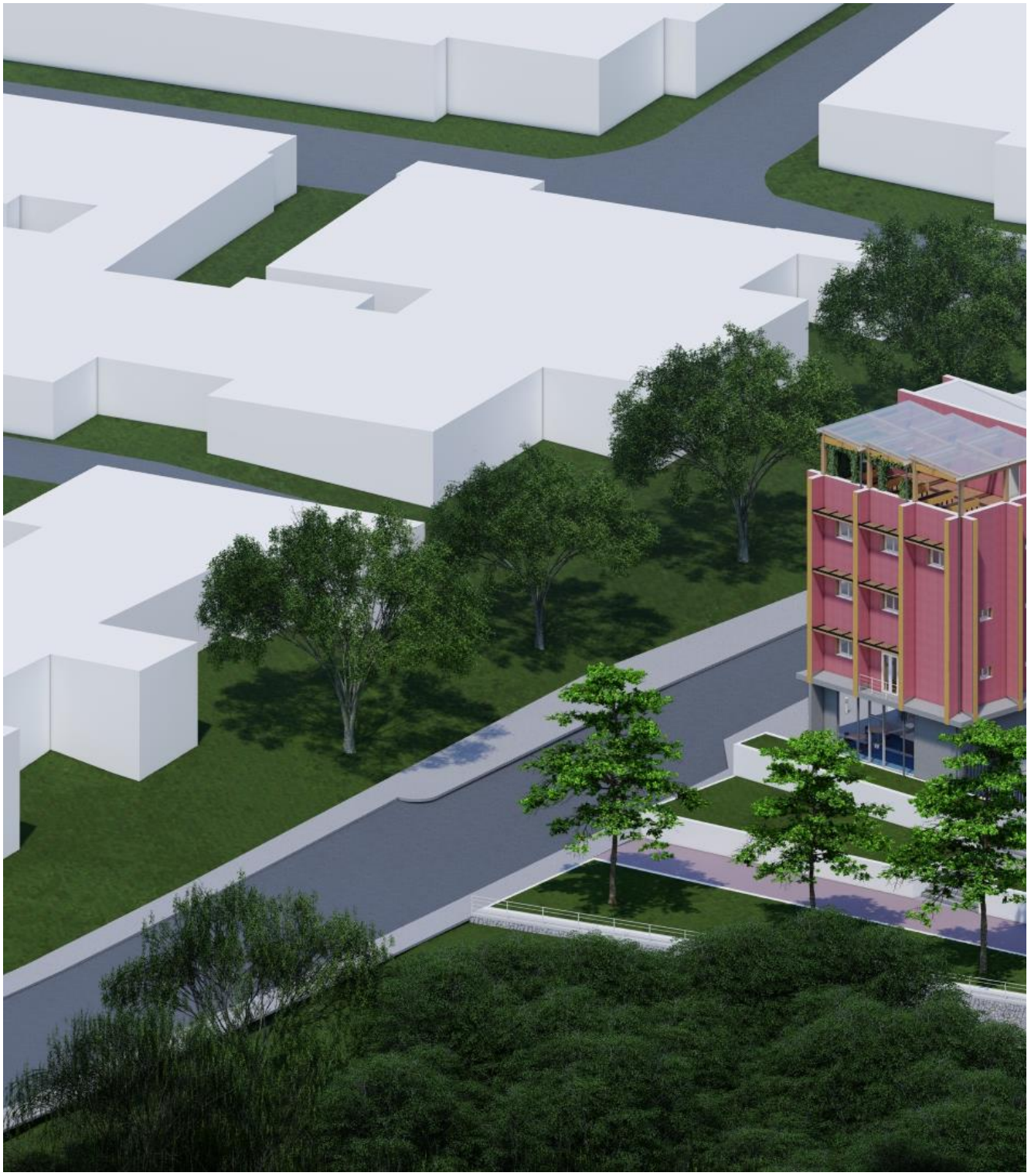
Imagen 175. Vista hacia el norte, pasarela peatonal. Fuente: elaboración propia.

Entre las parejas de edificios se incorporan zonas amplias que articulan la circulación peatonal con mobiliario urbano y juegos infantiles.

Imagen 176. Ingreso peatonal entre los edificios. Fuente: elaboración propia.

Las plazas incorporan estructuras de pérgola como infraestructura urbana que se articula con los bordes comerciales del primer nivel del edificio.

Imagen 177. Vista del proyecto desde la pasarela peatonal. Fuente: elaboración propia.



Toda la circulación peatonal se conecta a la vía pública mediante transiciones al mismo nivel, así se genera una propuesta accesible adaptada a la topografía.

Imagen 178. Vista aérea del conjunto desde el oeste. Fuente: elaboración propia.

El proyecto explota la conexión con la vía pública mediante un retiro que libera el tránsito peatonal a lo largo de todo el frente sur del proyecto, así con aceras más amplias, sendas arborizadas, plazas y zonas de juego, se integra el proyecto dentro de la ciudad respetando la escala humana.

Imagen 179. Vista aérea del conjunto desde el sur. Fuente: elaboración propia.

Las condiciones urbanas permean el emplazamiento mediante sendas peatonales que incorporan el proyecto al tejido urbano, respetando la escala del peatón y realizando un aprovechamiento paisajístico de la zona dándole valor mediante una propuesta arquitectónica.

Imagen 180. Vista del conjunto desde el norte. Fuente: elaboración propia.

La disposición lineal del emplazamiento coincide con la dirección de las curvas de nivel, así las terrazas planteadas se vuelven protagonistas del diseño facilitando la adaptación el proyecto al terreno.

Imagen 181. Vista en corte desde el este. Fuente: elaboración propia.

El manejo de la escala peatonal se refleja en la oferta de mayor espacio público en planta baja, que se integra a los edificios con retiros desde la vía pública, plazas entre los edificios que direccionan al interior de la propuesta para descubrir el resto del proyecto y terrazas que le dan los cambios de altura necesarios para adaptarse a la topografía.

Imagen 182. Vista aérea del conjunto. Fuente: elaboración propia.

La propuesta aprovecha las condiciones del entorno como las vistas, la topografía y la apertura del terreno para integrar la disposición de los edificios al lugar, con un diseño de carácter icónico por su volumetría y lenguaje formal del conjunto.

Imagen 183. Vista en corte desde el este. Fuente: elaboración propia.

Conclusiones

De lo micro a lo macro

La propuesta conceptualizada de manera modular y bajo un esquema flexible permitió obtener un resultado que se adapta a distintos tipos de usuarios de acuerdo con la realidad nacional, donde las familias son diversas y tienen requerimientos diferentes.

La concepción de vivienda asequible se refleja desde la propuesta arquitectónica que define tipologías variadas que se adaptan a distintas necesidades, desde opciones más reducidas hasta más holgadas. La versatilidad del diseño permite realizar distintas composiciones del edificio tipo, albergando diferentes cantidades de unidades de vivienda, por ejemplo, en la imagen 181 se resume la cantidad y tipo de apartamentos en el edificio tipo descrito en este proyecto (Edificio 1) pero utilizando la misma configuración modular se puede obtener una versión distinta (Edificio 2) con 5 apartamentos más.

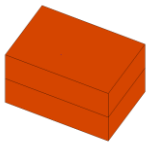
Tipología de apartamento		Edificio 1	Edificio 2
M4		3	9
M6		2	6
M8		3	-
M12		2	-
	Total	10	15

Imagen 184. Tipos y cantidad de apartamentos según la configuración del edificio.

Asimismo, el uso mixto se ve reflejado en la mezcla de comercio, espacio público y vivienda, que se integran de manera ordenada permitiendo un funcionamiento de cada actividad sin interferir en las otras de manera respetuosa con el medio ambiente.

Imagen 185. Áreas construidas, de retiro y reforestación.

Para el caso del edificio tipo se obtuvieron los siguientes metrajes.

ÁREAS ESPACIOS

Comments	Area
Nivel 1	
Comercio A	61 m²
Comercio A	61 m²
Comercio B	100 m²
Cuarto eléctrico	20 m²
Cuarto mecánico	20 m²
Depósito de residuos	22 m²
Escalera	20 m²
Escalera	20 m²
Vestíbulo	20 m²
Vestíbulo	20 m²
Nivel 1: 10	366 m²
Nivel 2	
Apartamento 4M	41 m²
Apartamento 4M	41 m²
Apartamento 4M	41 m²
Apartamento 6M	61 m²
Apartamento 6M	61 m²
Corredor	80 m²
Escalera	20 m²
Escalera	20 m²
Vestíbulo	10 m²
Vestíbulo	10 m²
Nivel 2: 10	385 m²
Nivel 3	
Apartamento 8M	41 m²
Apartamento 8M	41 m²
Apartamento 8M	41 m²
Apartamento 12M	61 m²
Apartamento 12M	61 m²
Corredor	60 m²
Escalera	20 m²
Escalera	20 m²
Vestíbulo	10 m²
Vestíbulo	10 m²
Nivel 3: 10	366 m²

ÁREAS ESPACIOS

Comments	Area
Nivel 4	
Apartamento 8M	41 m²
Apartamento 8M	41 m²
Apartamento 8M	41 m²
Apartamento 12M	61 m²
Apartamento 12M	61 m²
Escalera	20 m²
Escalera	20 m²
Nivel 4: 7	285 m²
Nivel 5	
	46 m²
Escalera	20 m²
Escalera	20 m²
Terraza	61 m²
Terraza	61 m²
Vestíbulo	10 m²
Vestíbulo	10 m²
Nivel 5: 7	229 m²
Grand total: 44	1631 m²

ÁREAS COMPONENTES

Department	Area
Circulación	471 m²
Comercio	222 m²
Comunal	122 m²
Instalaciones y servicio	83 m²
Vivienda	734 m²
Grand total: 44	1631 m²

Imagen 186. Áreas del edificio tipo. Fuente: elaboración propia.

Como se observa en la imagen 182, se determinó una propuesta de vivienda que se incorpora de manera exitosa dentro del contexto haciendo provecho del potencial paisajístico del lugar, tomando en cuenta que el predio requiere un planteamiento de protección de los bordes ribereños por la colindancia con el río María Aguilar; de manera gradual se interviene en el terreno desde la vía pública hasta el río, pasando primero por una zona construida que se difumina en pasarelas elevadas y termina en una de reforestación más el retiro necesario desde el río.

Este planteamiento de uso mixto se puede replicar en otras fincas del INVU en Hatillo y otras zonas del país, pues como se describió anteriormente, la configuración del edificio tipo es compatible con distintas composiciones urbanas.

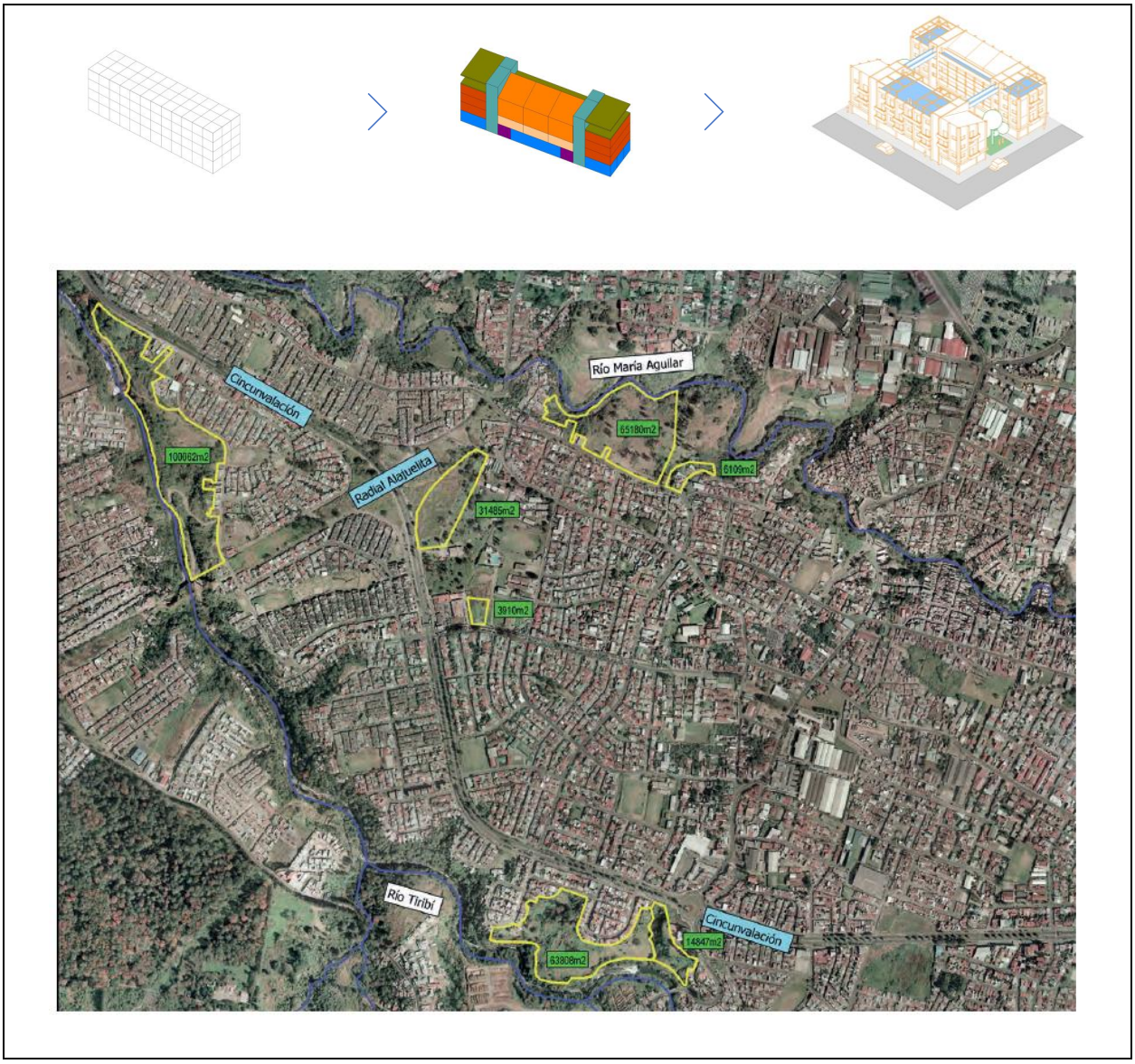


Imagen 187. Posibles fincas del INVU para proyectos de vivienda. Fuente: INVU.

Utilizando el Manual de Valores Unitarios por Tipología Constructiva del Ministerio de Hacienda, se obtiene un costo aproximado general de la obra externa y del edificio tipo (imagen 188).De acuerdo con la estimación de los costos y la medida recomendada de no destinar más del 30 % del ingreso de cada hogar a la obtención de vivienda, con la calculadora de créditos del Banco Nacional, se determina un ingreso medio de 630 716 colones para la tipología M4 y 1 864 730 colones para la tipología M12.

Componente	Sub componente	Dimensión	Unidad	Tipología	Costo 2021	Costo 2023	Subtotal
Edificio tipo	Entramado ligero	2320	m2	-	-	₡ 700 000,00	₡ 1 624 000 000,00
	Nivel 1 comercial	775	m2	EC01	₡ 275 000,00	₡ 314 847,50	₡ 244 006 812,50
	Elevador	-	-	-	-	-	₡ 120 000 000,00
	Pasarelas	42	m2	PU05	₡ 280 000,00	₡ 320 572,00	₡ 13 464 024,00
	Zona comunal	770	m2	OE01	₡ 1 650,00	₡ 1 889,09	₡ 1 454 595,45
						Total	₡ 2 002 925 431,95
Obras exteriores	Caminos y plazas	5400	m2	IB01	₡ 65 000,00	₡ 74 418,50	₡ 401 859 900,00
	Zonas verdes	2400	m2	OE01	₡ 1 650,00	₡ 1 889,09	₡ 4 533 804,00
	Pasarelas y miradores	1500	m2	PU05	₡ 280 000,00	₡ 320 572,00	₡ 480 858 000,00
	Corte y terraceo	19100	m3	MT04	₡ 2 650,00	₡ 3 033,99	₡ 57 949 113,50
	Muros de contención	230	m	MR03	₡ 425 000,00	₡ 486 582,50	₡ 111 913 975,00
	Gaviones	4700	m3	MRO8	₡ 50 000,00	₡ 57 245,00	₡ 269 051 500,00
						Total	₡ 1 326 166 292,50

	Costo
Componente vivienda	₡ 1 758 918 619,45
Por m2	₡ 561 595,98

Apartamentos		Costo por apartamento y cuota mensual bajo un crédito a 30 años con tasa del 9.25%	
Tipología	Dimensión		
M4	41 m2	₡ 23 025 435,31	₡ 189 215,00
M6	61 m2	₡ 34 257 354,98	₡ 279 709,00
M8	82 m2	₡ 46 050 870,62	₡ 378 430,00
M12	122 m2	₡ 68 514 709,95	₡ 559 419,00

Imagen 188. Estimación de costos por edificio tipo, obras externas y cálculo de cuota mensual para crédito bancario por costo de apartamento. Fuente: elaboración propia.

Sistema constructivo

La propuesta de edificio tipo diseñada en esta investigación es factible de realizar mediante el uso de entramado ligero de madera, ya que se verificaron estructuralmente los principales elementos como columnas, vigas y muros de corte.

Se puede señalar que el sistema constructivo de entramado ligero tiene la compatibilidad necesaria con el uso residencial, sin embargo, para concebir usos distintos en planta baja es necesario plantear una estructura híbrida con otra materialidad que permita una mayor flexibilización en planta.

La versatilidad de la madera como material sostenible se reafirma en este caso por su capacidad de uso estructural para edificios de mediana altura, el trabajo de este material en conjunto con tecnología emergente en conectores facilita su uso estructural. Asimismo, el planteamiento del proceso constructivo utiliza criterios que lo hacen más eficiente y económico, como la manufactura de los paneles fuera de obra y su posterior colocación in situ.

Para el caso del edificio tipo se detallaron los componentes correspondientes al sistema constructivo de entramado ligero: vigas y viguetas, pies derechos, paneles de OSB y yeso cartón; así se pudo determinar el volumen de la totalidad de elementos, predominando la madera y el OSB.

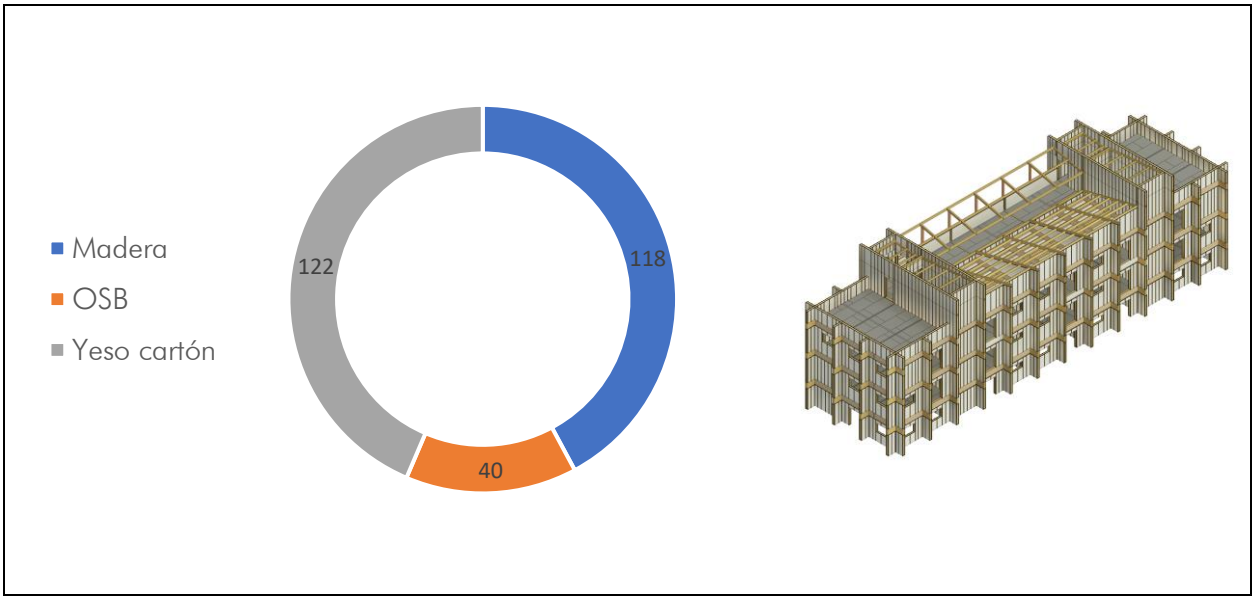


Imagen 189. Volumen (m^3) de madera, OSB y yeso cartón en el edificio tipo.

VOLUMEN DE MADERA

Tipo de panel	Cantidad	Volumen
P1	2	1.83 m³
P2	2	1.45 m³
P3	2	0.56 m³
P4	3	1.61 m³
P5	2	1.49 m³
P6	1	0.26 m³
P7	1	0.28 m³
P8	3	1.49 m³
P9	2	2.01 m³
P9.5	2	1.63 m³
P10	2	1.99 m³
P11	2	0.55 m³
P12	2	2.08 m³
P13	2	1.71 m³
P14	9	2.79 m³
P15	3	1.80 m³
P16	2	1.81 m³
P17	4	5.11 m³
P18	4	5.05 m³
P19	3	1.67 m³
P20	4	3.94 m³
P21	6	2.16 m³
P22	3	0.86 m³
P23	4	1.24 m³
P24	2	0.63 m³
P25	3	1.78 m³
P26	2	2.61 m³
P27	2	2.54 m³
P28	3	1.23 m³
P29	3	1.78 m³
P30	4	2.12 m³
P31	2	1.07 m³
P32	2	1.58 m³
P33	2	1.55 m³
P34	4	0.86 m³
P35	2	0.29 m³
P36	3	0.49 m³
P37	2	0.86 m³
P38	15	2.08 m³
P39	30	7.00 m³
P40	12	1.96 m³
P41	3	0.52 m³
P42	2	1.51 m³
P43	2	2.08 m³
P44	2	1.69 m³
PE1	25	17.05 m³
PE2	6	4.21 m³
PE3	6	4.38 m³
PE4	6	2.41 m³
PE5	5	3.20 m³
PT1	2	0.68 m³
PT2	2	0.49 m³
PT3	6	2.65 m³
PT4	6	1.33 m³
Grand total: 236		118.00 m³

VOLUMEN DE GYPSUM

Tipo de panel	Cantidad	Volumen
P1	2	2.08 m³
P2	2	1.56 m³
P3	2	0.78 m³
P4	3	1.86 m³
P5	2	1.73 m³
P6	1	0.26 m³
P7	1	0.39 m³
P8	3	1.97 m³
P9	2	2.71 m³
P9.5	2	2.27 m³
P10	2	2.60 m³
P11	2	0.56 m³
P12	2	2.49 m³
P13	2	1.65 m³
P14	9	4.02 m³
P15	3	2.14 m³
P16	2	1.98 m³
P17	4	6.19 m³
P18	4	5.92 m³
P19	3	2.26 m³
P20	4	5.19 m³
P21	6	2.69 m³
P22	3	0.87 m³
P23	4	1.28 m³
P24	2	0.89 m³
P25	3	2.64 m³
P26	2	3.36 m³
P27	2	3.26 m³
P28	3	2.17 m³
P29	3	2.07 m³
P30	4	2.13 m³
P31	2	1.38 m³
P32	2	2.10 m³
P33	2	2.03 m³
P34	4	1.12 m³
P35	2	0.30 m³
P36	3	0.38 m³
P37	2	1.12 m³
P38	15	1.76 m³
P39	30	4.02 m³
P40	12	0.80 m³
P41	3	0.34 m³
P42	2	1.80 m³
P43	2	2.36 m³
P44	2	2.03 m³
PE1	25	14.27 m³
PE2	6	3.00 m³
PE3	6	3.17 m³
PE4	6	3.42 m³
PE5	5	4.99 m³
Grand total: 220		122.38 m³

VOLUMEN DE OSB

Tipo de panel	Cantidad	Volumen
P1	2	0.37 m³
P2	2	0.33 m³
P3	2	0.14 m³
P4	3	0.34 m³
P5	2	0.36 m³
P6	1	0.05 m³
P7	1	0.07 m³
P8	3	0.73 m³
P9	2	1.01 m³
P9.5	2	0.84 m³
P10	2	0.96 m³
P11	2	0.21 m³
P12	2	0.46 m³
P13	2	0.35 m³
P14	9	0.74 m³
P15	3	0.40 m³
P16	2	0.42 m³
P17	4	2.31 m³
P18	4	2.19 m³
P19	3	0.83 m³
P20	4	1.92 m³
P21	6	1.00 m³
P22	3	0.16 m³
P23	4	0.47 m³
P24	2	0.33 m³
P25	3	0.98 m³
P26	2	1.25 m³
P27	2	1.20 m³
P28	3	0.40 m³
P29	3	0.38 m³
P30	4	0.79 m³
P31	2	0.51 m³
P32	2	0.78 m³
P33	2	0.75 m³
P34	4	0.21 m³
P35	2	0.11 m³
P36	3	0.07 m³
P37	2	0.41 m³
P38	15	0.65 m³
P39	30	1.49 m³
P40	12	0.30 m³
P41	3	0.13 m³
P42	2	0.39 m³
P43	2	0.44 m³
P44	2	0.42 m³
PE1	25	6.98 m³
PE2	6	1.46 m³
PE3	6	1.55 m³
PE5	5	1.04 m³
Grand total: 214		39.70 m³

Madera		Panel de yeso cartón	
CO2 capturado		CO2 emitido	
1 m3 = 2100 kg CO_2		1 kg = 1,96 kg CO_2	
118 m3 de madera	Total: **247800 kg**	74908 kg	Total: **147344 kg CO_2**

Tabla 9. CO2 capturado por la madera y emitido por el yeso cartón utilizados en el edificio tipo. Fuente: elaboración propia.

El uso de la madera es clave para lograr un balance sostenible del proceso constructivo, la tabla 9 indica que el CO2 capturado por la madera aserrada utilizada en el edificio es mayor al CO2 emitido por el uso de los paneles de yeso cartón. Se compararon estos dos materiales por su predominancia dentro de la propuesta.

El planteamiento modular no solo facilitó la integración de distintas tipologías de apartamentos, sino que también fue la base para determinar los distintos paneles que conforman la propuesta de prefabricación y montaje.

Es importante el uso de softwares de cálculo estructural en etapas iniciales de un proyecto en madera para determinar las principales condicionantes que van a afectar la propuesta arquitectónica, como muestra la imagen 190, esto desde un alcance arquitectónico conceptual previo a un estudio estructural más minucioso.

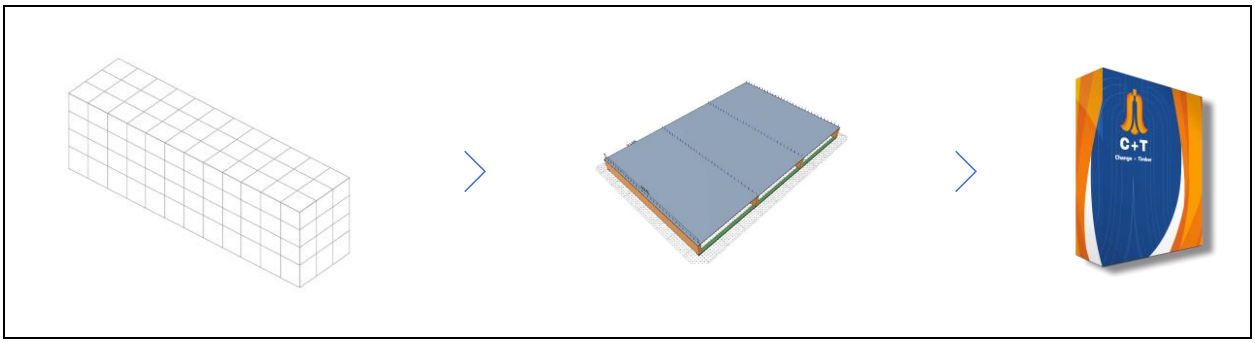


Imagen 190. Uso del software C+T a partir de los criterios de modulación. Fuente: elaboración propia.

El planteamiento de un edificio en madera en Costa Rica representa una serie de retos que implican desde una carencia en la legislación estructural hasta la obtención de madera certificada, por esto aún se depende de teoría extranjera y también de madera importada para el planteamiento de un edificio de este tipo.

Recomendaciones

Transición de la madera al concreto

La propuesta tuvo un enfoque dedicado al sistema constructivo de entramado ligero de madera, y en este sentido se ejecutó un diseño de acuerdo con los requerimientos de dicho sistema, sin embargo, debe estudiarse de forma más detallada la continuidad estructural con los niveles en estructura de concreto; pues este planteamiento híbrido requiere determinar de manera más precisa cuales muros de corte transmitente tensión a los niveles inferiores, como se observa en la siguiente imagen, esto con el fin de evitar un efecto de piso blando.

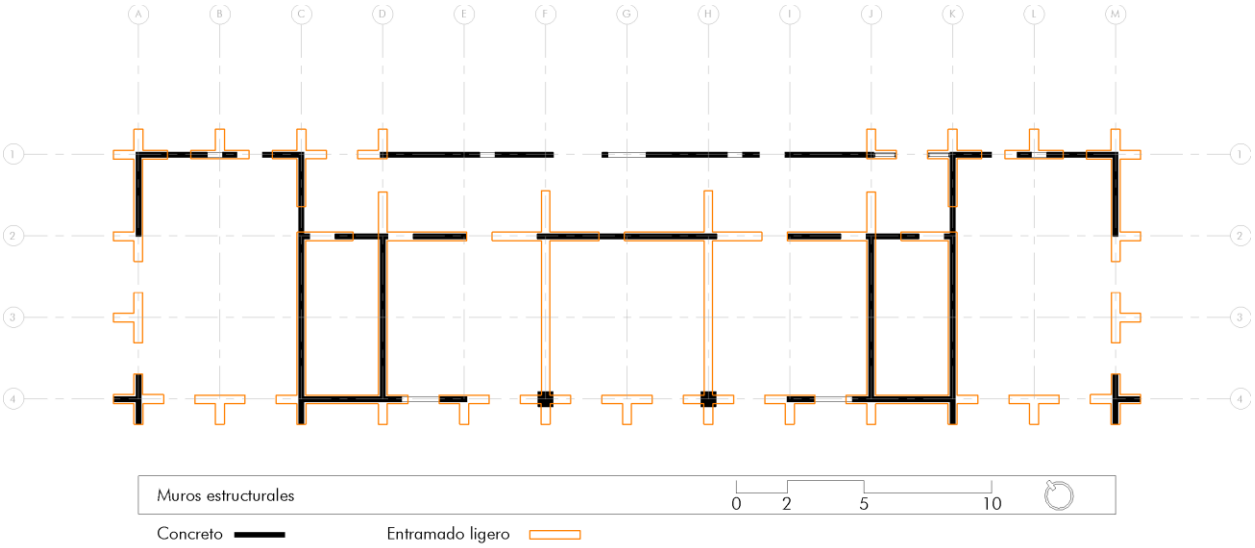


Imagen 191. Muros de corte edificio tipo, concreto y entramado ligero. Fuente: elaboración propia.

Desarrollo de investigación

Aunque el entramado ligero es un sistema que ha tenido un desarrollo tecnológico que ha permitido su uso en edificaciones de mediana altura, es necesario generar teoría bajo el contexto costarricense con materiales locales y requerimientos propios del país, a nivel sísmico, climático y demás características particulares del contexto.

En este ámbito el TEC puede realizar un gran aporte al tener una escuela de Arquitectura, Ingeniería Forestal e Ingeniería en Construcción, que pueden trabajar de manera conjunta para aportar insumos teóricos en el uso de la madera de forma estructural en construcción. Es importante mantener los beneficios que aporta este material en cuanto a captación de CO^2 de la atmósfera, pues como se demostró en la imagen 189, el volumen de madera predomina en el proyecto, pero esto puede no ser suficiente para contrarrestar las emisiones de gases de efecto invernadero derivadas del resto de la construcción.

Conexión urbana

El planteamiento del conjunto en esta investigación responde a un alcance esquemático, por esto se recomienda realizar una investigación que ahonde más en este ámbito, ya que el terreno en estudio presenta cualidades importantes en cuanto a protección de los bordes ribereños y un potencial paisajístico relacionado a la movilidad urbana alternativa, destacando una posible conexión norte-sur a través del río María Aguilar hasta el Parque de la Nacionalidad Costarricense.

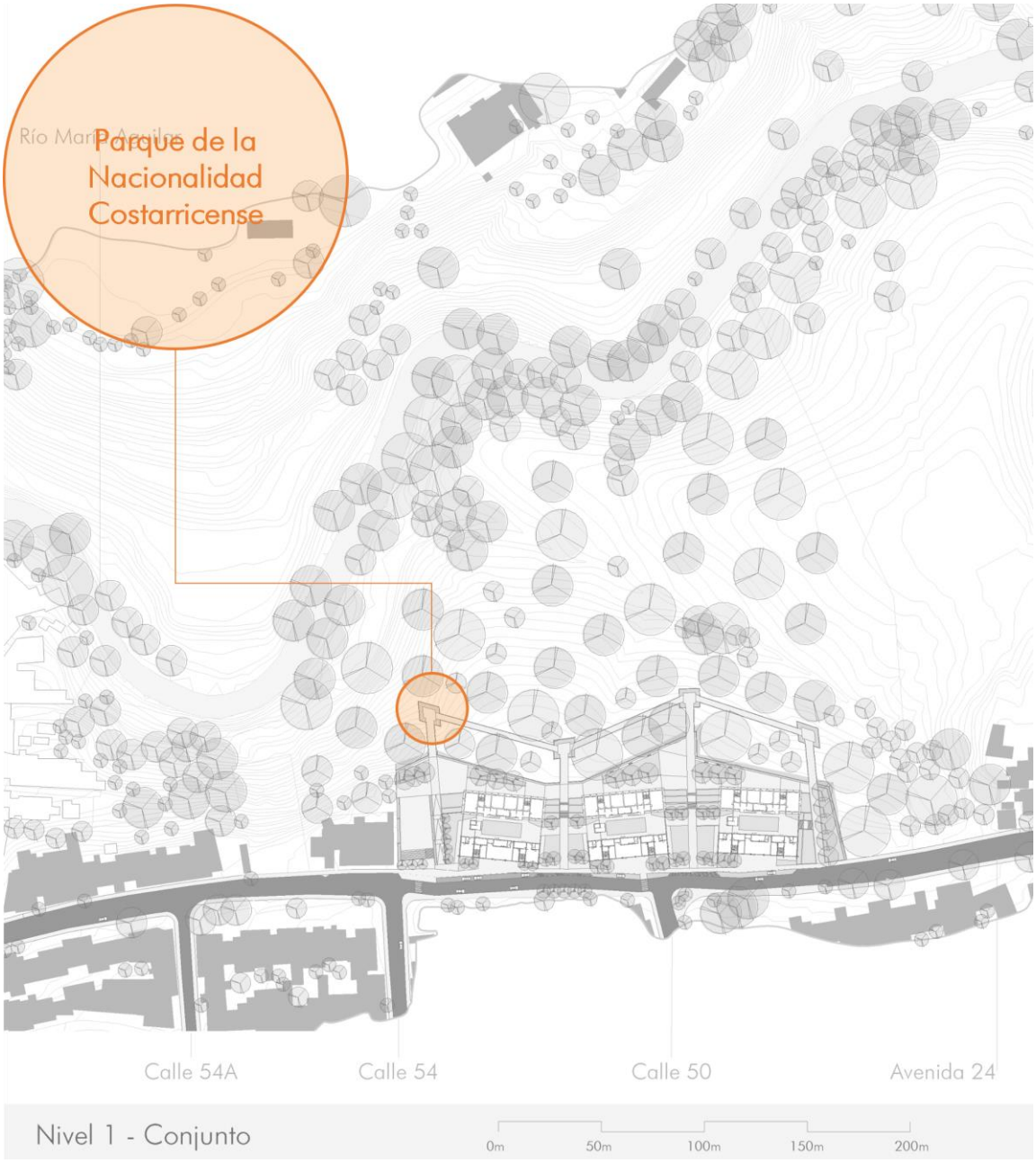


Imagen 192. Posible conexión urbana del proyecto con el Parque de la Nacionalidad Costarricense. Fuente: elaboración propia.

Referencias

Acosta, D. (2009). Arquitectura y construcción sostenibles: conceptos, problemas y estrategias. . *Dearq. Revista de Arquitectura*, 14-23.

Araya, D. (2018). La alameda: Un estudio de la producción del espacio en Hatillo 8. *Revistarquis, 7*(1), 106-120.

Ballén, S. (2017). Vivienda y ciudad compacta. Conceptos y debates sobre ecourbanismo en España. *Cuadernos de Vivienda y Urbanismo*, 68-85.

Bermejo, R. (2018). *Del desarrollo sostenible según Bruntland a la sostenibilidad como biomímesis.* Bilbao : Marra, S. L.

Buczak, M. (2016). *acm.org.* https://acmcr.org/contenido/deforestation-and-the-path-to-conservation-historical-perspective/

Chavarría, S., & Molina, S. (2018). ¿Por qué no incrementa el consumo de madera local? El caso de Costa Rica. *Revista Forestal Mesoamericana Kurú, 15*(37). https://doi.org/http://dx.doi.org/10.18845/rfmk.v15i37.3597

Chaves, M., Cubero, M., Boniche, M., & López, A. (s.f.). La Producción del Espacio Público en Proyectos Habitacionales en el Cantón de San José: Instituto Nacional de Vivienda y Urbanismo (1954-1986). *(Seminario de Graduación).* Univaersidad de Costa Rica, San José.

Ching, F., & Shapiro, I. (2015). *Arquitectura Ecológica.* Barcelona : Gustavo Gili.

Couch, C. (1990). *Urban Renewal. Theory and Practice.* Hampshire: MACMILLAN EDUCATION LTD.

CPIA, L. (2017). *Informe de ensayo aislamiento acústico.*

Dagen, N., & Gordon, M. (2019). *Affordable Housing in New York: The People, Places, and Policies That Trasnformed a City.* New Jersey: Princeton University Press.

Dirección de Desarrollo Urbano, M. (2020). *Resumen Diagnóstico Cantonal 2020.* Municipalidad de San José.

Falagan, D., Muxi, Z., & Montaner, J. (2011). *Herramientas para habitar el presente. La vivienda del siglo XXI.* Universitat Politecnica de Catalunya.

Glaeser, E. (2011). *El Triunfo de las Ciudades.* Madrid: Santillana Ediciones Generales.

González, I. (2021). *La Industria de la Madera y su Enfoque en el Sistema Plataforma (material de clase).* Eligemadera.

González, M. (2021). *Propiedades y tecnología de la madera (material de clase).* Eligemadera.

González, M., Vásquez, L., & Hernández, G. (2011). *Guía Práctica para la Construcción de Viviendas de Madera con Sistema Plataforma.* Unidad de Tecnología e Industria de la Madera de INFOR.

Habitissimo.es. (2017). https://proyectos.habitissimo.es/proyecto/casa-gaia-badaguas-jaca-huesca

Hernández, M. (2013). *Vivienda y exclusión residencial.* España: Universidad de Murcia.

Hernández, R., Fernández, C., & Baptista, M. (2014). *Metodología de la Investigación.* McGraw Hill.

Herrig, D. (26 de Setiembre de 2020). *Freese.com.* https://www.freese.com/blog/understanding-roadway-impact-fees

Humanos, M. d. (2020). *Modelo de Vivienda Urbana Inclusiva y Sostenible*.

IDIEM. (2019). *Estudio de asimilación de resistencia al fuego de tabiques perimetrales F90.*

INVU. (28 de Mayo de 2021). *invu.go.cr*. https://www.invu.go.cr/noticias/-/asset_publisher/mO8YUgUSXiVJ/content/hatillo-primer-conjunto-habitacional-del-pais-desarrollado-por-el-invu?inheritRedirect=true

Jurado, C. (2014). *Suma.pe.* http://www.suma.pe/2014/08/01/beneficios-del-bim-en-el-diseno-de-proyectos/

López, R. (2012). *Vivienda colectiva, espacio público y ciudad. Evolución y crisis en el diseño de tejidos residenciales 1860-2010.* Madrid: Alicia Castilla Márquez.

madera.uc.cl. (2019). https://madera.uc.cl/proyectos/proyectos-de-investigacion/finalizados/torre-experimental-penuelas

Marques, B., & Loureiro, C. (2013). Sustainable Architecture: Practices and Methods to Achieve Sustainability in Constructión. *LACSIT International Journal of Engineering and Technology*, 223-226.

Mata, F. (2010). La selección sostenible de los materiales de construcción. *Tecnología y Desarrollo*.

Mesas, J. M., & Alegre, M. T. (2002). El pan y su proceso de elaboración. *Ciencia y Tecnología Alimentaria*, 307-313.

Ministerio de Vivienda y Asentamientos Humanos. (2013). *Política nacional de vivienda y asentamientos humanos 2013 a 2030 y su plan de acción*. Costa Rica: Ministerio de Vivienda y Asentamientos Humanos.

Molano, F. (2016). El derecho a la ciudad: de Henri Lefebvre a los análisis sobre la ciudad capitalista constemporánea. *FOLIOS*, 3-19.

Montaner, J. (2015). *La arquitectura de la vivienda colectiva: Políticas y proyectos en la ciudad contemporánea.* Barcelona: Reverté.

Montaño, J., Berwart, S., & Santa María, H. (2021). *Manual de Diseño de Estructuras en Madera.* Centro UC de Innovación en Madera.

Morandi, F. (2021). *Introducción al Diseño Acústico (Material de clase).* Eligemadera.

MSJ. (2013). Ficha de información distrital: distrito Hatillo. Observatorio Municipal.

MSJ. (2013). Ficha de información distrital: distrito Mata Redonda. Observatorio Municipal.

MSJ. (2013). Ficha de onformación distrital: distrito Hospital. Observatorio Municipal.

ONF. (2021). Usos y aportes de la madera en Costa Rica, Estadísticas 2020 y Precios 2021. San José: Oficina Nacional Forestal.

Organización de las Naciones Unidas. (2010). El derecho a la vivienda adecuada. Ginebra: Organización de las Naciones Unidas.

Peraza, J., Arriaga, F., Arriaga, C., González, M., Peraza, F., & Rodríguez, M. (1995). *Casas de madera.* Cosmoprint, S.L.

Piedra, L., Hernández, A., Sierra, L., Pereira, J., Castillo, M., & Morales, V. (2019). Caracterización de la respuesta de las comunidades locales a la infl uencia directa de la variabilidad climática en el Caribe Sur de Costa Rica. *Posgrado y Sociedad*, 21-41.

Ramírez, M. (2021). *Comportamiento Higrotérmico de Viviendas en Madera (Material de clase).* Eligemadera.

Reinberg, G. (2009). Apuntes sobre la arquitectura de la construcción ecológica. *Dearq. Revista de Arquitectura*, 07-09.

Rey, M. (2021). *Estrategia general de protección contra incendios (material de clase).* Eligemadera.

Sanabria, T., & Ramírez, J. (2017). Ciudad compacta vs ciudad difusa. Ecos antiguos y recientes para las políticas de planeación territorial y espacial. *CUADERNO URBANO. Espacio, cultura, sociedad.*, 29-52.

Tuk, J. (2019). *Madera: diseño y construcción.* Colegio Federado de Ingenieros y Arquitectos de Costa Rica.

Valencia, N. (14 de Enero de 2016). *archdaily.cl.* https://www.archdaily.cl/cl/780318/video-tres-anos-en-villa-verde-la-casa-progresiva-de-elemental

Woo, R., Walker, M., & Mangin, J. (2009). *¿Qué es la vivienda asequible? Edición para la ciudad de Nueva York.* Brooklyn: The Center of Urban Pedagogy.

Zilic, F. (2021). *Detalles y Saluciones Constructivas: Criterios de Diseño (Material de clase).* Eligemadera.

Zilic, F. (2021). *Detalles y Soluciones Constructivas: Estratigrafía Básica y Sistemas (Material de clase).* Eligemadera.

Anexos

Índice de imágenes

Imagen 1. Temáticas del proyecto. Fuente: elaboración propia. 12
Imagen 2. Producción de CO2 y desechos por actividad. Fuente: Zilic, 2021 13
Imagen 3. Uso de la madera en Costa Rica en 2020. Fuente: ONF, 2021. 15
Imagen 4. Cobertura forestal de Costa Rica desde 1940-2010. Fuente: Buczak, 2016 16
Imagen 5. Cualidades constructivas de la madera. Fuente: Zilic, 2021 16
Imagen 6. Panel prefabricado de entramado ligero de madera. Fuente: Habitissimo.es,2017 17
Imagen 7. Curva esfuerzo – tiempo, Patrick McLeamy. Fuente: Jurado, 2014. 17
Imagen 8. Cambio de la cobertura urbana 1986 - 2005 GAM. Fuente: Plan GAM. 18
Imagen 9. Algunos problemas que presenta la GAM. Fuente: elaboración propia. 19
Imagen 10. Ejes centrales de la investigación. Fuente: elaboración propia. 20
Imagen 11. Delimitación física del proyecto. Fuente: elaboración propia con datos del SNIT. 21
Imagen 12. Fuentes consultadas en el estado de la cuestión. Fuente: elaboración propia. 24
Imagen 13. Esquema de distancias convenientes para el modelo CDI. Fuente: Plan GAM 2013-2030. 25
Imagen 14. Lineamientos de intervención de Finca Echandi, tesis de licenciatura "Metodología de Análisis para la Implementación de Proyectos Urbanos en la Ciudad Compacta". Fuente: Borrero, 2015. 26
Imagen 15. Zonificación de usos en Edificio Numar, “Diseño de una propuesta de repoblamiento en el casco central de San José, a través del aprovechamiento de edificios en desuso y/o subutilización” Fuente: Pacheco, 2018. 27
Imagen 16. Vista del complejo de vivienda, proyecto Trópica: propuesta habitacional para la población adulta mayor. Fuente: Salazar y Tames, 2014. 28
Imagen 17. Proyectos de vivienda vertical del INVU: Multifamiliares Calderón Muñoz y Luis Alberto Monge. Fuente: Chaves y otros, 2019. 29
Imagen 18. Estrategias de sostenibilidad en arquitectura. Fuente: Acosta, 2009. 32
Imagen 19. Estrategias de sostenibilidad. Fuente: Marques y Lourero, 2013. 32
Imagen 20. Vivienda incremental Villa Verde, estudio ELEMENTAL. Fuente: archdaily.cl, 2016. 35
Imagen 21. Características del entramado ligero. Fuente: Peraza y otros (1995). 40
Imagen 22. Balloom frame. Fuente: Guía práctica para la Construcción de Viviendas de Madera con el Sistema Plataforma. (González y otros, 2011) 41
Imagen 23. Sistema platafoma. Fuente: Guía práctica para la Construcción de Viviendas de Madera con el Sistema Plataforma. (González y otros, 2011) 41
Imagen 24. Características del sistema Balloon Frame y sistema plataforma. Fuente: Peraza y otros (1995). 41
Imagen 25. Elementos generales en el sistema plataforma. Fuente: Guía práctica para la Construcción de Viviendas de Madera con el Sistema Plataforma. (González y otros, 2011) 42

Imagen 26. Diagrama de acciones verticales y horizontales en una construcción con entramado ligero. Fuente: Casas de Madera (Peraza y otros, 1995)..... 43
Imagen 27. Componentes de un entramado horizontal. Fuente: Guía práctica para la Construcción de Viviendas de Madera con el Sistema Plataforma. (González y otros, 2011) 44
Imagen 28. Anclaje de solera basal al cimiento. Fuente: Guía práctica para la Construcción de Viviendas de Madera con el Sistema Plataforma. (González y otros, 2011)..... 45
Imagen 29. Encuentro entre solera de amarre y envigado de entrepiso. Fuente: Guía Práctica para la Construcción de Viviendas de Madera con el Sistema Plataforma. (González y otros, 2011) 45
Imagen 30. Disposición de placas estructurales en diafragmas de piso. Fuente: Guía Práctica para la Construcción de Viviendas de Madera con el Sistema Plataforma (González y otros, 2011)..... 46
Imagen 31. Componentes de un entramado vertical. Fuente: Guía Práctica para la Construcción de Viviendas de Madera con el Sistema Plataforma (González y otros, 2011)..... 47
Imagen 32. Clavado de pie derecho a solera. Fuente: Guía Práctica para la Construcción de Viviendas de Madera con el Sistema Plataforma (González y otros, 2011)..... 47
Imagen 33. Encuentro de sobrecimiento con muro estructural. Fuente: Guía Práctica para la Construcción de Viviendas de Madera con el Sistema Plataforma. (González y otros, 2011) 48
Imagen 34. Disposición de pies derechos en uniones entre muros. Fuente: Guía Práctica para la Construcción de Viviendas con el Sistema Plataforma. (González y otros, 2011)..... 48
Imagen 35. Disposición de pies derechos en uniones entre muros. Fuente: Guía Práctica para la Construcción de Viviendas con el Sistema Plataforma. (González y otros, 2011)..... 49
Imagen 36. Errores en obra. Fuente: (González I., 2021)..... 50
Imagen 37. Criterios importantes en el sistema plataforma. Fuente: (Gonzalez I., 2021) 50
Imagen 38. Tipos de muros estructurales en entramado ligero. Fuente: (González I., 2021)..... 51
Imagen 39. Ilustración de muro de corte segmentado. Fuente: (González I., 2021)..... 52
Imagen 40. Esfuerzos en un muro de entramado ligero. Fuente: (González I.,2021)..... 52
Imagen 41. Criterios sísmicos en sistema plataforma. Fuente: (González I., 2021)..... 53
Imagen 42. Criterios contra incendio en sistema plataforma. Fuente (Gonález I., 2021)..... 54
Imagen 43. Transmisión del ruido en edificios. Fuente: (Morandi,2021)..... 55
Imagen 44. Criterios de comportamiento higrotérmico en sistema plataforma. (Ramírez, 2021)..... 56
Imagen 45. Elementos en un ensamble común de división interior-exterior. Fuente: (Zilic, 2021) 57
Imagen 46. Catálogo en línea de detalles constructivos. Fuente: catalogomadera.cl 58
Imagen 47. Proceso de diseño con entramado ligero. Fuente: Zilic (2021)..... 58
Imagen 48. Criterios de construcción sostenible. Fuente: Zilic (2021) 59
Imagen 49. Torre Experimental Peñuelas, construcción en sistema plataforma. Fuente: (madera.uc.cl, 2019)..... 60
Imagen 50. Ámbitos clave en el diseño de la Torre Experimental Peñuelas. Fuente: (madera.uc.cl,2019)..... 60
Imagen 51. Torre Experimental Peñuelas. Proceso de prefabricación y montaje. Fuente: (madera.uc.cl,2019)..... 61
Imagen 52. Tratamientos para mejorar la durabilidad de la madera. Fuente: (madera.uc cl,2019) . 61
Imagen 53. Torre Experimental Peñuelas. Elementos constructivos. Fuente: (madera.uc.cl, 2019).... 62
Imagen 54. Torre Experimental Peñuelas. Sistema ATS. Fuente: (madera.uc.cl,2019) 63
Imagen 55. Principales reglamentos para el proyecto. Fuente: elaboración propia. 64
Imagen 56. Enfoques de la investigación. Fuente: elaboración propia..... 65

Imagen 57. Variables del diseño experimental. Fuente: elaboración propia. 66
Imagen 58. Herramientas utilizadas en el diseño. Fuente: elaboración propia. 66
Imagen 59. Cuadro de concordancia de estrategia para la investigación. Fuente: elaboración propia. 67
Imagen 60. Perfiles de población objetivo, modelo VUIS. Fuente: (MIVAH, 2020) 70
Imagen 61. Características de un edificio VUIS. Fuente: (MIVAH, 2020) 70
Imagen 62. Programa arquitectónico base, modelo VUIS. Fuente: (MIVAH, 2020). 71
Imagen 63. Distritos alrededor de la zona de estudio. Fuente: elaboración propia con datos del SNIT. 72
Imagen 64. Gráfico sobre porcentaje de habitantes por distrito. Fuente: (Dirección de Desarrollo Urbano, 2020). 73
Imagen 65. Gráfico sobre densidad poblacional por km2. Fuente: (Dirección de Desarrollo Urbano, 2020) 73
Imagen 66. Gráfico sobre estructura etaria, proyección 2020. Fuente: (Dirección de Desarrollo Urbano, 2020). 74
Imagen 67. Gráfico sobre cantidad de mujeres y hombres por distrito. Proyección 2020. Fuente: (Dirección de Desarrollo Urbano, 2020). 75
Imagen 68. Gráfico sobre estructura etaria, cantón San José. Proyección 2020. Fuente: (Dirección de Desarrollo Urbano, 2020) 76
Imagen 69. Ámbitos de una vivienda. Fuente: (Falagan y otros, 2011). 77
Imagen 70. Modulación mínima para distintos espacios. Fuente: (Falagan y otros, 2011) 78
Imagen 71. Criterios para la conceptualización de la vivienda. Fuente: (Falagan y otros, 2011). 79
Imagen 72. Esquema de acceso a los distintos componentes del edificio. Fuente: elaboración propia. 80
Imagen 73. Porción del trazado a la misma escala de Hatillo 2 y 8. Fuente: (Araya, 2018). Vista aérea de Hatillo en Memorias del INVU 1967. Fuente: (Chaves y otros, 2019). 81
Imagen 74. Programa arquitectónico base para el edificio tipo. Fuente: elaboración propia 83
Imagen 75. Aspectos de sostenibilidad en Hatillo. Fuente: elaboración propia. 86
Imagen 76. Delimitación de zona macro. Fuente: elaboración propia con datos del SNIT. 87
Imagen 77. Lago del Parque Metropolitano La Sabana Padre Chapuí. Fotografía por el autor. 88
Imagen 78. Datos generales de los distritos Hatillo, Hospital y Mata Redonda. Fuente: (Dirección de Desarrollo Urbano, 2020) 89
Imagen 79. Mapa general del trazado urbano del cantón de San José. Fuente: elaboración propia con datos del SNIT. 90
Imagen 80. Mapa general de trama urbana y entorno construido, distritos Mata Redonda, Hospital y Hatillo. Fuente: elaboración propia con datos del SNIT. 91
Imagen 81. 1: edificaciones de gran escala en el distrito de Mata Redonda, 2: Parque de los Leones en Hatillo 2, 3: edificaciones residenciales en Hatillo 2. Fotografías tomadas por el autor. 92
Imagen 82. Mapa de los principales ejes de movilidad motorizada. Fuente: elaboración propia con datos del SNIT. 93
Imagen 83. Mapeo de los principales ejes de movilidad no motorizada. Fuente: elaboración propia con datos de Rutas Naturbanas y el SNIT. 94
Imagen 84. Mapeo de los principales elementos naturales. Fuente: elaboración propia con datos del SNIT. 95

Imagen 85. Zonas verdes y de recreación relacionadas a los ríos en los distritos de Hatillo, Hospital y Mata Redonda. 1: cancha de futbol en Parque de la Nacionalidad Costarricense, 2: vista desde el Parque de la Nacionalidad Costarricense hacia el terreno de la propuesta. Fotografías tomadas por el autor. 96
Imagen 86. Mapa de uso de suelo. Fuente: Municipalidad de San José 97
Imagen 87. Mapa de los principales elementos según cada uso. Fuente: elaboración propia con datos del SNIT. 98
Imagen 88. Consideraciones del análisis macro de la zona de estudio. Fuente: elaboración propia. 99
Imagen 89. Uso de suelo y terreno. Fuente: Municipalidad de San José. 100
Imagen 90. Mixticidad de usos de suelo. Fuente: elaboración propia. 101
Imagen 91. Consideraciones del predio. Fuente: elaboración propia. 101
Imagen 92. Isométrico de la topografía del sitio. Fuente: elaboración propia. 102
Imagen 93. Curvas de nivel del terreno y retiros por cuerpos de agua. Fuente: elaboración propia. 102
Imagen 94. Perfiles de la topografía del terreno. Fuente: elaboración propia. 103
Imagen 95. Consideraciones de la topografía. Fuente: elaboración propia. 103
Imagen 96. Gráfico sobre niveles de precipitación mensual. Fuente: IMN, datos promediados 2008-2018. 104
Imagen 97. Gráfico sobre valores de temperatura mensual. Fuente: IMN, datos promediados 2008-2018. 105
Imagen 98. Consideraciones del clima. Fuente: elaboración propia. 105
Imagen 99. Mapa de la presencia de vegetación circundante al terreno. Fuente: elaboración propia con datos del SNIT. 106
Imagen 100. Vistas hacia el centro de San José desde el terreno. Fuente: fotografía tomada por el autor. 106
Imagen 101. 1: Avenida 24 colindante sur del terreno, 2: Parque de los Leones en Hatillo 2, 3: alamedas residenciales en Hatillo 2. Fuente: fotografías tomadas por el autor. 107
Imagen 102. Consideraciones del sitio. Fuente: elaboración propia. 109
Imagen 103. Consideraciones del sitio. Fuente: elaboración propia. 110
Imagen 104. Consideraciones del terreno. Fuente: elaboración propia. 111
Imagen 105. Vista aérea del conjunto desde el norte. Fuente: elaboración propia. 114
Imagen 106. Conceptualización edificio tipo. Fuente: elaboración propia. 115
Imagen 107. Tipologías de apartamentos y configuración flexible del edificio tipo. Fuente: elaboración propia. 116
Imagen 108. Flexibilidad de usos en planta baja. Fuente: elaboración propia. 117
Imagen 109. Configuración urbana y de conjunto del edificio tipo. Fuente: elaboración propia. ... 118
Imagen 110. Nivel 1 tipos de comercio. Fuente: elaboración propia. 119
Imagen 111. Planta tipo apartamentos. Fuente: elaboración propia. 119
Imagen 112. Planta e isometría nivel 1. Fuente: elaboración propia. 120
Imagen 113. Elevador exterior. Fuente: elaboración propia. 121
Imagen 114. Planta e isometría nivel 2. Fuente: elaboración propia. 122
Imagen 115. Vistas internas apartamentos M4 y M6. Fuente: elaboración propia. 123
Imagen 116. Planta e isometría nivel 3. Fuente: elaboración propia. 124
Imagen 117. Vistas internas apartamentos M8 y M12. Fuente: elaboración propia. 125

Imagen 118. Planta e isometría nivel 4. Fuente: elaboración propia. 126
Imagen 119. Vistas internas, habitación principal apartamentos M8 y M12. Fuente: elaboración propia. 127
Imagen 120. Nivel 5 y cubierta. Fuente: elaboración propia. 128
Imagen 121. Vistas exteriores, terraza. Fuente: elaboración propia. 129
Imagen 122. Elevaciones y secciones edificio tipo. Fuente: elaboración propia. 130
Imagen 123. Tipologías de apartamento del edificio tipo. Fuente: elaboración propia. 131
Imagen 124. Porcentaje de áreas por componentes del edificio tipo. Fuente: elaboración propia. . 131
Imagen 125. Ductos y vías principales de instalaciones nivel 1. Fuente: elaboración propia. 132
Imagen 126. Vías principales de instalaciones nivel 2 y 4. Fuente: elaboración propia. 133
Imagen 127. Vías principales de instalaciones nivel 5 y cubierta. Fuente: elaboración propia. 134
Imagen 128. Recorridos de evacuación nivel 1 y 2. Fuente: elaboración propia. 135
Imagen 129. Recorridos de evacuación nivel 3 y 5. Fuente: elaboración propia. 136
Imagen 130. Metodología de diseño. Fuente: elaboración propia 137
Imagen 131. Requerimientos de distintos elementos estructurales en el edificio. Fuente: elaboración propia. 137
Imagen 132. Resistencia al fuego según cada elemento constructivo. Fuente: OGUC 138
Imagen 133. Cargas estructurales para edificios en entramado ligero. Fuente: Manual de Diseño de Estructuras en Madera (Montaño y otros, 2021) 139
Imagen 134. Requerimientos generales acústicos, estructurales y de resistencia al fuego. Fuente: OGUC 139
Imagen 135. Verificación columna. Fuente: elaboración propia. 140
Imagen 136. Verificación de vigas y viguetas 141
Imagen 137: Solución de entrepiso con requerimientos acústicos. Fuente: Laboratorio CPIA 142
Imagen 138. Propuesta de entrepiso. Fuente: elaboración propia 142
Imagen 139. Envigado de piso. Fuente: elaboración propia. 143
Imagen 140. Disposición de muros estructurales en dirección X-X y Y-Y. Fuente: elaboración propia. 143
Imagen 141. Áreas tributarias para cada muro estructural según la dirección X-X o Y-Y. Fuente: elaboración propia. 144
Imagen 142. Área tributaria sobre cada muro estructural y su relación con el largo. Fuente: elaboración propia. 145
Imagen 143. Sugerencia de prediseño de los PPDD intermedios de muros para edificios de 4 pisos. Fuente: Manual de Diseño de Estructuras en Madera (Montaño y otros, 2021) 146
Imagen 144. Sugerencia de prediseño de muros de corte y anclajes HD para edificios de 4 pisos. Fuente: Manual de Diseño de Estructuras en Madera (Montaño y otros, 2021) 146
Imagen 145. Cargas estructurales sobre el muro B1. Fuente: elaboración propia. 149
Imagen 146. Peso sísmico para cada nivel sobre el muro B1. Fuente: elaboración propia. 151
Imagen 147. Esfuerzos de corte y momento sobre el muro B1. Fuente: elaboración propia. 152
Imagen 148. Especificaciones del muro de corte B1 según software C+T. Fuente: elaboración propia. 153
Imagen 149. Clasificación de los muros según distinto tipo de ensamble requerido. Fuente: elaboración propia. 154
Imagen 150. Homologación de soluciones constructivas. Fuente: elaboración propia. 154

Imagen 151. Solución de muro perimetral F90. Fuente: (IDIEM, 2019). 155
Imagen 152. Ensamble propuesto para muro perimetral. Fuente: elaboración propia. 155
Imagen 153. Solución de muro divisorio. Fuente: (IDIEM, 2019). 156
Imagen 154. Propuesta de ensamble para muro divisorio entre unidades residenciales. Fuente: elaboración propia. 156
Imagen 155. Solución de muro con resistencia al fuego F120. Fuente: (IDIEM, 2019). 157
Imagen 156. Propuesta de ensamble para muro en escaleras. Fuente: elaboración propia. 157
Imagen 157. Protección bioclimática, edificio tipo. Fuente: elaboración propia. 158
Imagen 158. Proceso diseño, prefabricación y montaje. Fuente: elaboración propia. 159
Imagen 159. Esquema de proceso de ensamble. Fuente: elaboración propia. 162
Imagen 160. Componentes de un panel de entrepiso y un panel de muro. Fuente: elaboración propia. 163
Imagen 161. Isometría explotada de los paneles prefabricados del edificio tipo. Fuente: elaboración propia. 164
Imagen 162. Planta de conjunto general. Fuente: elaboración propia. 165
Imagen 163. Emplazamiento de los edificios tipo. Fuente: elaboración propia. 166
Imagen 164. Cualidades del emplazamiento. Fuente: elaboración propia. 167
Imagen 165. Vista exterior, huerta comunal. Fuente: elaboración propia. 169
Imagen 166. Vista exterior, espacio público. Fuente: elaboración propia. 171
Imagen 167. Vista exterior, mirador. Fuente: elaboración propia. 173
Imagen 168. Vista exterior, anfiteatro. Fuente: elaboración propia. 175
Imagen 169. Vista exterior, interacción vertical. Fuente: elaboración propia. 177
Imagen 170. Vista exterior, conexión peatonal calle pública. Fuente: elaboración propia. 179
Imagen 171. Sección A-A. Fuente: elaboración propia. 181
Imagen 172. Sección B-B. Fuente: elaboración propia. 183
Imagen 173. Vista en corte desde el oeste. Fuente: elaboración propia. 185
Imagen 174. Vista hacia el norte desde el anfiteatro. Fuente: elaboración propia. 187
Imagen 175. Vista hacia el norte, pasarela peatonal. Fuente: elaboración propia. 189
Imagen 176. Ingreso peatonal entre los edificios. Fuente: elaboración propia. 191
Imagen 177. Vista del proyecto desde la pasarela peatonal. Fuente: elaboración propia. 193
Imagen 178. Vista aérea del conjunto desde el oeste. Fuente: elaboración propia. 195
Imagen 179. Vista aérea del conjunto desde el sur. Fuente: elaboración propia. 197
Imagen 180. Vista del conjunto desde el norte. Fuente: elaboración propia. 199
Imagen 181. Vista en corte desde el este. Fuente: elaboración propia. 201
Imagen 182. Vista aérea del conjunto. Fuente: elaboración propia. 203
Imagen 183. Vista en corte desde el este. Fuente: elaboración propia. 205
Imagen 184. Tipos y cantidad de apartamentos según la configuración del edificio. 206
Imagen 185. Áreas construidas, de retiro y reforestación. 207
Imagen 186. Áreas del edificio tipo. Fuente: elaboración propia. 208
Imagen 187. Posibles fincas del INVU para proyectos de vivienda. Fuente: INVU. 209
Imagen 188. Estimación de costos por edificio tipo, obras externas y cálculo de cuota mensual para crédito bancario por costo de apartamento. Fuente: elaboración propia. 210
Imagen 189. Volumen (m^3) de madera, OSB y yeso cartón en el edificio tipo. 211

Imagen 190. Uso del software C+T a partir de los criterios de modulación. Fuente: elaboración propia. 213
Imagen 191. Muros de corte edificio tipo, concreto y entramado ligero. Fuente: elaboración propia. 214
Imagen 192. Posible conexión urbana del proyecto con el Parque de la Nacionalidad Costarricense. Fuente: elaboración propia. 215

Índice de tablas

Tabla 1. Valores sicrométricos entre humedad relativa del aire y temperatura, con la humedad equilibrio de la madera. Fuente: Madera: diseño y construcción. (Tuk, 2019) 38
Tabla 2. Tensiones admisibles para Pino Radiata CH=12%. Fuente: NCh 1198: Madera - Construcciones en Madera – Cálculo. 38
Tabla 3. Humedad equilibrio para la madera según su ubicación en el edificio. Fuente: NCh 1198: Maderas - Construcciones en madera - Cálculo. 39
Tabla 4. Dimensiones efectivas para elementos de madera. Fuente: NCh 1198: Maderas - Construcciones en madera – Cálculo. 40
Tabla 5. Espesor de tableros según el espaciado de vigas para su uso como diafragma horizontal. Fuente: Guía Práctica para la Construcción de Viviendas de Madera con el Sistema Plataforma. (González y otros, 2011) 46
Tabla 6. Variación porcentual de la población en los distritos centrales de San José según el período de 1950-2011. Fuente: (Dirección de Desarrollo Urbano, 2020). 72
Tabla 7. Tipos de paneles. Fuente: elaboración propia. 160
Tabla 8. Tipos de paneles. Fuente: elaboración propia. 161
Tabla 9. CO2 capturado por la madera y emitido por el yeso cartón utilizados en el edificio tipo. Fuente: elaboración propia. 213

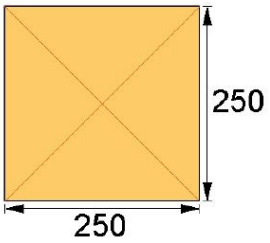
Verificaciones estructurales Software C+T. Columna.

Software C+T. Versión 1.5.2 - Full

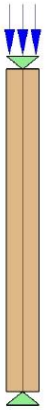
Nombre del proyecto	:	Cálculo columna aserrada
Tipo de elemento	:	Columna aserrada
Norma de cálculo	:	NCh 1198 (Chile)

Especificaciones del proyecto

Especie	:	Pino radiata
Grado estructural	:	GS
Contenido de humedad	:	15 %
Acabado	:	Cepillado
Tamaño de la sección	:	250mm x 250mm
País de la especie	:	Chile



Numero de columnas	:	1
Espaciamiento columnas	:	3188 mm
Largo columna	:	2440 mm

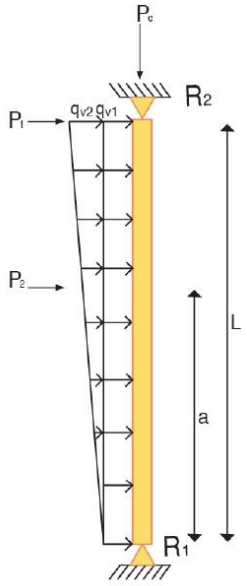


Página 1 de 6

Software C+T. Versión 1.5.2 - Full

Nombre del proyecto : Cálculo columna aserrada
Tipo de elemento : Columna aserrada
Norma de cálculo : NCh 1198 (Chile)

Tipo de apoyo : Articulado articulado
Restricción al pandeo eje X-X : Ninguna
Restricción al pandeo eje Y-Y : Ninguna



Cargas impuestas

Peso propio : 1742 [kg]
Sobrecarga de techo : 2420 [kg]
Sobrecarga de piso : 0 [kg]
Carga nieve : 0 [kg]

Cargas viento eje x uniformes

Descripción	Carga	Unidad	Longitud
Carga uniforme tramo 1	0	[kg/m2]	2440
Carga uniforme tramo 2	0	[kg/m2]	0
Carga uniforme tramo 3	0	[kg/m2]	0
Carga uniforme tramo 4	0	[kg/m2]	0

Software C+T. Versión 1.5.2 - Full

Nombre del proyecto : Cálculo columna aserrada
Tipo de elemento : Columna aserrada
Norma de cálculo : NCh 1198 (Chile)

Cargas viento eje y uniformes

Descripción	Carga	Unidad	Longitud
Carga uniforme tramo 1	0	[kg/m2]	2440
Carga uniforme tramo 2	0	[kg/m2]	0
Carga uniforme tramo 3	0	[kg/m2]	0
Carga uniforme tramo 4	0	[kg/m2]	0

Cargas viento eje x triangulares

Descripción	Carga	Unidad	Longitud
Carga triangular	0	[kg/m2]	2440

Cargas viento eje y triangulares

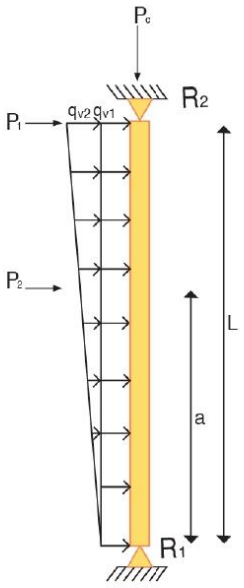
Descripción	Carga	Unidad	Longitud
Carga triangular	0	[kg/m2]	2440

Cargas laterales puntuales

Descripción	Carga	Unidad	Longitud	Posición
Carga puntual tramo 1	0	[kg]	2440	0
Carga puntual tramo 2	0	[kg]	2440	0
Carga puntual tramo 3	0	[kg]	0	0
Carga puntual tramo 4	0	[kg]	0	0

Software C+T. Versión 1.5.2 - Full

Nombre del proyecto : Cálculo columna aserrada
Tipo de elemento : Columna aserrada
Norma de cálculo : NCh 1198 (Chile)



Tensiones admisibles

Flexión : 11 MPa
Cizalle : 1,1 MPa
Compresión paralela : 8,5 MPa
Modulo de elasticidad : 10500 MPa

Software C+T. Versión 1.5.2 - Full

Nombre del proyecto : Cálculo columna aserrada
Tipo de elemento : Columna aserrada
Norma de cálculo : NCh 1198 (Chile)

Factores de modificación calculados

Nombre Factor	Valor Factor
Factor por humedad (KH) para flexion	0,92
Factor por humedad (KH) para cizalle	0,96
Factor por humedad (KH) para compresion paralela	0,86
Factor por humedad (KH) para modulo elasticidad	0,95
Factor por duración de carga en compresion (KDc)	1,25
Factor por duración de carga en flexion (KDf)	1,00
Factor de modificación por volcamiento en el eje X-X (KlambaX)	0,79
Factor de modificación por volcamiento en el eje Y-Y (KlambaY)	0,79
Factor de modificación por altura para elesticidad en el eje X-X (khEx)	1,00
Factor de modificación por altura para elesticidad en el eje Y-Y (khEy)	1,00
Combinacion cargas critica = D + Lr	0,00

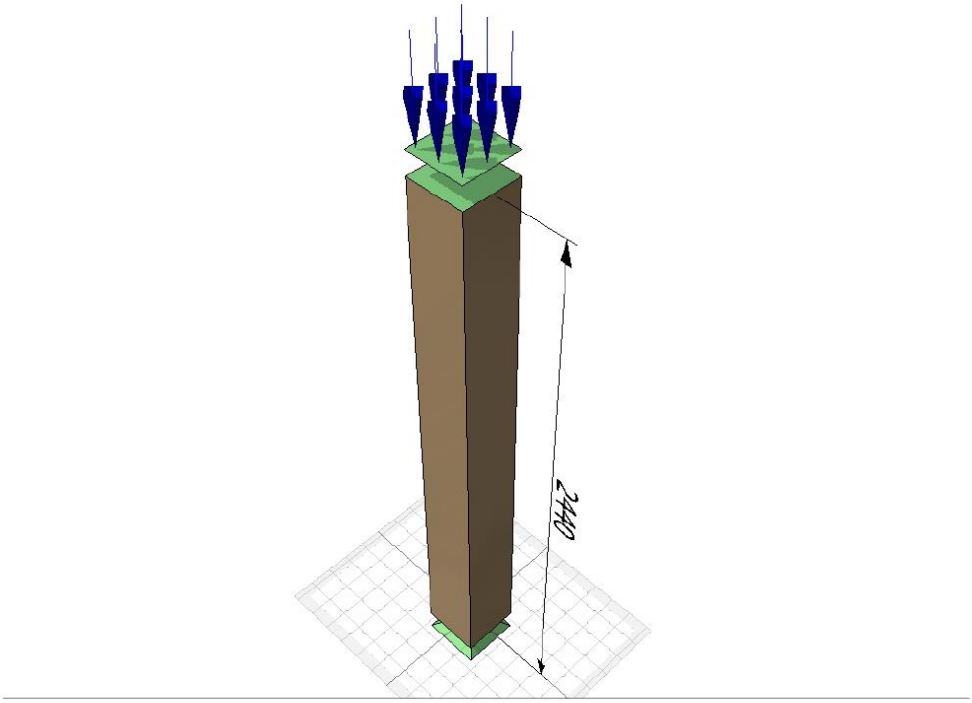
Valores de diseño, valores de trabajo y verificación de cálculo estructural

Propiedad	Valor diseño	Valor trabajo	Utilización	Verificación
Tensión en compresión paralela [MPa]	7,20	$0,65	9	Cumple

Software C+T. Versión 1.5.2 - Full

Nombre del proyecto : Cálculo columna aserrada
Tipo de elemento : Columna aserrada
Norma de cálculo : NCh 1198 (Chile)

Modelo 3D



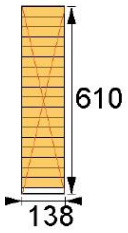
Verificaciones estructurales Software C+T. Viga.

Software C+T. Versión 1.5.2 - Full

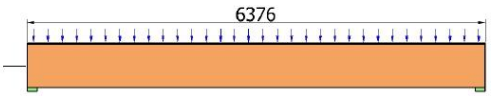
Nombre del proyecto : Cálculo viga laminada
Tipo de elemento : Viga de piso
Norma de cálculo : NCh 1198 (Chile)

Especificaciones del proyecto

Especie : Pino radiata
Grado estructural : Un grado de láminas - Grado A
Contenido de humedad : 15 %
Acabado : Cepillado
Tamaño de la sección : 138mm x 610mm
Espesor de las laminas : 33
País de la especie : Chile



Espaciamiento entre vigas : 3188 mm
Restricción al volcamiento : Restriccion continua



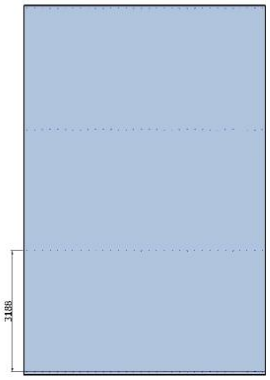
Deformación admisible para carga total : L /300
Deformación admisible para sobrecarga : L /360

Página 1 de 6

Software C+T. Versión 1.5.2 - Full

Nombre del proyecto : Cálculo viga laminada
Tipo de elemento : Viga de piso
Norma de cálculo : NCh 1198 (Chile)

Viga : simplemente apoyada
Largo de la viga entre apoyos : 6376 mm
Ancho del apoyo : 138 mm



Cargas permanentes distribuidas

Descripción	Carga	Unidad	Longitud
Carga uniforme tramo 1	150	[kg/m2]	6376
Carga uniforme tramo 2	0	[kg/m2]	0
Carga uniforme tramo 3	0	[kg/m2]	0
Carga uniforme tramo 4	0	[kg/m2]	0

Cargas permanentes puntuales

Descripción	Posición	Carga	Unidad	Longitud
Carga puntual tramo 1	0	0	[kg]	6376
Carga puntual tramo 2	0	0	[kg]	0
Carga puntual tramo 3	0	0	[kg]	0
Carga puntual tramo 4	0	0	[kg]	0

Software C+T. Versión 1.5.2 - Full

Nombre del proyecto : Cálculo viga laminada
Tipo de elemento : Viga de piso
Norma de cálculo : NCh 1198 (Chile)

Cargas sobre carga uso distribuidas

Descripción	Carga	Unidad	Longitud
Carga uniforme tramo 1	200	[kg/m2]	6376
Carga uniforme tramo 2	0	[kg/m2]	0
Carga uniforme tramo 3	0	[kg/m2]	0
Carga uniforme tramo 4	0	[kg/m2]	0

Cargas sobre carga uso puntuales

Descripción	Posición	Carga	Unidad	Longitud
Carga puntual tramo 1	0	0	[kg]	6376
Carga puntual tramo 2	0	0	[kg]	0
Carga puntual tramo 3	0	0	[kg]	0
Carga puntual tramo 4	0	0	[kg]	0

Cargas nieve distribuidas

Descripción	Carga	Unidad	Longitud
Carga uniforme tramo 1	0	[kg/m2]	6376
Carga uniforme tramo 2	0	[kg/m2]	0
Carga uniforme tramo 3	0	[kg/m2]	0
Carga uniforme tramo 4	0	[kg/m2]	0

Cargas nieve puntuales

Descripción	Posición	Carga	Unidad	Longitud
Carga puntual tramo 1	0	0	[kg]	6376
Carga puntual tramo 2	0	0	[kg]	0
Carga puntual tramo 3	0	0	[kg]	0
Carga puntual tramo 4	0	0	[kg]	0

Software C+T. Versión 1.5.2 - Full

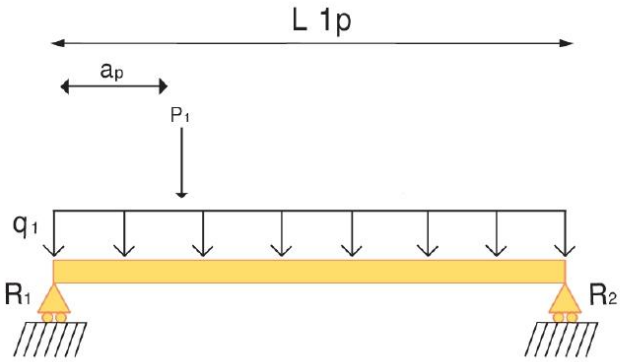
Nombre del proyecto : Cálculo viga laminada
Tipo de elemento : Viga de piso
Norma de cálculo : NCh 1198 (Chile)

Carga viento uniforme distribuida

Descripción	Carga	Unidad	Longitud
Carga uniforme tramo 1	0	[kg/m2]	6376
Carga uniforme tramo 2	0	[kg/m2]	0
Carga uniforme tramo 3	0	[kg/m2]	0
Carga uniforme tramo 4	0	[kg/m2]	0

Carga viento triangular distribuida

Descripción	Carga	Unidad	Longitud
Carga triangular	0	[kg/m2]	6376



Tensiones admisibles

Flexión : 7,89 MPa
Cizalle : 1,3 MPa
Compresión normal : 2,8 MPa
Modulo de elasticidad : 10450 MPa

Software C+T. Versión 1.5.2 - Full

Nombre del proyecto : Cálculo viga laminada
Tipo de elemento : Viga de piso
Norma de cálculo : NCh 1198 (Chile)

Factores de modificación calculados

Nombre Factor	Valor Factor
Factor por humedad (KH) para flexion	1,00
Factor por humedad (KH) para cizalle	1,00
Factor por humedad (KH) para compresion normal	1,00
Factor por humedad (KH) para modulo elasticidad	1,00
Factor por duración de carga (KD)	1,00
Factor por por trabajo conjunto en flexion (KC)	1,00
Factor por altura de viga (Khf)	0,92
Factor por volcamiento (Kλv)	1,00
Factor por altura para elasticidad (KhE)	1,00
Factor por rebaje en el apoyo (Kr)	1,00
Factor por aplastamiento (Kcn)	0,80
Factor por concentracion de tensiones (Kct)	1,00
Factor por volumen (KV)	0,93
Combinacion cargas critica = D + Lf	0,00

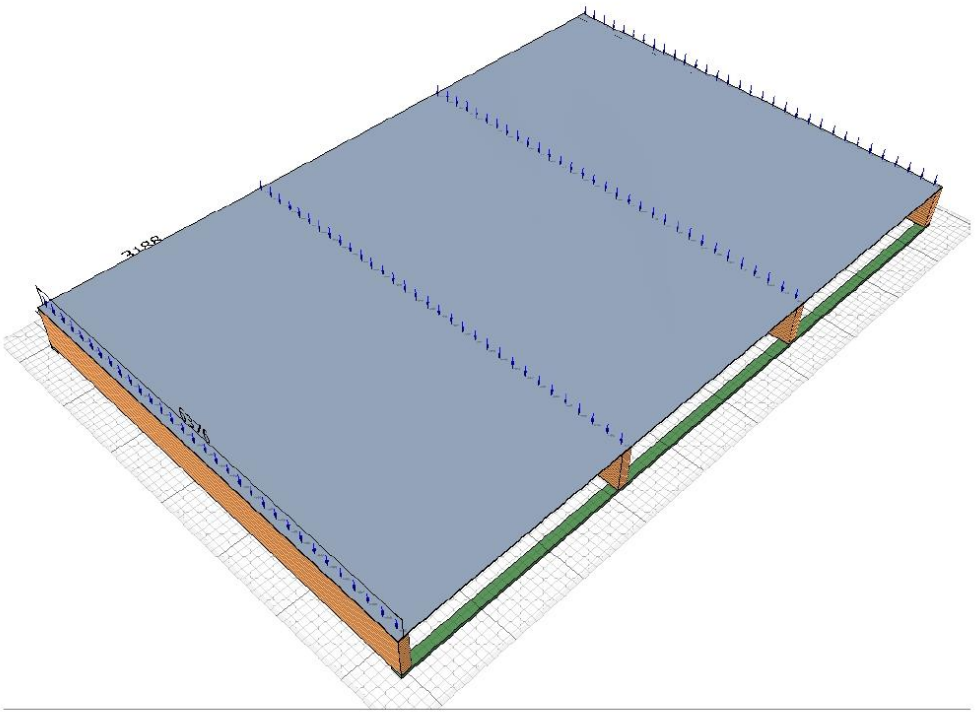
Valores de diseño, valores de trabajo y verificación de cálculos estructural

Propiedad	Valor Diseño	Valor Trabajo	Utilización	Verificación
Tensión en flexion [MPa]	7,33	6,91	94	Cumple
Tensión en cizalle [MPa]	1,30	0,66	51	Cumple
Tensión en compresión normal [MPa]	2,24	1,95	87	Cumple
Deformación total [mm]	21,25	9,66	45	Cumple
Deformación sobrecarga [mm]	17,71	5,19	29	Cumple

Software C+T. Versión 1.5.2 - Full

Nombre del proyecto : Cálculo viga laminada
Tipo de elemento : Viga de piso
Norma de cálculo : NCh 1198 (Chile)

Modelo 3D



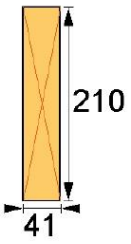
Verificaciones estructurales Software C+T. Vigueta.

Software C+T. Versión 1.5.2 - Full

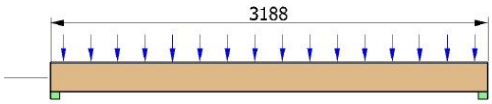
Nombre del proyecto : Cálculo Viga Estructural
Tipo de elemento : Viga de piso
Norma de cálculo : NCh 1198 (Chile)

Especificaciones del proyecto

Especie : Pino radiata
Grado estructural : GS
Contenido de humedad : 15 %
Acabado : Cepillado
Tamaño de la sección : 41mm x 210mm
País de la especie : Chile



Espaciamiento entre vigas : 406 mm
Restricción al volcamiento : Restriccion continua



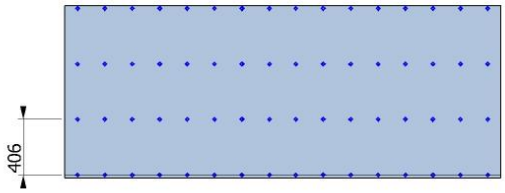
Deformación admisible para carga total : L /300
Deformación admisible para sobrecarga : L /360

Página 1 de 6

Software C+T. Versión 1.5.2 - Full

Nombre del proyecto : Cálculo Viga Estructural
Tipo de elemento : Viga de piso
Norma de cálculo : NCh 1198 (Chile)

Viga : Simplemente apoyada
Largo de la viga entre apoyos : 3188 mm
Ancho del apoyo : 69 mm



Cargas permanentes distribuidas

Descripción	Carga	Unidad	Longitud
Carga uniforme tramo 1	150	[kg/m2]	3188
Carga uniforme tramo 2	0	[kg/m2]	0
Carga uniforme tramo 3	0	[kg/m2]	0
Carga uniforme tramo 4	0	[kg/m2]	0

Cargas permanentes puntuales

Descripción	Posición	Carga	Unidad	Longitud
Carga puntual tramo 1	0	0	[kg]	3188
Carga puntual tramo 2	0	0	[kg]	0
Carga puntual tramo 3	0	0	[kg]	0
Carga puntual tramo 4	0	0	[kg]	0

Software C+T. Versión 1.5.2 - Full

Nombre del proyecto : Cálculo Viga Estructural
Tipo de elemento : Viga de piso
Norma de cálculo : NCh 1198 (Chile)

Cargas sobre carga uso distribuidas

Descripción	Carga	Unidad	Longitud
Carga uniforme tramo 1	200	[kg/m2]	3188
Carga uniforme tramo 2	0	[kg/m2]	0
Carga uniforme tramo 3	0	[kg/m2]	0
Carga uniforme tramo 4	0	[kg/m2]	0

Cargas sobre carga uso puntuales

Descripción	Posición	Carga	Unidad	Longitud
Carga puntual tramo 1	0	0	[kg]	3188
Carga puntual tramo 2	0	0	[kg]	0
Carga puntual tramo 3	0	0	[kg]	0
Carga puntual tramo 4	0	0	[kg]	0

Cargas nieve distribuidas

Descripción	Carga	Unidad	Longitud
Carga uniforme tramo 1	0	[kg/m2]	3188
Carga uniforme tramo 2	0	[kg/m2]	0
Carga uniforme tramo 3	0	[kg/m2]	0
Carga uniforme tramo 4	0	[kg/m2]	0

Cargas nieve puntuales

Descripción	Posición	Carga	Unidad	Longitud
Carga puntual tramo 1	0	0	[kg]	3188
Carga puntual tramo 2	0	0	[kg]	0
Carga puntual tramo 3	0	0	[kg]	0
Carga puntual tramo 4	0	0	[kg]	0

Software C+T. Versión 1.5.2 - Full

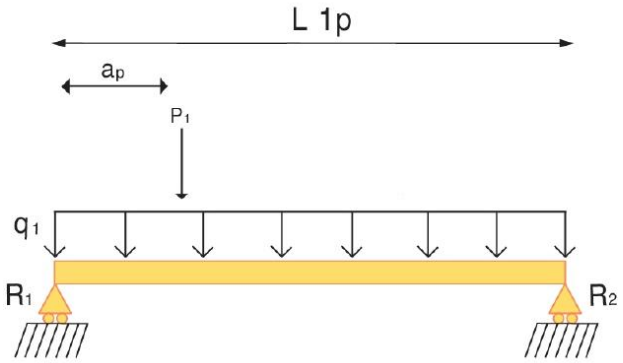
Nombre del proyecto : Cálculo Viga Estructural
Tipo de elemento : Viga de piso
Norma de cálculo : NCh 1198 (Chile)

Carga viento uniforme distribuida

Descripción	Carga	Unidad	Longitud
Carga uniforme tramo 1	0	[kg/m2]	3188
Carga uniforme tramo 2	0	[kg/m2]	0
Carga uniforme tramo 3	0	[kg/m2]	0
Carga uniforme tramo 4	0	[kg/m2]	0

Carga viento triangular distribuida

Descripción	Carga	Unidad	Longitud
Carga triangular	0	[kg/m2]	3188



Tensiones admisibles

Flexión : 11 MPa
Cizalle : 1,1 MPa
Compresión normal : 2,5 MPa
Modulo de elasticidad : 10500 MPa

Software C+T. Versión 1.5.2 - Full

Nombre del proyecto : Cálculo Viga Estructural
Tipo de elemento : Viga de piso
Norma de cálculo : NCh 1198 (Chile)

Factores de modificación calculados

Nombre Factor	Valor Factor
Factor por humedad (KH) para flexion	0,92
Factor por humedad (KH) para cizalle	0,96
Factor por humedad (KH) para compresion normal	0,90
Factor por humedad (KH) para modulo elasticidad	0,95
Factor por duración de carga (KD)	1,00
Factor por por trabajo conjunto en flexion (KC)	1,15
Factor por altura de viga (Khf)	0,84
Factor por volcamiento (Kλv)	1,00
Factor por altura para elasticidad (KhE)	1,00
Factor por rebaje en el apoyo (Kr)	1,00
Factor por aplastamiento (Kcn)	0,80
Factor por concentracion de tensiones (Kct)	1,00
Factor por volumen (KV)	1,00
Combinacion cargas critica = D + Lf	0,00

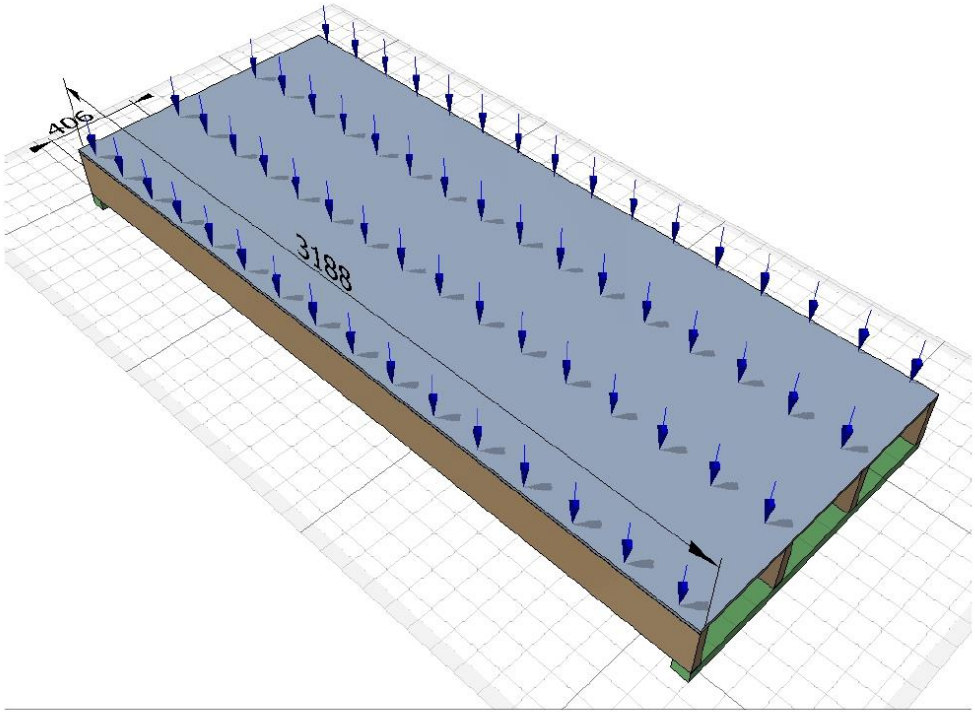
Valores de diseño, valores de trabajo y verificación de cálculos estructural

Propiedad	Valor Diseño	Valor Trabajo	Utilización	Verificación
Tensión en flexion [MPa]	9,88	6,21	63	Cumple
Tensión en cizalle [MPa]	1,05	0,41	39	Cumple
Tensión en compresión normal [MPa]	1,80	0,83	46	Cumple
Deformación total [mm]	10,63	10,47	99	Cumple
Deformación sobrecarga [mm]	8,86	5,66	64	Cumple

Software C+T. Versión 1.5.2 - Full

Nombre del proyecto : Cálculo Viga Estructural
Tipo de elemento : Viga de piso
Norma de cálculo : NCh 1198 (Chile)

Modelo 3D



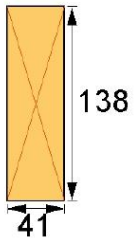
Verificaciones estructurales Software C+T. Pie derecho

Software C+T. Versión 1.5.2 - Full

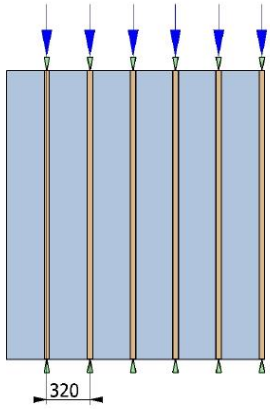
Nombre del proyecto	:	Cálculo columna aserrada
Tipo de elemento	:	Columna aserrada
Norma de cálculo	:	NCh 1198 (Chile)

Especificaciones del proyecto

Especie	:	Pino radiata
Grado estructural	:	G2
Contenido de humedad	:	15 %
Acabado	:	Cepillado
Tamaño de la sección	:	41mm x 138mm
País de la especie	:	Chile



Numero de columnas	:	6
Espaciamiento columnas	:	320 mm
Largo columna	:	2135 mm

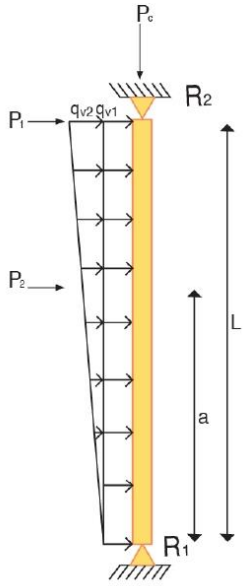


Página 1 de 6

Software C+T. Versión 1.5.2 - Full

Nombre del proyecto : Cálculo columna aserrada
Tipo de elemento : Columna aserrada
Norma de cálculo : NCh 1198 (Chile)

Tipo de apoyo : Articulado articulado
Restricción al pandeo eje X-X : Continua
Restricción al pandeo eje Y-Y : Ninguna



Cargas impuestas

Peso propio : 846 [kg]
Sobrecarga de techo : 166 [kg]
Sobrecarga de piso : 996 [kg]
Carga nieve : 0 [kg]

Cargas viento eje x uniformes

Descripción	Carga	Unidad	Longitud
Carga uniforme tramo 1	70	[kg/m2]	2135
Carga uniforme tramo 2	0	[kg/m2]	0
Carga uniforme tramo 3	0	[kg/m2]	0
Carga uniforme tramo 4	0	[kg/m2]	0

Software C+T. Versión 1.5.2 - Full

Nombre del proyecto : Cálculo columna aserrada
Tipo de elemento : Columna aserrada
Norma de cálculo : NCh 1198 (Chile)

Cargas viento eje y uniformes

Descripción	Carga	Unidad	Longitud
Carga uniforme tramo 1	0	[kg/m2]	2135
Carga uniforme tramo 2	0	[kg/m2]	0
Carga uniforme tramo 3	0	[kg/m2]	0
Carga uniforme tramo 4	0	[kg/m2]	0

Cargas viento eje x triangulares

Descripción	Carga	Unidad	Longitud
Carga triangular	0	[kg/m2]	2135

Cargas viento eje y triangulares

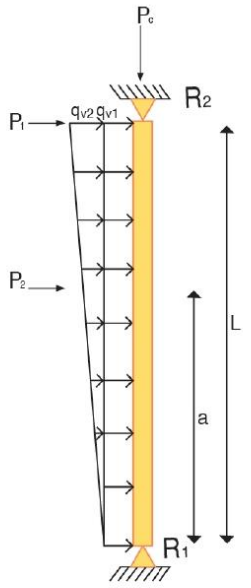
Descripción	Carga	Unidad	Longitud
Carga triangular	0	[kg/m2]	2135

Cargas laterales puntuales

Descripción	Carga	Unidad	Longitud	Posición
Carga puntual tramo 1	0	[kg]	2135	0
Carga puntual tramo 2	0	[kg]	2135	0
Carga puntual tramo 3	0	[kg]	0	0
Carga puntual tramo 4	0	[kg]	0	0

Software C+T. Versión 1.5.2 - Full

Nombre del proyecto : Cálculo columna aserrada
Tipo de elemento : Columna aserrada
Norma de cálculo : NCh 1198 (Chile)



Tensiones admisibles

Flexión : 5,4 MPa
Cizalle : 1,1 MPa
Compresión paralela : 6,5 MPa
Modulo de elasticidad : 8900 MPa

Software C+T. Versión 1.5.2 - Full

Nombre del proyecto : Cálculo columna aserrada
Tipo de elemento : Columna aserrada
Norma de cálculo : NCh 1198 (Chile)

Factores de modificación calculados

Nombre Factor	Valor Factor
Factor por humedad (KH) para flexion	0,92
Factor por humedad (KH) para cizalle	0,96
Factor por humedad (KH) para compresion paralela	0,86
Factor por humedad (KH) para modulo elasticidad	0,95
Factor por duración de carga en compresion (KDc)	1,00
Factor por duración de carga en flexion (KDf)	1,60
Factor de modificación por volcamiento en el eje X-X (KlambaX)	1,00
Factor de modificación por volcamiento en el eje Y-Y (KlambaY)	0,65
Factor de modificación por altura para elesticidad en el eje X-X (khEx)	0,94
Factor de modificación por altura para elesticidad en el eje Y-Y (khEy)	0,69
Combinacion cargas critica = D + Lf + W	0,00

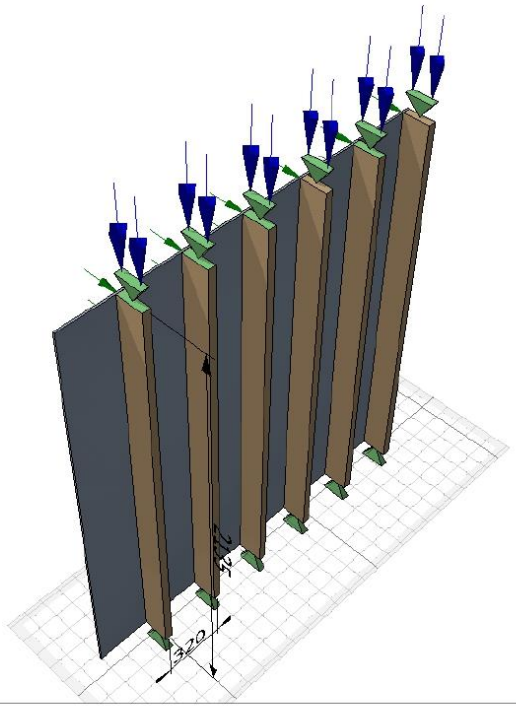
Valores de diseño, valores de trabajo y verificación de cálculo estructural

Propiedad	Valor diseño	Valor trabajo	Utilización	Verificación
Tensión en compresión paralela [MPa]	3,62	$3,19	88	Cumple
Tensión en flexión x-x [MPa]	8,44	$0,96	11	Cumple
Verificación interacción	1,00	$0,95	95	Cumple

Software C+T. Versión 1.5.2 - Full

Nombre del proyecto : Cálculo columna aserrada
Tipo de elemento : Columna aserrada
Norma de cálculo : NCh 1198 (Chile)

Modelo 3D



Diferentes tipos de paneles utilizados en el edificio tipo

TIPOS DE PANELES	
Tipo	Cantidad
P1	2
P2	2
P3	2
P4	3
P5	2
P6	1
P7	1
P8	3
P9	2
P9.5	2
P10	2
P11	2
P12	2
P13	2
P14	9
P15	3
P16	2
P17	4
P18	4
P19	3
P20	4
P21	6
P22	3
P23	4
P24	2
P25	3
P26	2
P27	2

TIPOS DE PANELES	
Tipo	Cantidad
P28	3
P29	3
P30	4
P31	2
P32	2
P33	2
P34	4
P35	2
P36	3
P37	2
P38	15
P39	30
P40	12
P41	3
P42	2
P43	2
P44	2
PE1	25
PE2	6
PE3	6
PE4	6
PE5	5
PT1	2
PT2	2
PT3	6
PT4	6

Grand total: 236

Proyecto de graduación

Maickol Esteban Badilla López
Arquitectura y Urbanismo