

UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA

DEPARTAMENTO DE ARQUITECTURA

SANTIAGO DE CHILE - CHILE



UNIVERSIDAD TECNICA
FEDERICO SANTA MARIA

**EVALUACIÓN DE REQUERIMIENTOS TÉRMICOS, INTEGRACIÓN DE ESTRATEGIAS
BIOCLIMÁTICAS Y DESAFÍOS NORMATIVOS EN LA VIVIENDA SOCIAL
INDUSTRIALIZADA EN ACERO EN LA REGIÓN DE COQUIMBO**

Autor: Antonia Catalina Grasset Pérez

Memoria de titulación para optar al título de Arquitecta

Profesor Guía: Belén Jiménez

Profesor Correferente: Pablo Sills

28 de Noviembre de 2025



CONSTANCIA DE VALIDACIÓN Y CONFIDENCIALIDAD DE MONOGRAFÍA A REPOSITORIO ACADÉMICO

1.- IDENTIFICACIÓN DEL TRABAJO ACADÉMICO

Tipo de monografía (marcar una opción): Memoria o trabajo de título Tesis de Postgrado

Título del trabajo: Evaluación de requerimientos térmicos, integración de estrategias bioclimáticas y desafíos normativos en la vivienda social industrializada en acero en la Región de Coquimbo

Nombre del candidato(a): Antonia Catalina Grasset Pérez

Carrera / Grado: Arquitectura

Campus: San Joaquín

Departamento: Arquitectura

2.- VALIDACIÓN DEL PROFESOR GUÍA/DIRECTOR DE TESIS

Yo, María Belén Jiménez Ramírez, en mi calidad de profesora guía/directora del trabajo académico mencionado anteriormente **DEJO CONSTANCIA** que:

- He revisado esta versión del documento y corresponde a la versión final aprobada del trabajo.
- El trabajo cumple con los requisitos académicos y de formato establecidos por la institución.

3.- EVALUACIÓN DE CONFIDENCIALIDAD POR PROPIEDAD INDUSTRIAL (marcar una opción)

El trabajo **NO contiene** información que amerite confidencialidad y puede ser publicado de inmediato en repositorio con acceso abierto.

El trabajo **CONTIENE** información con potenciales implicancias de propiedad industrial o intelectual y requiere un periodo de confidencialidad (**embargo**) por (**marcar una opción**):

6 meses 12 meses 2 años 3 años 5 años 10 años

Fundamentación de la necesidad de confidencialidad (obligatorio si se solicita embargo):

4.- FIRMAS

Profesor(a) guía o director(a) de memoria o tesis:

Fecha: 12/01/2026

Firma: 

Estudiante o Candidato(a):

Fecha: 12/01/2026

Firma: 

Este formulario debe ser insertado como página 2 de la memoria o tesis, completado y firmado por estudiante y profesor(a) antes de la entrega en portal PRISMA de Biblioteca USM.

AGRADECIMIENTOS

Quiero agradecer profundamente a quienes hicieron posible este proceso.

A mis profesores, por su guía, exigencia y confianza durante todo el desarrollo de mi carrera. En especial, agradezco a mis profesores guías por orientarme con claridad y por acompañar cada decisión con paciencia y criterio.

A mi familia, por su apoyo incondicional, por recordarme siempre mi capacidad y por estar presentes en cada etapa de este camino. Gracias por creer en mí incluso cuando yo dudaba.

A mi pareja, por su compañía, su paciencia infinita y por estar conmigo en todo este proceso. Gracias por su apoyo incondicional, por celebrar mis avances y por acompañarme con amor en los momentos de mayor presión.

A mis amigos y compañeros, por su apoyo, las conversaciones y la compañía que hizo este recorrido más llevadero. Gracias por recordarme que no estaba sola en este proceso.

A Biourban, por abrirme las puertas, por compartir su experiencia y por permitirme aprender desde la práctica real.

Esta memoria aborda el estudio de la vivienda social industrializada desde tres escalas complementarias: el plan maestro, la envolvente arquitectónica y el desempeño normativo del sistema modular en acero. A partir del proyecto ancla desarrollado durante la práctica profesional, se examina cómo las decisiones tempranas de diseño influyen en la calidad ambiental, la eficiencia energética y la habitabilidad cotidiana.

En el Tema I, se analizan los criterios de la Certificación de Vivienda Sustentable (CVS) aplicados al conjunto habitacional, evidenciando cómo la orientación de los volúmenes, la topografía, la vegetación y la definición de circulaciones contribuyen a mejorar ventilación natural, accesibilidad, confort exterior y desempeño ambiental urbano.

El Tema II profundiza en la escala edificio, estudiando estrategias pasivas aplicadas a una tipología modular, como fachadas

ventiladas, aleros, celosías y control solar orientado. A través de simulaciones lumínico-térmicas y análisis higrotérmicos, se demuestra que una envolvente liviana puede alcanzar comportamientos eficientes cuando existe coherencia entre diseño, clima y materialidad.

Finalmente, el Tema III evalúa el cumplimiento de la Reglamentación Térmica 2025 (RT-2025) en el sistema modular ATCO Sabinco, considerando transmitancia, condensación, hermeticidad e infiltraciones. El estudio revela fortalezas y desafíos propios de los sistemas livianos, destacando la relevancia del montaje, la continuidad del plano hermético y el control de puentes térmicos.

El estudio confirma que la industrialización modular no solo es compatible con la sustentabilidad, sino que puede potenciarla cuando el diseño integra, desde el inicio, criterios bioclimáticos, normativos y urbanos.

ABSTRACT

This thesis examines industrialized social housing through three complementary scales: the master plan, the architectural envelope, and the regulatory performance of the steel modular system. Based on the anchor project developed during the professional practice, it analyzes how early design decisions influence the environmental quality, energy efficiency, and everyday habitability of the housing complex. From this framework, the work is organized into three central themes.

Theme I explores the criteria of the Sustainable Housing Certification (CVS) applied to the housing complex, highlighting how the orientation of the volumes, topography, and circulation layout contribute to improving natural ventilation, accessibility, outdoor comfort, and the integration of the project with its immediate urban context.

Theme II focuses on the thermal performance of the steel modular system, studying passive design strategies applied to a lightweight typology, such as ventilated façades, overhangs, louvers, and solar control in critical orientations.

Through daylight and thermal simulations, it demonstrates that a lightweight envelope can achieve appropriate performance when design decisions, climate, and materiality are coherently aligned, particularly in systems with low thermal mass and linear thermal bridges.

Theme III evaluates the compliance of the ATCO Sabinco modular system with the 2025 Thermal Regulation (RT-2025), considering thermal transmittance, condensation, airtightness, and air infiltration. The analysis reveals both the strengths of the system, precision, repeatability, and factory-controlled fabrication, and its challenges related to on-site assembly, especially the module-to-module joint and the continuity of the airtight layer, which directly affect indoor thermal stability.

Overall, the study confirms that modular industrialization is not only compatible with sustainability, but can be strengthened when bioclimatic criteria, early design decisions, and a clear understanding of regulatory requirements are integrated from the outset of the project.

GLOSARIO

Aislación térmica: Material que reduce el flujo de calor a través de la envolvente; depende de espesor, continuidad y conductividad térmica.

Análisis higrotérmico: Estudio que evalúa temperatura y humedad dentro de un elemento para identificar riesgo de condensación.

Cámara ventilada: Espacio de aire entre muro y revestimiento reduce sobrecalentamiento y humedad.

Cerramientos: Elementos constructivos que conforman la envolvente del edificio.

Condensación intersticial: Acumulación de humedad dentro de un elemento constructivo por descenso de temperatura bajo el punto de rocío.

Condensación superficial: Formación de humedad visible en la superficie interior de un muro o ventana por enfriamiento superficial.

Conductividad térmica (λ): Capacidad de un material para conducir calor; valores menores indican mejor aislación.

Confort térmico: Condición en que las personas perciben el ambiente como térmicamente neutro.

Envolvente térmica: Conjunto de muros, techos, ventanas, pisos y juntas que separan interior y exterior del edificio.

Estrategias pasivas: Recursos arquitectónicos que aprovechan las condiciones climáticas naturales para mejorar el confort sin sistemas mecánicos.

Infiltración de aire: Entrada no controlada de aire exterior a través de discontinuidades de la envolvente.

Inercia térmica: Capacidad de un material para almacenar y liberar calor lentamente.

Puente térmico: Zona de mayor flujo de calor causada por materiales conductivos o discontinuidades en el aislante.

Transmitancia térmica (U): Cantidad de calor que atraviesa un elemento constructivo por unidad de superficie.

INDICE

01

Práctica Proyectual

- 1.1 Modalidad práctica proyectual
- 1.2 Oficina de arquitectura Biourban

02

Proyecto Ancla

- 2.1 Proyecto Conjunto Habitacional de Vivienda Social Industrializada en Ovalle
- 2.2 Contexto climático
- 2.3 Métodos Modernos de Construcción (MMC)
- 2.4 Sistema constructivo
- 2.5 Planimetría proyecto
- 2.6 Rol desempeñado
- 2.7 Problemática de estudio

03

Desarrollo de Temas

- 3.1 **Tema I: Integración de criterios sustentables en el plan maestro del conjunto habitacional**
 - 3.1.1 Introducción
 - 3.1.2 Criterios sustentables
 - 3.1.3 Evaluación del diseño del plan maestro
 - 3.1.4 Reflexión

3.2 Tema II: Problemáticas térmicas de la construcción modular en acero y su mitigación con estrategias bioclimáticas

3.2.1 Introducción

3.2.2 Problemáticas de los sistemas constructivos industrializados en acero

3.2.3 Estrategias bioclimáticas pasivas

3.2.4 Reflexión

3.3 Tema III: Compatibilidad entre el sistema constructivo industrializado en acero y la reglamentación térmica 2025: desafíos proyectuales para la vivienda social

3.3.1 Introducción

3.3.2 Nueva reglamentación térmica 2025

3.3.3 Exigencias claves de la reglamentación térmica 2025 en el sistema constructivo industrializado

3.3.4 Reflexión

04

Reflexión general

05

Referencias

06

Anexos

6.1 Fichas mensuales

PRÁCTICA PROYECTUAL

BIOURBAN

1.1 MODALIDAD PRÁCTICA PROYECTUAL

La presente memoria se desarrolla bajo la modalidad de práctica proyectual, una de las alternativas de titulación del Departamento de Arquitectura de la Universidad Técnica Federico Santa María. Esta modalidad permite que el estudiante se integre a una oficina y participe directamente en el desarrollo de un proyecto real, aprendiendo desde la práctica profesional y enfrentando decisiones, responsabilidades y metodologías propias del ejercicio laboral.

Un aspecto central de esta modalidad es que el trabajo de titulación se organiza en base a tres temas de estudio, definidos a partir de las tareas y desafíos enfrentados durante la práctica. Estos temas funcionan como ejes que guían el análisis y la reflexión.

Mi práctica fue realizada en Biourban Arquitectos, bajo la supervisión de Manuel Novoa Tonda, arquitecto y doctor en Energía y Medio Ambiente. Durante ocho meses formé parte del equipo, presentando avances mensuales, revisando decisiones de proyecto y aprendiendo directamente desde la experiencia cotidiana de oficina. Este proceso se convirtió en un espacio

donde la práctica y la memoria avanzaban juntas: lo que iba entendiendo en el proyecto se convertía, al mismo tiempo, en material de estudio y reflexión.

Los tres temas que estructuran este documento surgen directamente del trabajo realizado en la oficina y de los aprendizajes obtenidos durante la práctica. El primero corresponde a criterios sustentables, vinculados al diseño bioclimático y a las decisiones de implantación y forma a escala del conjunto. El segundo aborda el análisis térmico del sistema modular, identificando las problemáticas térmicas y evaluando cómo distintas estrategias pasivas a escala edificio permiten mejorar su comportamiento frente a las exigencias actuales de desempeño. El tercer tema se enfoca en la normativa, especialmente en las implicancias de la Reglamentación Térmica 2025 y su relación con los sistemas industrializados. Cada uno de estos temas se desarrolla de manera independiente, pero en conjunto permiten comprender cómo fui construyendo criterios, herramientas y aprendizajes profesionales durante mi paso por Biourban.

1.2 BIOURBAN

Biourban Arquitectos es una oficina de arquitectura chilena fundada en 2010 y emplazada en la comuna de La Reina, en Santiago de Chile. Su trabajo se especializa en el desarrollo de proyectos sustentables que integran arquitectura, urbanismo, ingeniería y construcción bajo un enfoque bioclimático. La oficina está liderada por el arquitecto Manuel Novoa Tonda, cuya trayectoria se ha centrado en el cruce entre sustentabilidad, eficiencia energética y tecnologías constructivas, consolidando a Biourban como un referente nacional en propuestas innovadoras, viables y ambientalmente responsables.

El compromiso de la oficina se estructura en torno a tres ejes principales: eficiencia energética, confort ambiental pasivo e innovación constructiva. Su metodología proyectual se inicia con un análisis climático y geográfico del sitio, incorporando variables como radiación solar, ventilación natural, orientación, topografía y humedad relativa. Esta aproximación permite optimizar el comportamiento térmico y ambiental de los edificios mediante soluciones

adaptadas a las condiciones específicas de cada emplazamiento.

Biourban ha desarrollado proyectos que abarcan desde vivienda particular bioclimática hasta vivienda social, generando soluciones replicables que elevan la calidad habitacional sin comprometer la factibilidad técnica ni económica. Una de sus líneas proyectuales más relevantes es el desarrollo de sistemas constructivos industrializados, en colaboración con la planta ATCO Sabinco, mediante tipologías modulares diseñadas para el lenguaje de la construcción en acero. Estas propuestas buscan reducir tiempos de obra, mejorar la calidad técnica y aumentar la eficiencia en costos y recursos, manteniendo altos estándares de confort y sustentabilidad.

La organización interna del equipo y sus roles se presentan en la Figura 1, donde se muestra la estructura colaborativa de la oficina y la integración de especialidades que sustentan su enfoque interdisciplinario.

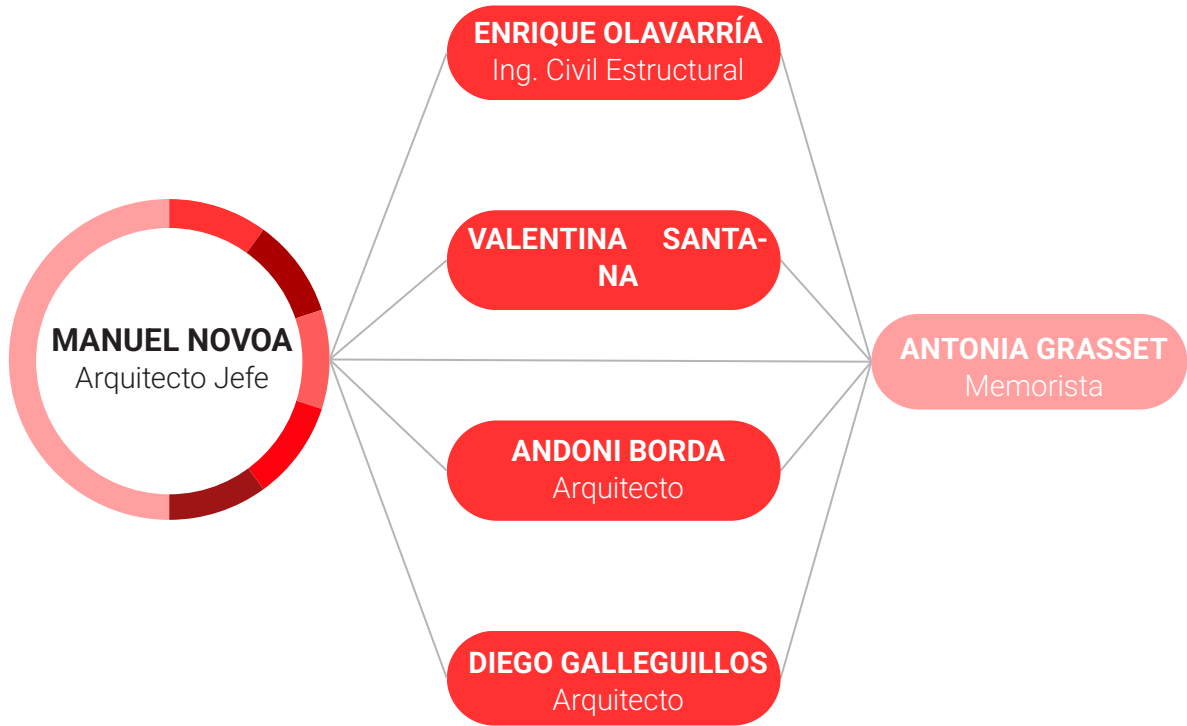


Figura 1: Diagrama de organización de la oficina Biourban.

1.2.1 PROYECTOS BIOURBAN

HOTEL TERRAZOL POZO ALMONTE

Ubicado en Pozo Almonte, Región de Tarapacá, el Hotel Terrazol es un edificio modular de cuatro pisos desarrollado a partir de cerca de 102 módulos industrializados de la planta ATCO Sabinco. El estudio solar (Ver Figura 3) acompaña el proceso proyectual y se incorpora como una de las herramientas que orientan las decisiones de diseño. En esa misma línea, el proyecto integra las estrategias bioclimáticas presentadas en la Figura 4, que dialogan con la forma en que Biourban concibe y desarrolla sus obras.



Figura 2: Imágenes proyecto Hotel Terrazol, oficina Biourban.

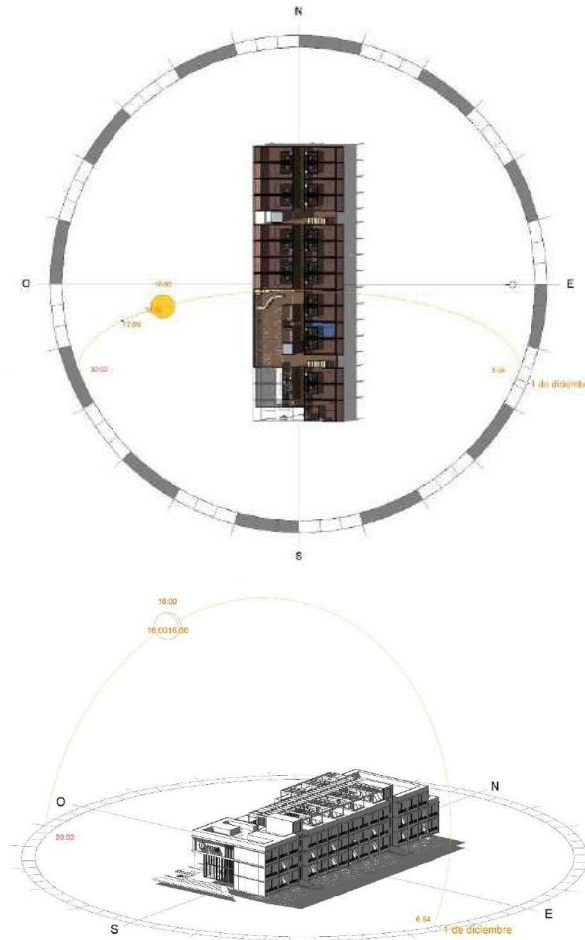


Figura 3: Estudio solar proyecto Hotel Terrazol, oficina Biourban.

ESTRATEGIAS BIOCLIMÁTICAS

Ventilación cruzada

El diseño del hotel aprovecha patios interiores y aberturas verticales que permiten que el aire circule de manera natural entre los distintos niveles. Gracias a esta ventilación cruzada, los espacios se refrescan sin necesidad de depender siempre de sistemas mecánicos, algo fundamental en un clima tan caluroso como el de Pozo Almonte.

01

Patios interiores, áreas verdes

Los jardines que se integran en distintos niveles no son solo decorativos: ayudan a bajar la temperatura, aportan humedad y generan un ambiente más agradable para quienes usan el edificio. Estos espacios verdes funcionan como pequeños pulmones interiores que mejoran la calidad ambiental y hacen más confortable la experiencia en el hotel.

02

Iluminación natural

En el hotel, la luz del sol se aprovecha al máximo gracias a los patios interiores y a las terrazas en doble altura. Estos espacios permiten que la claridad llegue de manera uniforme a los distintos niveles, evitando rincones oscuros y reduciendo la necesidad de luz artificial durante el día.

03

Figura 4: Estrategias bioclimáticas adoptadas en el proyecto Hotel Terrazol, Pozo Almonte.

VIVIENDAS SOCIALES INDUSTRIALIZADAS MINVU

El proyecto corresponde al diseño de un conjunto de viviendas sociales industrializadas, desarrolladas a partir de un sistema modular en acero fabricado por ATCO Sabinco. Se trata de unidades de dos niveles, con posibilidad de ampliación según las necesidades de cada familia, como se observa en las Figuras 5 y 6. El sistema busca una construcción rápida y eficiente, reforzada por las estrategias de industrialización adoptadas en el proyecto (Ver Figura 7). La ingeniería cuenta con aprobación de ATCO Sabinco y se encuentra en proceso de acreditación MINVU.



Figura 5: Imágenes proyecto Viviendas Sociales, oficina Biourban.

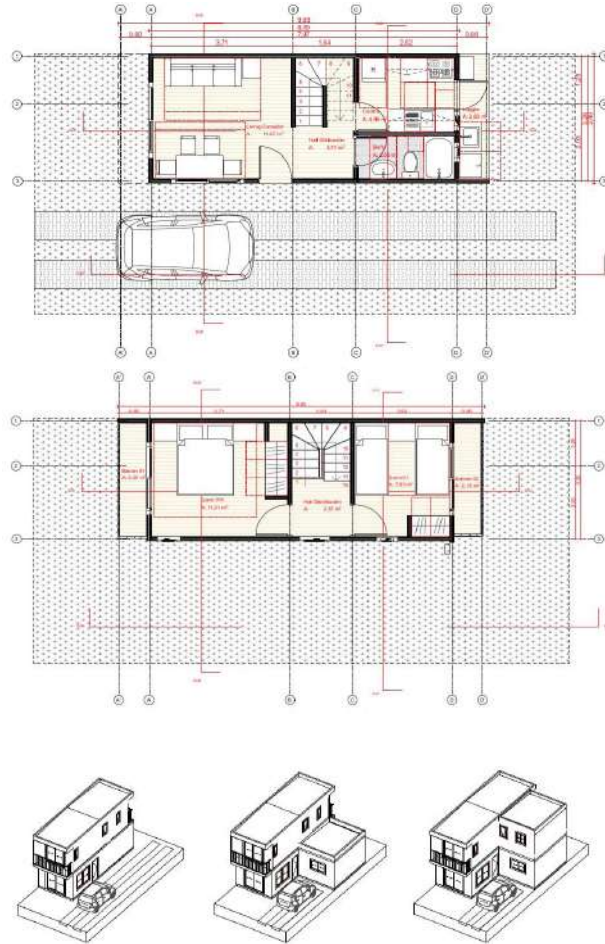


Figura 6: Planimetría proyecto Viviendas Sociales, oficina Biourban.

INDUSTRIALIZACIÓN

Estandarización

La estandarización del sistema permitió definir módulos repetibles y precisos, lo que simplificó el proceso y redujo errores. Gracias a esta lógica, las viviendas se construyen más rápido, con mejor control y una calidad constante, manteniendo siempre el mismo estándar para todas las familias.

01

Control y Calidad

La fabricación en planta permite revisar y ensamblar cada módulo en un entorno controlado. Esto asegura que cada parte encaje con precisión, con buena aislación y terminaciones cuidadas, manteniendo una coherencia real entre lo que se diseña y lo que finalmente se construye.

02

Residuos

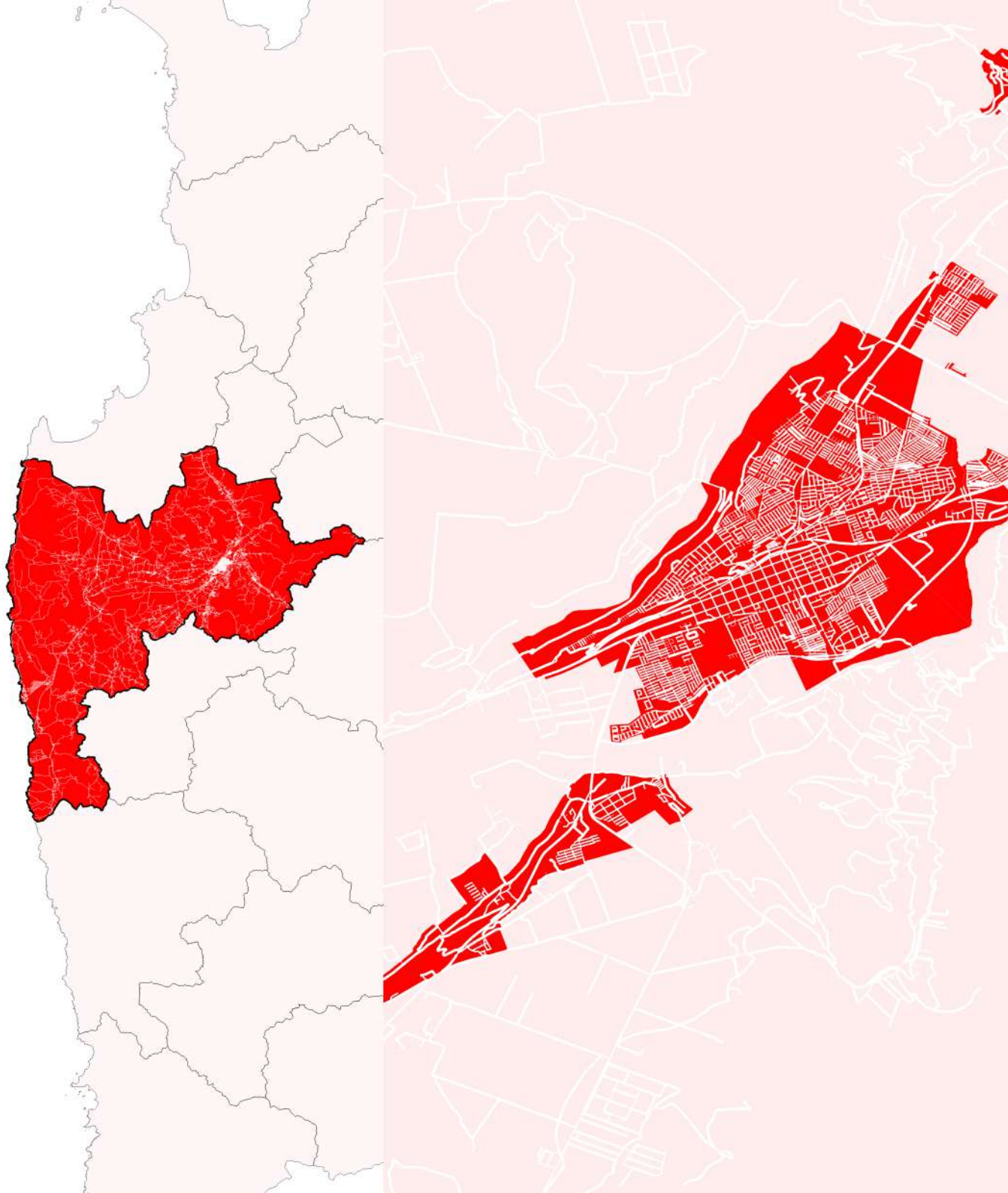
Construir en planta permite optimizar materiales y reducir residuos. Al producir solo lo necesario, se evitan recortes y desperdicios, haciendo más eficiente el proceso. Esta forma de construir ordena el trabajo, mejora el uso de recursos y disminuye el impacto ambiental del proyecto.

03

Figura 7: Estrategias industrialización adoptadas en el proyecto Vivienda MINVU.

**CONJUNTO HABITACIONAL DE VIVIENDAS SOCIALES INDUSTRIALIZADAS
EN OVALLE**

Proyecto Ancla





Terreno

**Plaza de Armas
de Ovalle**

2.1 CONJUNTO HABITACIONAL DE VIVIENDAS SOCIALES EN OVALLE

Durante el periodo de práctica se trabajó principalmente en el desarrollo de un conjunto habitacional industrializado que será construido en la ciudad de Ovalle en la Región de Coquimbo. El proyecto está siendo desarrollado por Biourban Arquitectos en colaboración con ATCO Sabinco. Los siguientes apartados, explicaran los detalles, estrategias y decisiones proyectuales en torno al diseño bioclimático del conjunto.

El proyecto se ubicará en la Región de Coquimbo, comuna de Ovalle, a 410 kilómetros al norte de Santiago, en un territorio caracterizado por un clima semiárido templado con lluvias (BSk) y clasificado como Zona Térmica B según la Reglamentación Térmica 2025.

El conjunto contemplará 120 viviendas en un terreno de 10.202 m², ubicado a 500 metros de la plaza de armas de Ovalle, dentro de un sector definido por el Plan Regulador Comunal como zona de expansión urbana. Este borde de ciudad presenta una mezcla entre áreas consolidadas, equipamientos crecientes y suelos agrícolas en proceso de urbanización, lo que le otorga al

proyecto un rol estratégico en la consolidación de un nuevo fragmento urbano. Su cercanía a servicios esenciales, establecimientos educacionales y equipamientos públicos permite proyectar un barrio conectado y con acceso a actividades cotidianas, antecedentes que se retomarán en el análisis del entorno inmediato en el Tema II. El proyecto surge desde una doble mirada: reducir el déficit habitacional mediante soluciones de vivienda social y, al mismo tiempo, proponer un modelo replicable, sustentable y eficiente. Para ello, se incorpora un sistema constructivo industrializado en acero desarrollado por ATCO Sabinco, el cual permite una producción controlada, estandarizada y rápida, con menores pérdidas de material y procesos más precisos.

Desde sus primeras etapas, el conjunto se concibió como una oportunidad para integrar criterios de diseño pasivo, industrialización y sustentabilidad en viviendas de interés social, explorando cómo un sistema modular puede adaptarse a la topografía, al clima y a las exigencias normativas sin perder eficiencia ni pertinencia territorial.

2.2 CONTEXTO CLIMÁTICO

CIUDAD DE OVALLE, REGIÓN DE COQUIMBO

La ciudad de Ovalle se inserta dentro de la clasificación climática semiárido templado con lluvias invernales (BSk s) según Köppen-Geiger, sistema que categoriza los climas del mundo según temperatura, precipitaciones y estacionalidad, usando códigos de letras que indican el tipo de clima y sus variaciones.

2.2.1 TEMPERATURAS

Como se muestra en la Figura 8, Ovalle presenta un clima semiárido marcado por amplias oscilaciones térmicas diarias. En promedio, la temperatura anual es de unos 15 °C, pero en verano los termómetros superan fácilmente los 30 °C, mientras que en invierno las mínimas pueden bajar de los 5 °C. Estas variaciones hacen que en verano sea clave protegerse del exceso de sol y mantener los espacios ventilados, y que en invierno se vuelva necesario contar con una buena aislación para no perder calor y asegurar el confort dentro de la vivienda.

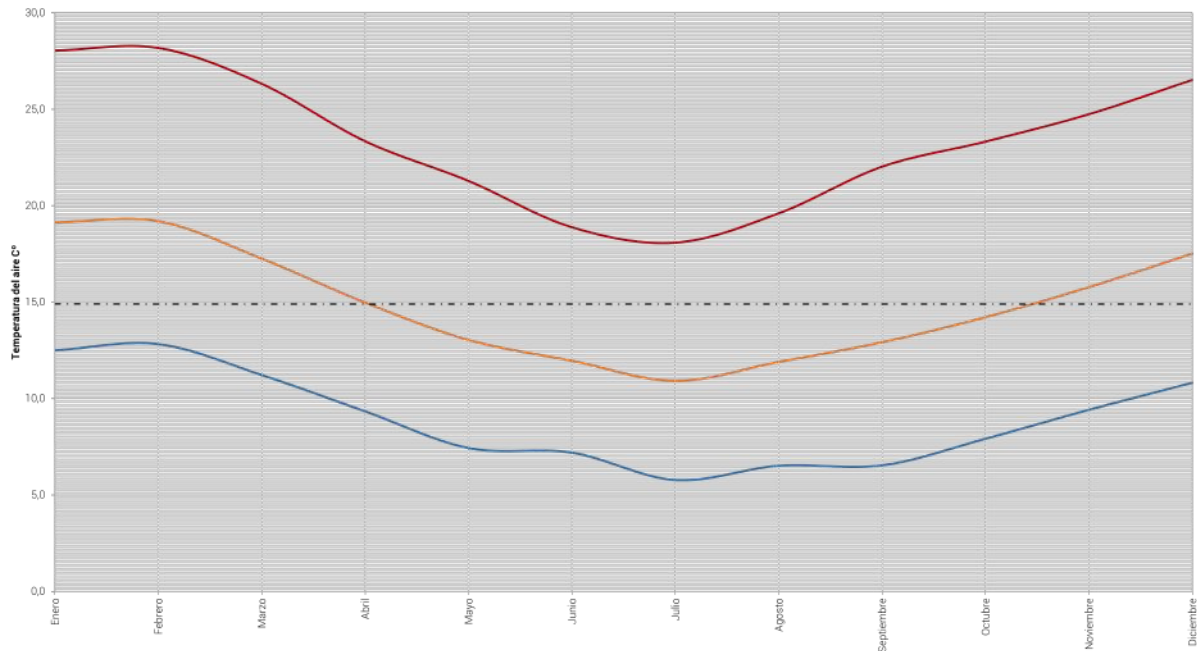


Figura 8: Distribución anual de temperaturas. Elaboración propia en base a datos meteorológicos de MeteoChile.

2.2.2 RADIACIÓN SOLAR

Como se evidencia en la Figura 9, la comuna de Ovalle recibe una gran cantidad de radiación solar a lo largo del año, con más de 2.700 horas de sol registradas, y un promedio de 5,82 kWh/m² día (Explorador solar, Minenergía). Esta condición hace que el asoleamiento sea un factor clave en la habitabilidad: en invierno representa una oportunidad para aprovechar el calor y mejorar el confort de manera pasiva, mientras que en verano exige medidas de protección solar y ventilación para evitar el sobrecalentamiento de los espacios interiores.

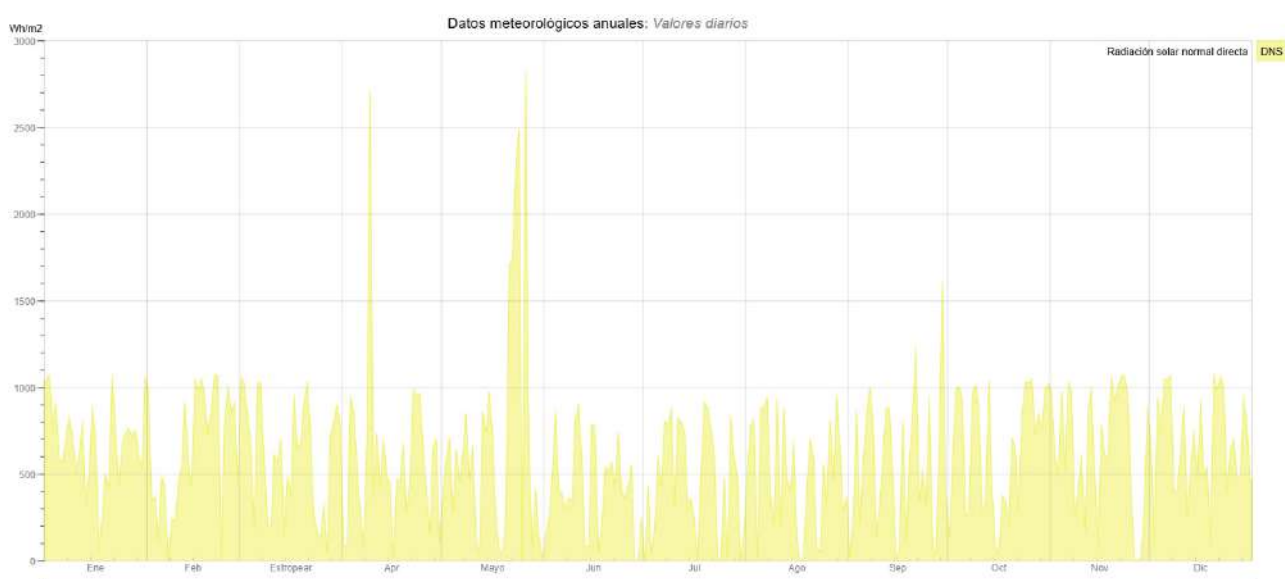


Figura 9: Radiación solar mensual promedio. Fuente: software de análisis climático Andrew Marsh.

2.2.3 PRECIPITACIONES

Como se muestra en la Figura 10, las precipitaciones son escasas, con un promedio anual cercano a los 80 mm. Estas lluvias se concentran casi exclusivamente en episodios aislados durante el invierno, lo que refuerza el carácter árido de la zona y la necesidad de considerar estrategias de captación y gestión eficiente del recurso hídrico.

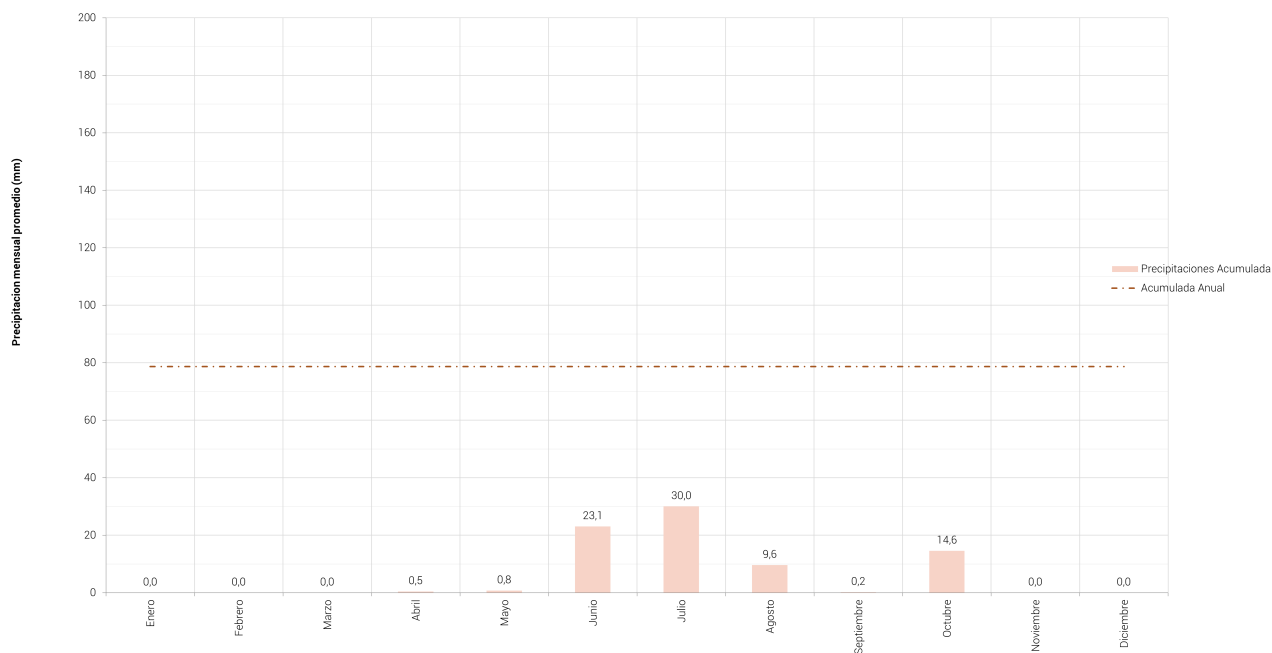


Figura 10: Distribución anual de precipitaciones. Elaboración propia en base a datos meteorológicos de Meteochile.

2.2.4 ROSA DE LOS VIENTOS

Como se ve en la Figura 11, los vientos predominantes provienen del suroeste, lo que abre la posibilidad de utilizarlos como recurso natural para la ventilación cruzada en las viviendas y en la organización del conjunto. Bien aprovechadas, estas corrientes se convierten en una estrategia bioclimática capaz de mejorar el confort interior y disminuir la necesidad de recurrir a sistemas de climatización activa.

Rosa de los Vientos Mensual 8 Direcciones

Dirección Predominante y rangos de Intensidad en nudos (kt.)

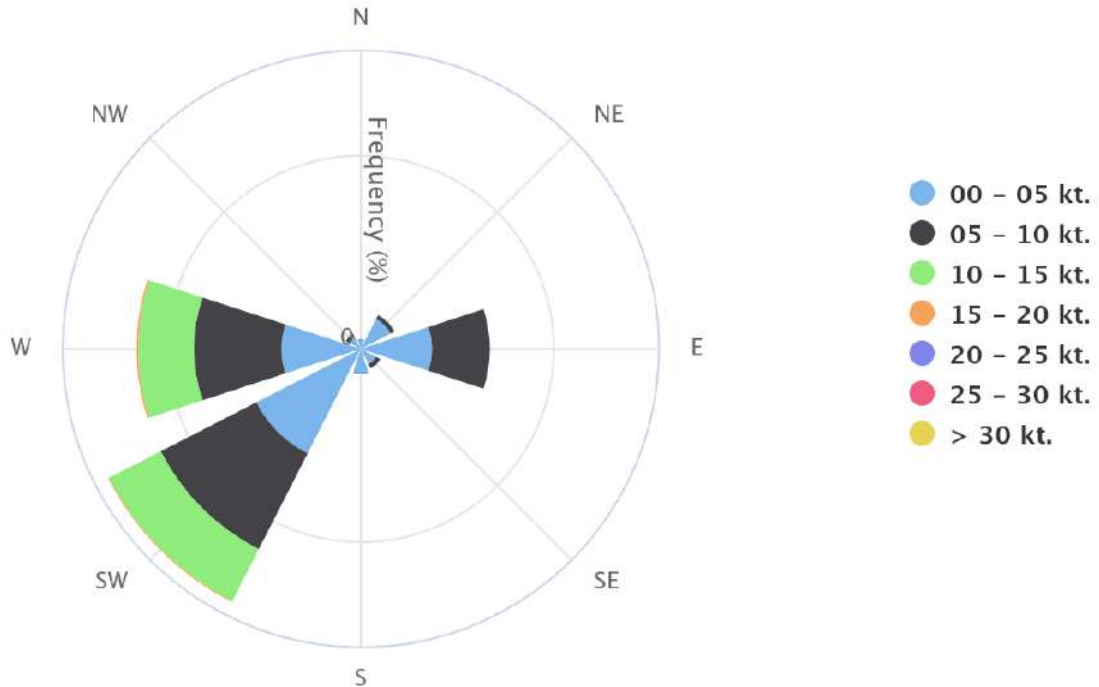


Figura 11: Rosa de los vientos correspondiente a la ciudad de Ovalle. Fuente: Meteoblue.

2.2.5 DIAGRAMA SOLAR

La Figura 12 muestra el diagrama solar de Ovalle, donde se puede apreciar cómo el sol cambia a lo largo del año y qué impacto tiene en el confort de las viviendas. La zona azul ($< 20\text{ }^{\circ}\text{C}$) representa los periodos fríos, con más de 1.500 horas en que aprovechar la radiación resulta esencial para mantener los espacios cálidos. La zona amarilla ($20\text{--}24\text{ }^{\circ}\text{C}$) concentra unas 490 horas de confort, que de todos modos requieren cierto control con elementos como aleros o celosías. En cambio, la zona roja ($> 24\text{ }^{\circ}\text{C}$) aparece en los momentos de mayor calor, con cerca de 175 horas en verano, principalmente en fachadas norte y poniente, donde el sombreado es imprescindible.

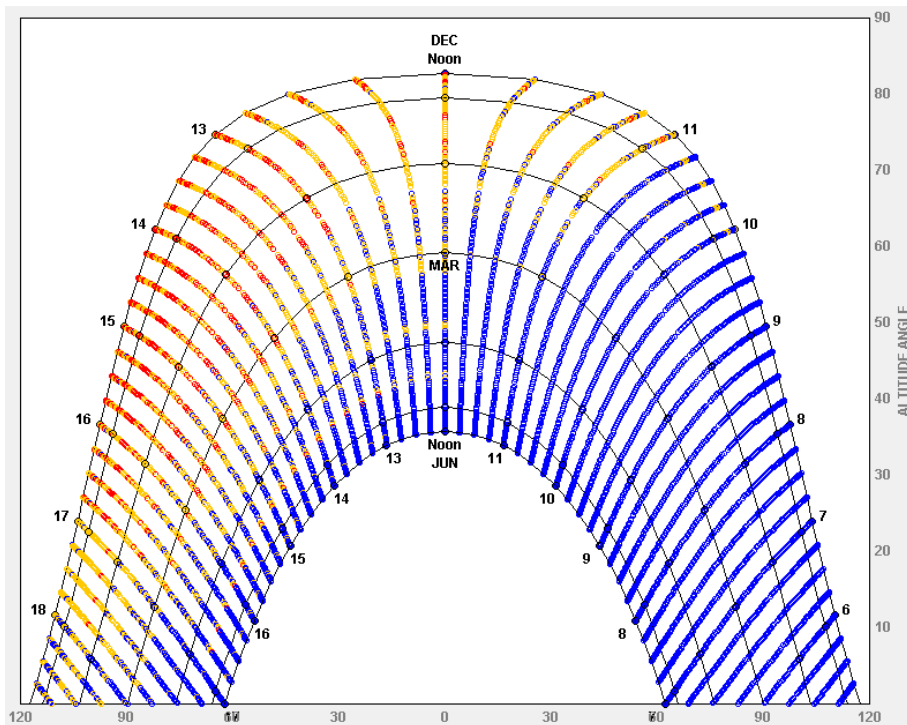


Figura 12: Diagrama solar del clima de Ovalle generado en Climate Consultant. Fuente: Climate Consultant.

2.2.6 ESTRATEGIAS DE DISEÑO

La Figura 13 muestra el gráfico psicrométrico, donde se puede apreciar que, un 73% del año, es posible alcanzar el confort usando solo estrategias pasivas de diseño. El resto del tiempo, cerca de un 27%, se necesita apoyo de sistemas activos, sobre todo calefacción. Entre las medidas más importantes está la ganancia interna de calor (42,7%), que depende de cómo la envolvente retiene y libera energía para mantener los espacios más estables. También destaca la ganancia solar pasiva con masa térmica (32,9%), esencial en invierno; el sombreado de ventanas (11,7%), clave en verano para evitar el sobrecalentamiento; y la ventilación natural (5,2%), que ayuda a refrescar los interiores en los días más cálidos.

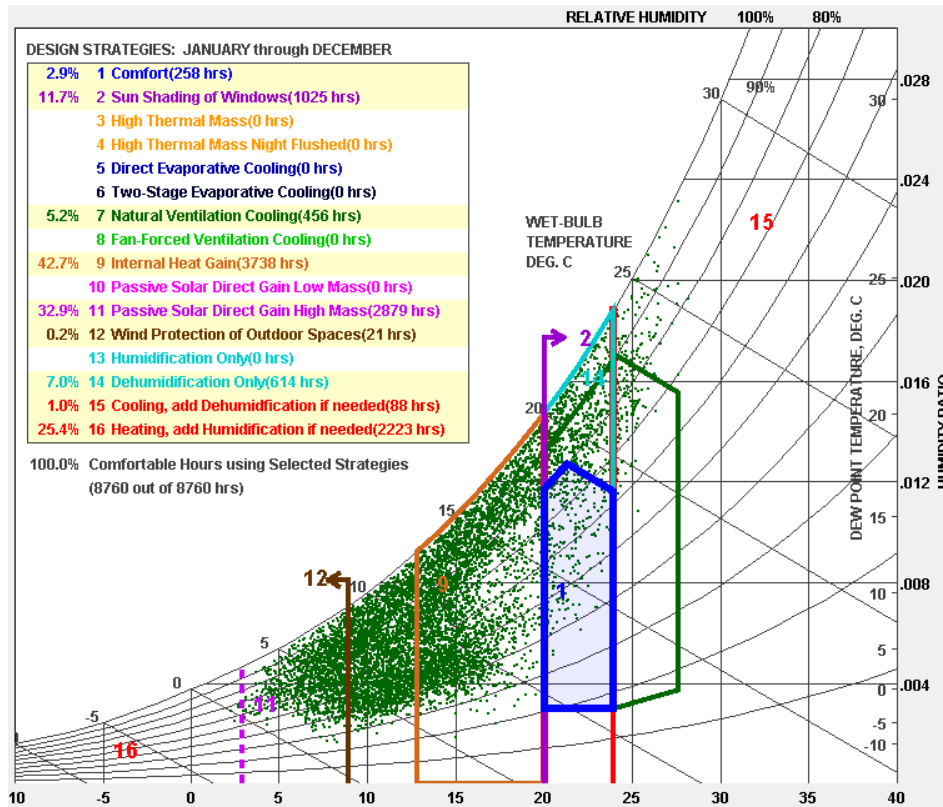


Figura 13: Diagrama psicrométrico del clima de Ovalle generado en Climate Consultant. Fuente: Climate Consultant.

2.2.7 ZONA TÉRMICA

La nueva reglamentación térmica de Chile, la cual entró en vigor en Noviembre de 2025, establece estándares más críticos de eficiencia energética para edificaciones. En esta normativa la comuna de Coquimbo queda en la Zona Térmica B, lo que implica que las viviendas deberán contar con una envolvente más eficiente, capaz de responder a un clima intermedio con inviernos suaves, veranos calurosos y fuertes variaciones diarias de temperatura. Esto se traduce en mayores exigencias de aislamiento en muros, techumbres, pisos y ventanas, junto con controles de orientación, hermeticidad y condensación, orientados a reducir pérdidas y ganancias de calor.

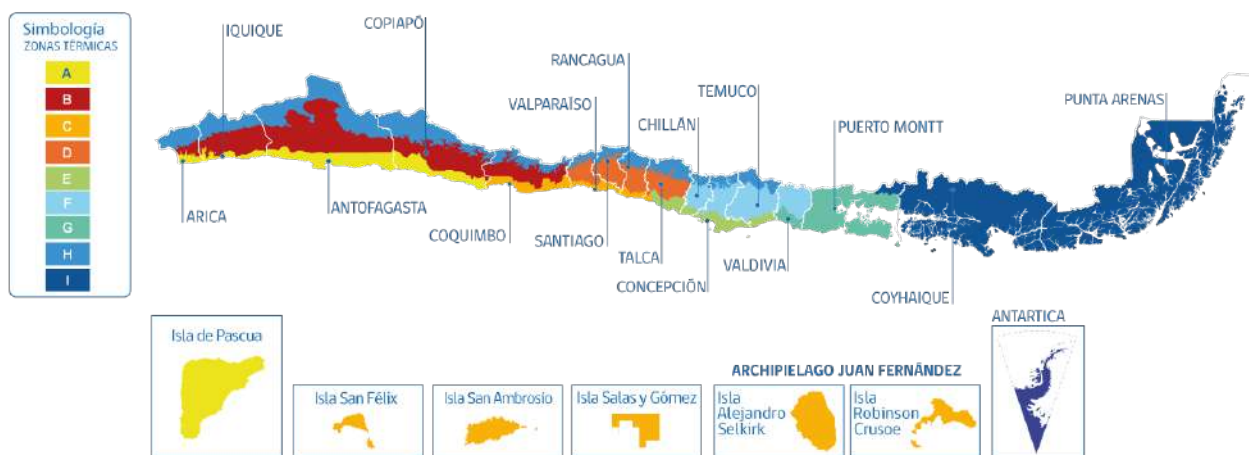


Figura 14: Mapa de zonificación térmica de Chile, según clasificación oficial del Ministerio de Vivienda y Urbanismo. Fuente: MINVU, 2023.

2.2.8 CONCLUSIÓN

El clima semiárido templado de Ovalle configura un escenario donde la radiación intensa, las oscilaciones térmicas diarias y la baja humedad relativa condicionan de manera directa la habitabilidad del territorio. En verano, las altas temperaturas y la exposición prolongada exigen estrategias pasivas que mitiguen el sobrecalentamiento, especialmente en las orientaciones norte y poniente. En invierno, en contraste, la marcada caída térmica nocturna vuelve indispensable aprovechar la captación solar y contar con una envolvente capaz de conservar el calor interior.

Los vientos predominantes del suroeste ofrecen una oportunidad para favorecer la ventilación natural durante los meses cálidos, siempre que

el proyecto incorpore aberturas y circulaciones orientadas para canalizar ese flujo. A su vez, las escasas precipitaciones y la baja humedad reducen el riesgo de condensación exterior, pero enfatizan la necesidad de controlar infiltraciones y pérdidas térmicas durante la noche.

Reconocer estas dinámicas permite definir las estrategias pasivas que orientan el diseño urbano y arquitectónico del conjunto: control solar, ventilación cruzada, orientación de recintos y continuidad térmica de la envolvente. Más que determinar un sistema constructivo específico, este análisis establece las condiciones ambientales que cualquier solución debe responder para asegurar confort, eficiencia y habitabilidad en el proyecto.

2.3 MÉTODOS MODERNOS DE CONSTRUCCIÓN (MMC)

Los Métodos Modernos de Construcción (MMC) corresponden a un conjunto de estrategias productivas orientadas a mejorar la eficiencia, calidad y sustentabilidad del proceso constructivo mediante la industrialización y la estandarización. A diferencia de la construcción tradicional, los MMC trasladan etapas clave a entornos controlados de fabricación, permitiendo mayor precisión, menores pérdidas y plazos de obra significativamente reducidos (CTEC–CChC, 2024). Este marco conceptual se sintetiza en la Figura 15, donde se presentan las siete categorías que estructuran el sistema de clasificación de los MMC.

En Chile, su incorporación ha cobrado relevancia frente al desafío de mejorar la productividad del sector y responder al déficit habitacional mediante soluciones replicables de alta calidad. La Guía Métodos Modernos de Construcción (CTEC–CChC, 2024) destaca que la industrialización reduce la variabilidad en obra, mejora el control de calidad y avanza hacia modelos más sustentables, donde la disminución de residuos y el uso eficiente de materiales se vuelven fundamentales. Asimismo, estos métodos facilitan el cumplimiento de las exigencias normativas en eficiencia energética y desempeño ambiental, cada vez más estrictas bajo la Reglamentación Térmica (MINVU, 2023).

La guía distingue siete categorías que abarcan sistemas volumétricos, panelizados, componentes manufacturados y soluciones digitales. En este proyecto, el sistema utilizado se inscribe en MMC 1: Módulos estructurales 3D, correspondiente a unidades volumétricas completamente fabricadas en planta y ensambladas en obra. Este enfoque ofrece ventajas claras: rapidez de ejecución, repetición espacial controlada, mayor precisión en uniones y una notable reducción de residuos en obra (CTEC–CChC, 2024).

El sistema industrializado en acero desarrollado por ATCO Sabinco se alinea con esta lógica productiva. Sus módulos tridimensionales estandarizados permiten un proceso constructivo rápido y controlado, estableciendo un marco técnico preciso para analizar su comportamiento térmico, la continuidad de la envolvente y las implicancias de sus uniones.

En este sentido, los MMC no solo definen la forma en que se construye el proyecto ancla, sino que también permiten comprender sus fortalezas y limitaciones desde una perspectiva energética, ambiental y normativa, constituyendo un punto de partida esencial para los capítulos posteriores de esta memoria.



Figura 15: Clasificación de los Métodos Modernos de Construcción (MMC), según Guía Métodos Modernos de Construcción, CTEC–CChC (2024). Fuente: CTEC–CChC, 2024.

2.4 SISTEMA CONSTRUCTIVO

El sistema constructivo del conjunto habitacional se compone de módulos industrializados de acero, diseñados y fabricados en la planta de ATCO Sabinco. Cada uno mide 10,90 m de largo por 3,30 m de ancho y se produce en serie, lo que permite un montaje rápido y coordinado en obra. Más que elementos aislados, estos módulos conforman un sistema continuo donde estructura, envolvente y terminaciones se integran bajo una misma lógica productiva.

La base del módulo se organiza en torno a un chasis perimetral de vigas 150×100×2 mm, que entrega soporte y estabilidad durante el transporte y montaje. A partir de esa estructura se articulan los distintos componentes del piso, los muros y la techumbre. La composición completa del sistema puede apreciarse en la Figura 16, donde el corte escantillón muestra la secuencia de materiales, espesores y uniones que definen su comportamiento térmico y constructivo.

En los cerramientos exteriores, el muro se conforma mediante una placa OSB de 15 mm, una membrana hidrófuga EcoWrap, aislación Firstterm instalada en dos capas (espesor

total aprox. 110 mm) y una barrera interior de polietileno 0,2 mm. Al exterior, el sistema se reviste con SmartPanel de 11 mm, mientras que hacia el interior se completa con yeso-cartón de 15 mm que asegura continuidad, limpieza y facilidad para el paso de instalaciones. Los pisos se resuelven con contrachapado fenolítico de 18 mm y revestimiento Tarkett de 2 mm, sumando nuevamente una barrera de polietileno para controlar humedad. Los tabiques interiores mantienen esta misma coherencia material: estructura metálica, aislación Firstterm, placa multilaminada y terminaciones en yeso-cartón.

Este sistema industrializado ofrece ventajas evidentes: reduce tiempos de construcción, minimiza residuos, mejora el control de calidad y permite trabajar con mayor seguridad en obra. Al mismo tiempo, introduce desafíos propios de la construcción liviana en acero, como la continuidad térmica, la hermeticidad entre módulos y el comportamiento higrotérmico en los encuentros, temas que requieren especial atención para asegurar un buen desempeño energético.

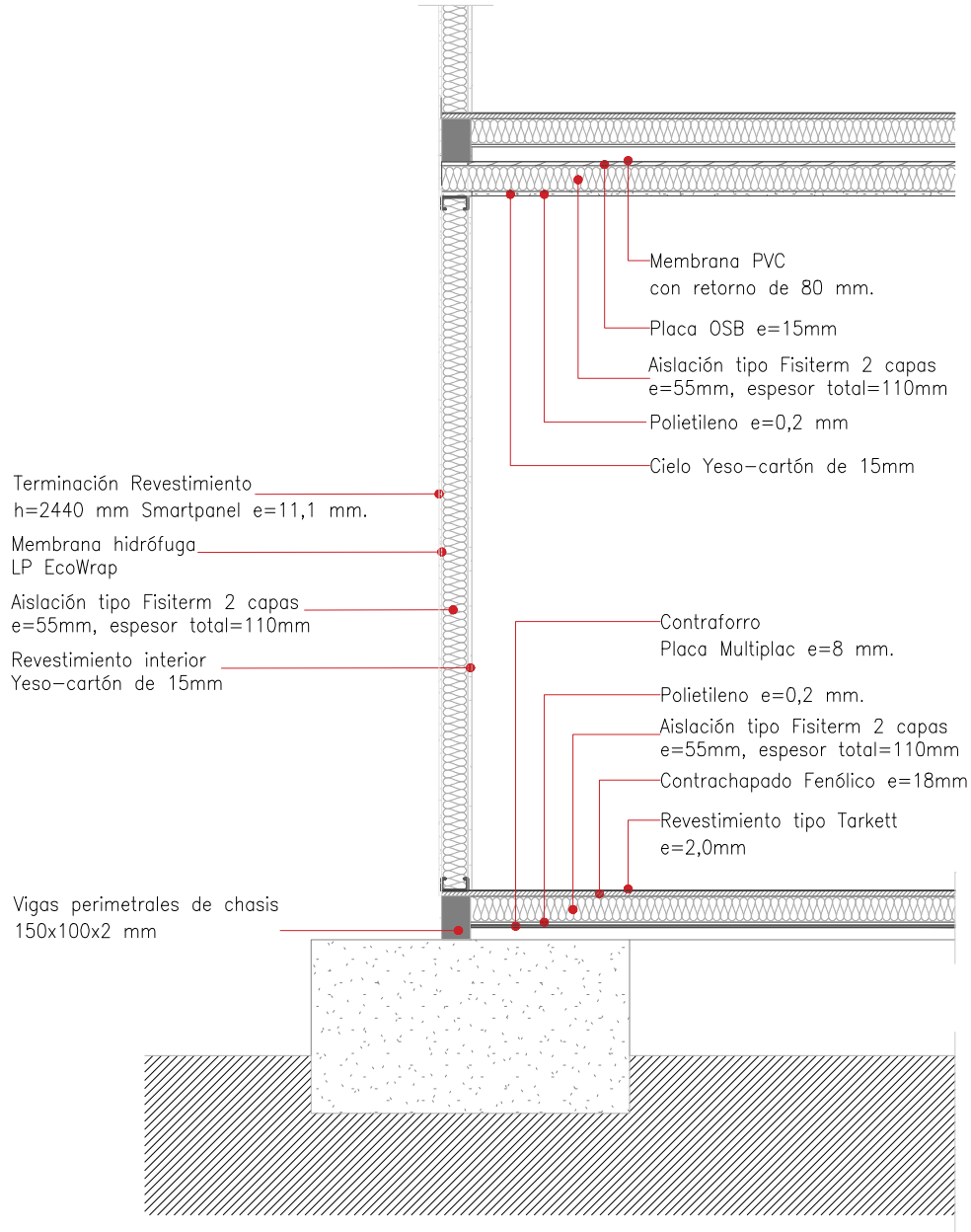


Figura 16: Corte escantillón del sistema modular industrializado de ATCO Sabinco.

2.5 PLANIMETRÍA PROYECTO ANCLA

2.5.1 PLAN MAESTRO

El plan maestro organiza el conjunto en relación directa con la pendiente del terreno, definiendo la implantación de los edificios y su posición frente al clima semiárido de Ovalle. La distribución general permite comprender cómo el proyecto recibe la radiación, cómo se proyectan las sombras y de qué manera se canaliza el viento predominante, aspectos que serán analizados en el Tema I desde los criterios de confort ambiental y diseño pasivo. La localización de las plataformas y la relación entre los bloques sirven también como marco para los criterios de entorno inmediato evaluados en el Tema II, permitiendo entender la forma en que el conjunto se integra a su contexto urbano y climático.



Figura 17: Plan maestro Conjunto Habitacional.

2.5.2 ELEVACIONES

Las elevaciones norte-sur muestran de manera clara la disposición escalonada del proyecto: tres edificios se ubican en la parte alta del terreno y tres en la plataforma inferior. Esta diferencia de cotas permite aprovechar vistas hacia el valle desde los bloques superiores y genera variaciones de altura visibles entre los volúmenes. Estas condiciones se relacionan con la exposición solar y el sombreado entre edificios, elementos que luego se analizan en el Tema I como parte del comportamiento ambiental del conjunto.

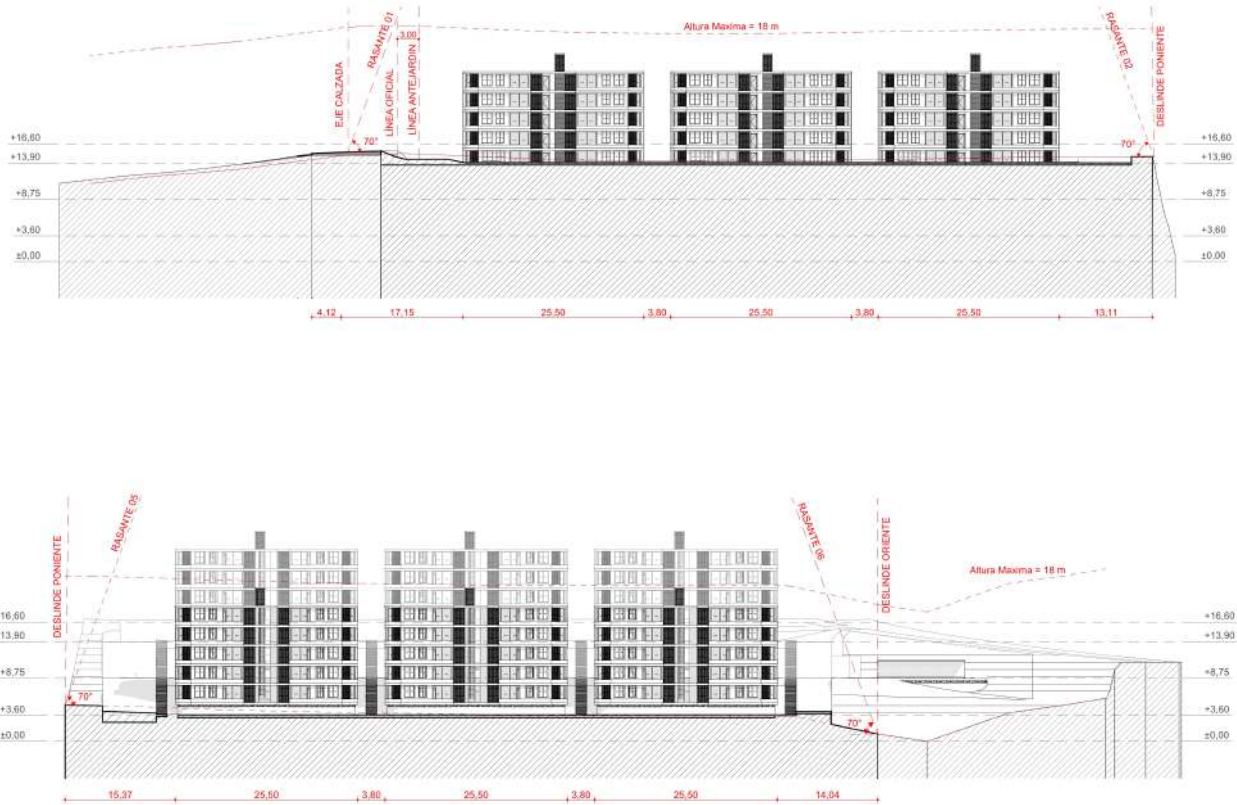


Figura 19: Elevación Sur Conjunto Habitacional.

En las elevaciones oriente–poniente también se aprecia el escalonamiento generado por la topografía, lo que produce una sección natural entre los bloques superiores e inferiores. Esta disposición influye en la forma en que cada edificio recibe la radiación y en la configuración de sombras entre plataformas, temas que se abordan posteriormente en el análisis de clima y confort desarrollado en el Tema I (Sección 3.1). A su vez, la repetición volumétrica y la regularidad del sistema industrializado entregan una lectura coherente del conjunto, condición que sirve como base para el estudio constructivo desarrollado en el Tema III (Sección 3.3).



Figura 17: Elevación Poniente Conjunto Habitacional.



Figura 20: Elevación Oriente Conjunto Habitacional.

2.5.3 PLANTAS EDIFICIOS

El Edificio Tipo 1 (ver Figura 21) utiliza la modulación industrializada, compuesta por módulos de 10,90 m de largo por 3,30 m de ancho, dimensiones que permiten su transporte en camiones y reducen tiempos de montaje y uso de materiales, aspecto que será retomado en el análisis de materiales y residuos del Tema III. Esta modulación fija también define el ancho disponible para el diseño del interior. El edificio se organiza en torno a un conector, que integra los accesos y las escaleras. Al emplazarse en la cota superior del terreno, en el punto más cercano al acceso principal del conjunto, esta tipología alcanza cinco pisos e incorpora en su primer nivel viviendas adaptadas para Personas con Movilidad Reducida (PMR), en cumplimiento del DS49 y respondiendo a la necesidad de contar con unidades accesibles directamente desde el acceso principal del conjunto.

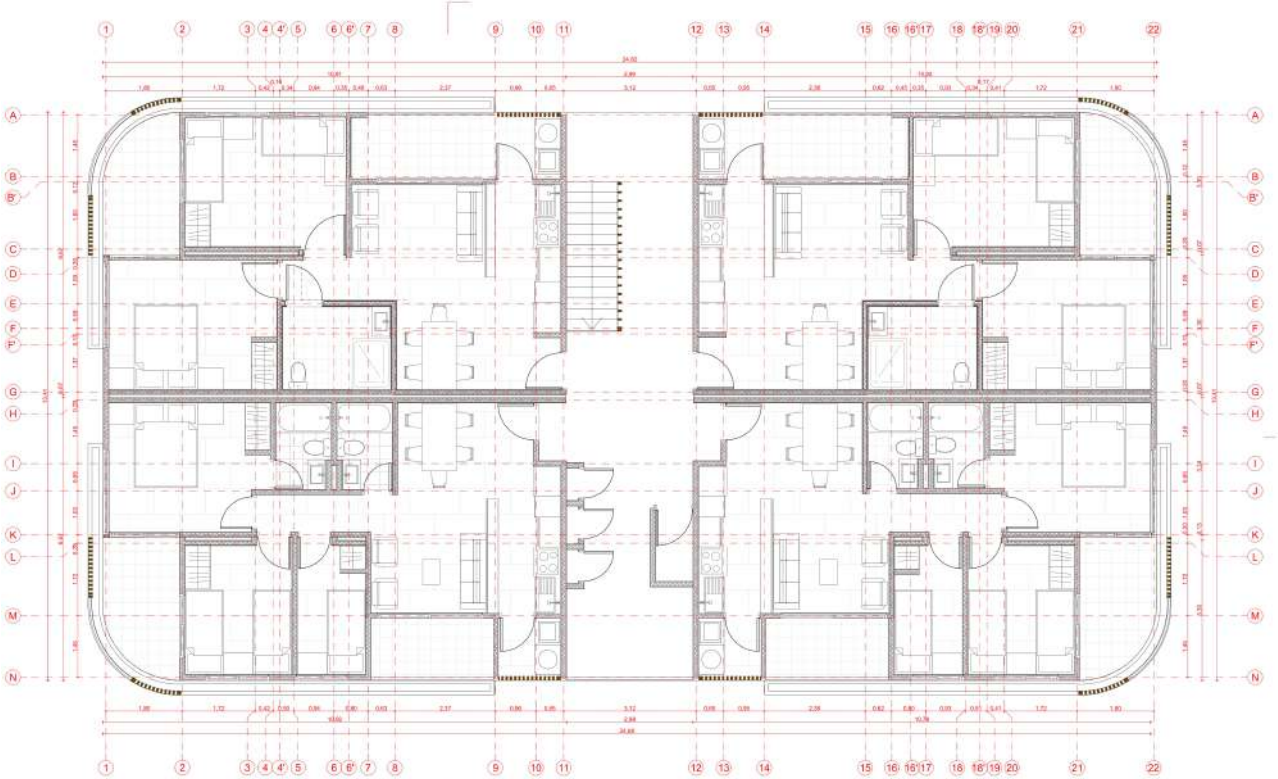


Figura 21: Planta de Arquitectura, Edificio Tipo 1.

El Edificio Tipo 2 (ver Figura 22) mantiene la misma modulación industrializada de 10,90 m × 3,30 m, favoreciendo eficiencia en transporte, montaje y repetición constructiva. La planta se organiza dentro de esta geometría, permitiendo una distribución clara y repetitiva. Este edificio se ubica en la plataforma inferior del conjunto y se desarrolla en cuatro niveles. A diferencia del Tipo 1, no incorpora viviendas PMR, ya que no se encuentra en la cota de acceso principal. Su posición en los niveles inferiores influye en su exposición solar y en la ventilación predominante del sitio, factores considerados en el análisis climático del Tema I.

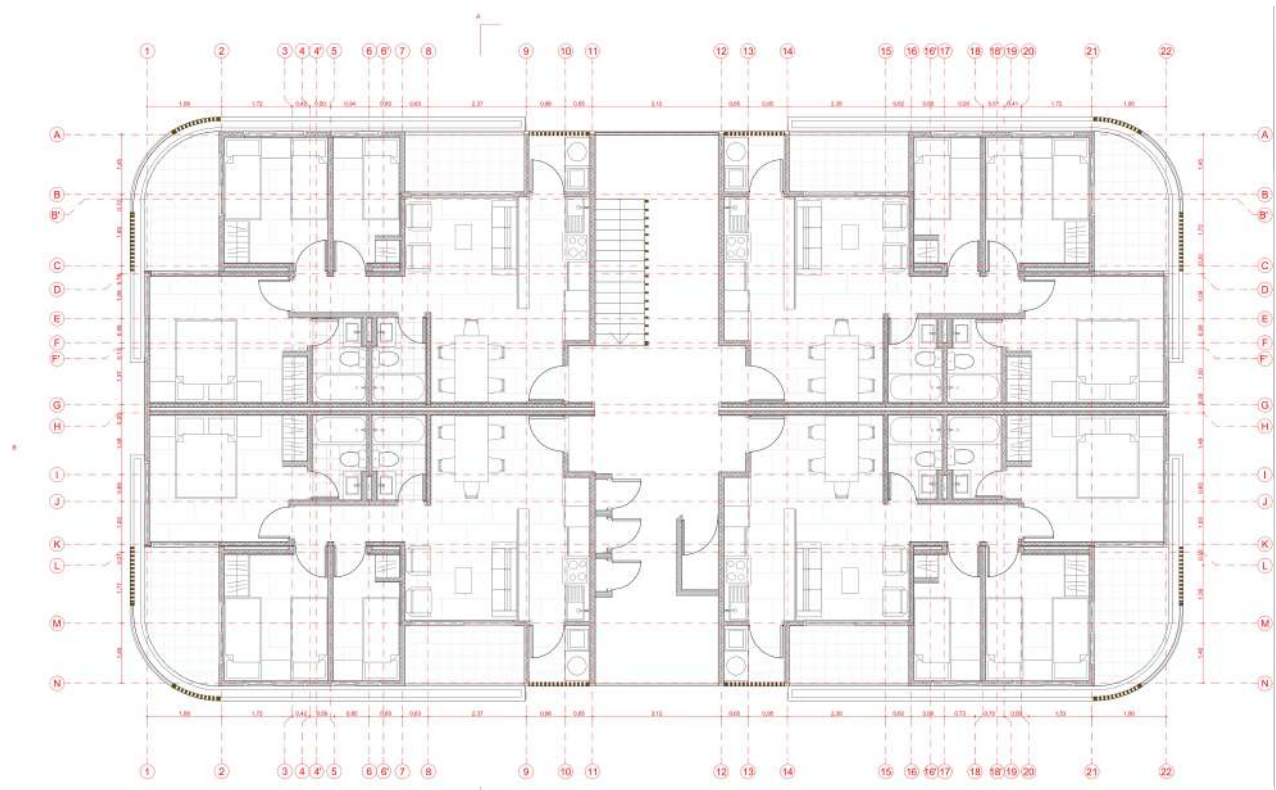


Figura 22: Planta de Arquitectura, Edificio Tipo 2.

2.5.4 IMÁGENES



Figura 23: Imagenes Conjunto habitacional. En base a práctica en Biourban.



Figura 24: Imágenes Conjunto habitacional. En base a práctica en Biourban.

2.6 ROL DESEMPEÑADO

Mi participación en el proyecto ancla de Ovalle se desarrolló desde las primeras etapas de diseño hasta la consolidación del anteproyecto arquitectónico, con un rol activo en cada una de las decisiones espaciales, técnicas y normativas que dieron forma al conjunto. El trabajo comenzó con la definición de plantas ajustadas a la modulación industrializada de ATCO Sabinco, explorando distintas alternativas para optimizar la habitabilidad y el uso eficiente del módulo. Este proceso incluyó la evaluación de criterios, según la normativa, de DS49 y de accesibilidad universal. Estas iteraciones permitieron comprender de manera práctica cómo la normativa influye en la configuración espacial y en la organización interior de los edificios.

Posteriormente, participé en el diseño de fachadas junto a otro arquitecto del equipo, incorporando criterios bioclimáticos de control solar y estrategias pasivas coherentes con el clima semiárido de Ovalle. El desarrollo de esto fue esencial para relacionar el proyecto con la radiación y la orientación de los recintos, aspectos que más adelante se profundizan en el Tema I de la memoria. El proceso fue iterativo, combinando decisiones formales con análisis de desempeño y buscando un equilibrio entre identidad arquitectónica y eficiencia térmica. Una vez definidas las tipologías y el lenguaje de fachadas, continué con el desarrollo integral de la planimetría: plantas, cortes, elevaciones, cuadros programáticos y esquemas explicativos.

Este trabajo consolidó el entendimiento del sistema industrializado, su lógica de repetición y sus implicancias constructivas, elementos que luego sustentaron el análisis del sistema frente a la Reglamentación Térmica 2025 en el Tema III. La representación del conjunto también permitió evaluar la relación entre plataformas, alturas, asoleamiento y ventilación predominante, fundamentos que se retoman en el Tema II al analizar los criterios del entorno inmediato según la Certificación de Vivienda Sustentable (CVS).

En paralelo, colaboré en otros proyectos dentro de la oficina, tanto de vivienda social como particular. Esta experiencia complementaria aportó diversidad de escalas y problemáticas, reforzando mi capacidad de adaptación, de toma de decisiones y de lectura crítica del proceso proyectual.

La práctica, en su conjunto, me permitió integrar diseño, normativa, sostenibilidad y construcción industrializada desde una mirada realista, entendiendo que la vivienda social requiere soluciones que equilibren calidad, eficiencia y pertinencia ambiental. Este aprendizaje fue fundamental para estructurar los temas de la memoria y para consolidar mi rol como arquitecta en formación.

DISEÑO DE PLANTAS

El trabajo inició con el diseño de plantas, ajustadas a la modulación de ATCO Sabinco. Se desarrollaron alternativas evaluadas según DS49 y accesibilidad universal, hasta consolidar una propuesta equilibrada en eficiencia y habitabilidad.



DEFINICIÓN DE FACHADAS

Posteriormente, junto a otro arquitecto del equipo, participé en el diseño de fachadas, integrando criterios bioclimáticos de control solar. El proceso fue iterativo entre el diseño volumétrico y el análisis técnico, evaluando el impacto en la eficiencia térmica y en la identidad del conjunto.



DESARROLLO ANTEPROYECTO

Una vez definidas las tipologías y el lenguaje de fachadas, pasé a trabajar en el desarrollo completo de la planimetría del proyecto, que incluyó plantas, cortes, elevaciones y distintos esquemas de apoyo.



OTROS PROYECTOS

Durante el desarrollo también presté apoyo en otros proyectos de viviendas particulares y sociales, colaborando en la elaboración de planos y esquemas que aportaron diversidad de escalas y desafíos al proceso de práctica. Esta experiencia paralela reforzó mi capacidad de adaptación a distintos encargos.



EXPERIENCIA

Esta práctica me permitió aprender sobre el proceso proyectual en condiciones reales, integrando normativas, criterios ambientales, bioclimáticos y constructivos. Comprendí que la vivienda social requiere calidad, compatibilizando industrialización y sustentabilidad, lo que fortaleció mis competencias.



2.7 PROBLEMÁTICA

El proyecto ancla en Ovalle permite evidenciar los desafíos que enfrenta hoy la vivienda social en Chile. No se trata únicamente de construir más rápido y a menor costo, sino de asegurar que las viviendas sean habitables, eficientes y resilientes frente a condiciones climáticas cada vez más exigentes. En este marco, tres dimensiones problemáticas se entrelazan directamente: las estrategias de diseño pasivas, la organización del conjunto a escala urbana y la compatibilidad del sistema constructivo industrializado con el nuevo marco normativo (ver Figura 25).

En estos sistemas industrializados, la escasa inercia térmica y los puentes térmicos provocan fuertes oscilaciones: en el día los recintos se sobrecalientan y en la noche pierden rápidamente el calor. En el clima semiárido de Ovalle este efecto se intensifica, comprometiendo el confort de las familias sin acceso a climatización artificial.

Por eso la fachada deja de ser un simple cerramiento y se transforma en un mediador entre el interior y el clima. Sin embargo, en la vivienda social chilena suele resolverse con criterios estandarizados, desaprovechando su capacidad para regular sol, ventilación e iluminación.

El confort tampoco depende solo de cada vivienda. La forma en que se organizan los edificios, las calles y los espacios comunes incide en el asoleamiento, la ventilación y el microclima del conjunto. En terrenos con pendiente, como en Ovalle, estas decisiones son aún más relevantes.

La disposición escalonada de los bloques permitió reducir movimientos de tierra y mejorar la accesibilidad, pero también plantea dudas: ¿cómo afectan las sombras entre edificios? ¿qué impacto tiene la orientación en la ganancia solar del verano o la pérdida de calor en invierno?

La Certificación de Vivienda Sustentable (CVS) ofrece justamente un marco para estas preguntas, incorporando criterios como orientación, accesibilidad, áreas verdes e integración con la movilidad. El proyecto de Ovalle permite contrastar sus decisiones con esas exigencias y evaluar hasta qué punto se aprovechan las variables urbanas como herramientas de confort pasivo y sustentabilidad.

Con la llegada de la Reglamentación Térmica 2025, el escenario se vuelve más exigente. La norma fija límites más estrictos para la transmitancia térmica, el control de puentes térmicos, la hermeticidad y la protección solar. Esto obliga a pensar más allá de la aislación, exigiendo que todo el sistema constructivo funcione de manera eficiente y continua.

Para la construcción industrializada en acero, esto significa un reto mayor: asegurar la continuidad de la aislación y resolver las uniones entre paneles para evitar pérdidas energéticas. En Ovalle, la pregunta es inevitable: ¿cómo compatibilizar rapidez y estandarización con estándares térmicos cada vez más estrictos?

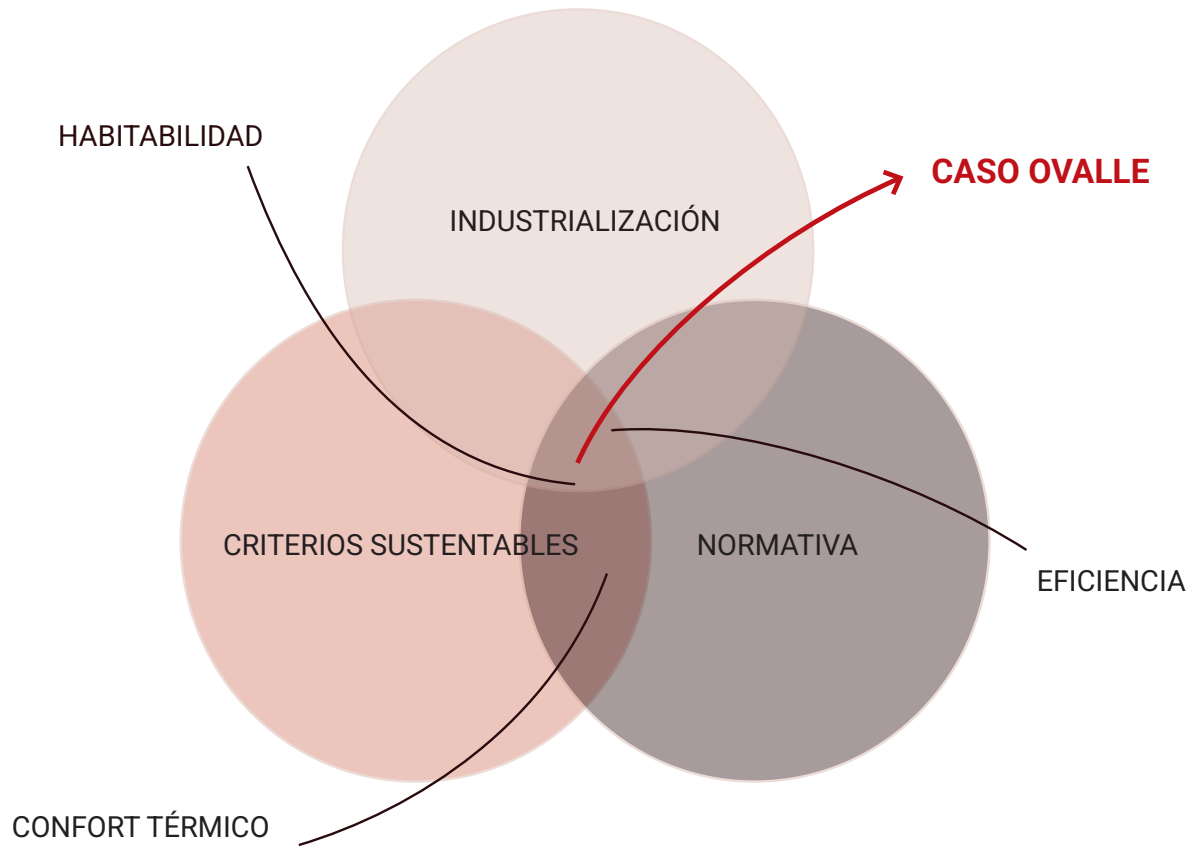


Figura 25: Diagrama que muestra la interacción entre industrialización, criterios sustentables y normativa en el caso de Ovalle.

TEMA I

ANÁLISIS DEL PLAN MAESTRO DEL CONJUNTO HABITACIONAL DESDE CRITERIOS SUSTENTABLES

3.1.1 INTRODUCCIÓN

El diseño de un conjunto habitacional no se define únicamente a partir de la vivienda individual, sino principalmente a través del plan maestro, entendido como la organización espacial del proyecto, su orientación, su relación con la topografía y su inserción en el entorno inmediato. En vivienda social, esta escala de diseño adquiere especial relevancia, ya que las decisiones tomadas en el nivel urbano condicionan directamente el confort pasivo, la eficiencia energética, la accesibilidad y la calidad ambiental cotidiana. Tal como señala la Guía de diseño para la eficiencia energética en vivienda social (Ministerio de Vivienda y Urbanismo & Bustamante, 2009), la habitabilidad depende de una mirada integral que articule clima, territorio y diseño arquitectónico, superando la idea de que la sustentabilidad se resuelve únicamente desde la envolvente térmica o los materiales.

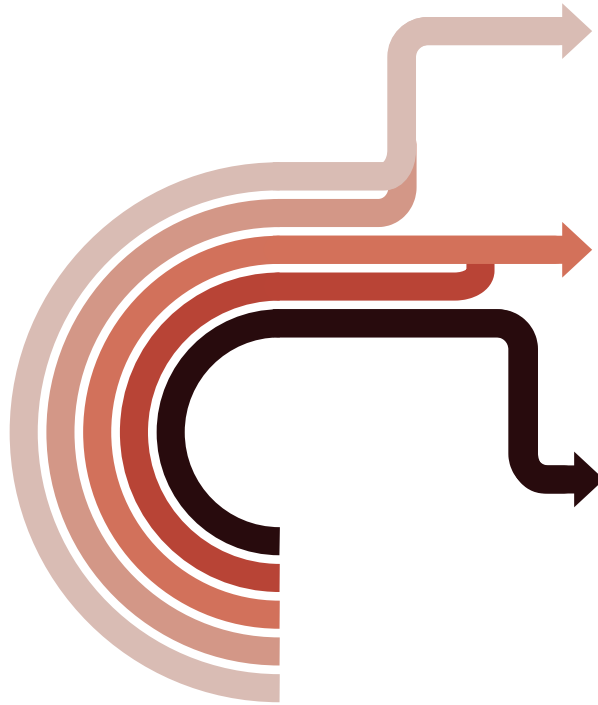
El proyecto ancla de Ovalle, emplazado en una ladera de fuerte pendiente dentro de un clima semiárido, presenta un escenario particularmente desafiante. Su configuración escalonada en dos plataformas principales, representada en la Figura 20, permite reducir movimientos de tierra y evitar calles excesivamente inclinadas, pero también genera efectos ambientales que deben ser comprendidos: sombras prolongadas entre niveles, diferencias térmicas, variaciones de ventilación y contrastes en el comportamiento

lumínico a lo largo del día. Estas condiciones obligan a evaluar el conjunto desde una mirada climática y urbana simultánea, entendiendo que la forma de implantación determina buena parte del desempeño ambiental de las viviendas.

La Figura 26 muestra el emplazamiento del conjunto dentro de la trama urbana de Ovalle, evidenciando su ubicación en un borde de transición entre áreas consolidadas y sectores de expansión. Esta condición refuerza la necesidad de analizar el proyecto no solo desde la perspectiva térmica, sino también desde su integración con el entorno y su capacidad de conectar a los habitantes con servicios, equipamientos y redes de movilidad. La localización cercana a la Avenida Ena Craig y a centros educativos y comerciales, mostrada en la Figura 35, condiciona la experiencia cotidiana de desplazamiento y el acceso a infraestructura esencial.

En este escenario, el plan maestro funciona como un regulador climático y urbano, articulando topografía, orientación y conectividad. Sus decisiones inciden en el asoleamiento, la ventilación, la acústica, el tratamiento del suelo y el comportamiento térmico del conjunto, variables que serán analizadas en los apartados siguientes mediante el marco conceptual de la Certificación de Vivienda Sustentable.

FLUJO DE TRABAJO



01: REVISIÓN DE CRITERIOS CVS

Analizar los lineamientos de la Certificación de Vivienda Sustentable aplicables al plan maestro.

Orientación | Asoleamiento | Accesibilidad | Áreas verdes | Espacios comunitarios

02: ESTUDIO DEL EMPLAZAMIENTO Y DISEÑO DEL MASTERPLAN

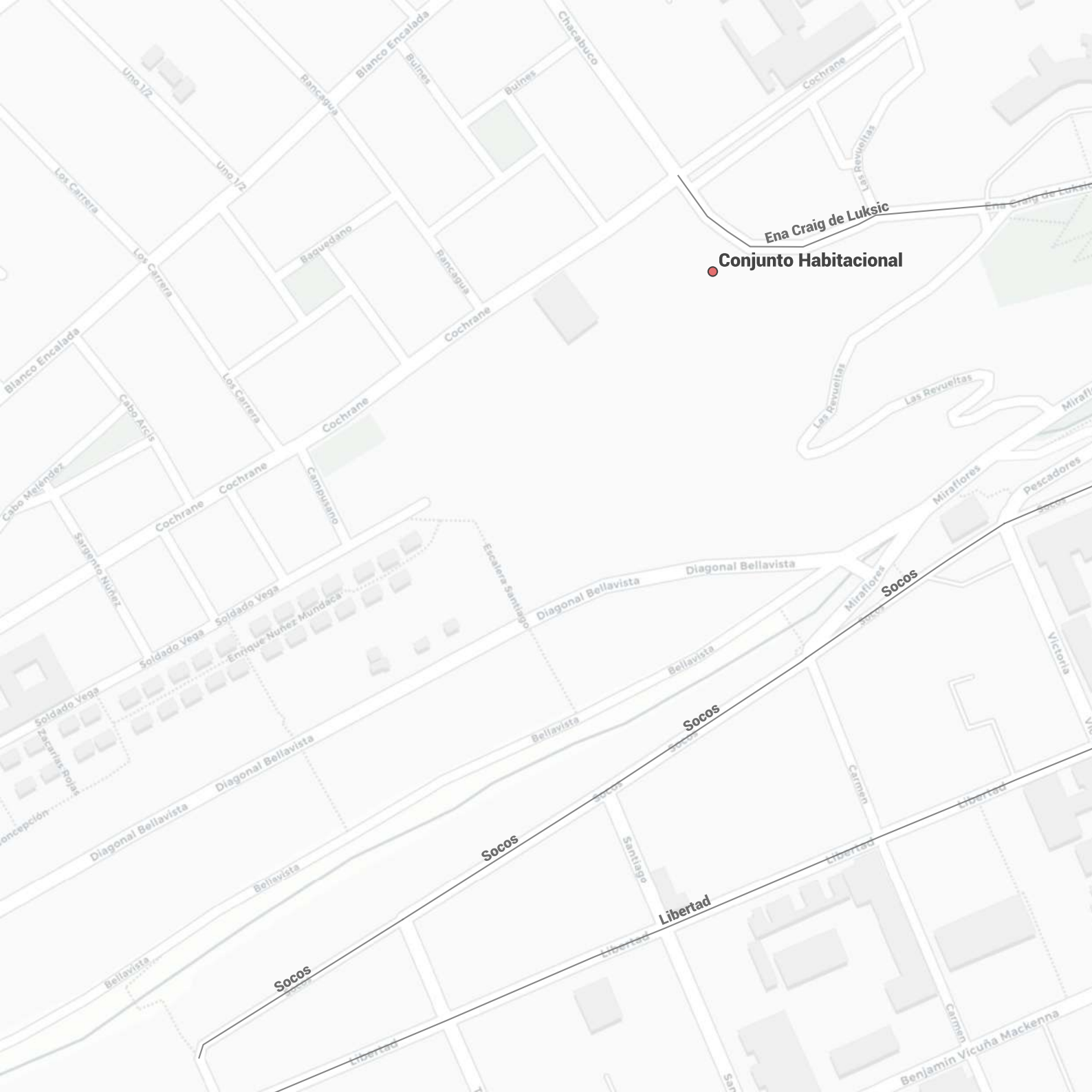
Levantamiento y análisis del terreno y de la disposición urbana del conjunto.

Topografía y geografía | Relación con el entorno | Diseño escalonado | Generación de sombras | Accesibilidad y uso de espacios comunes

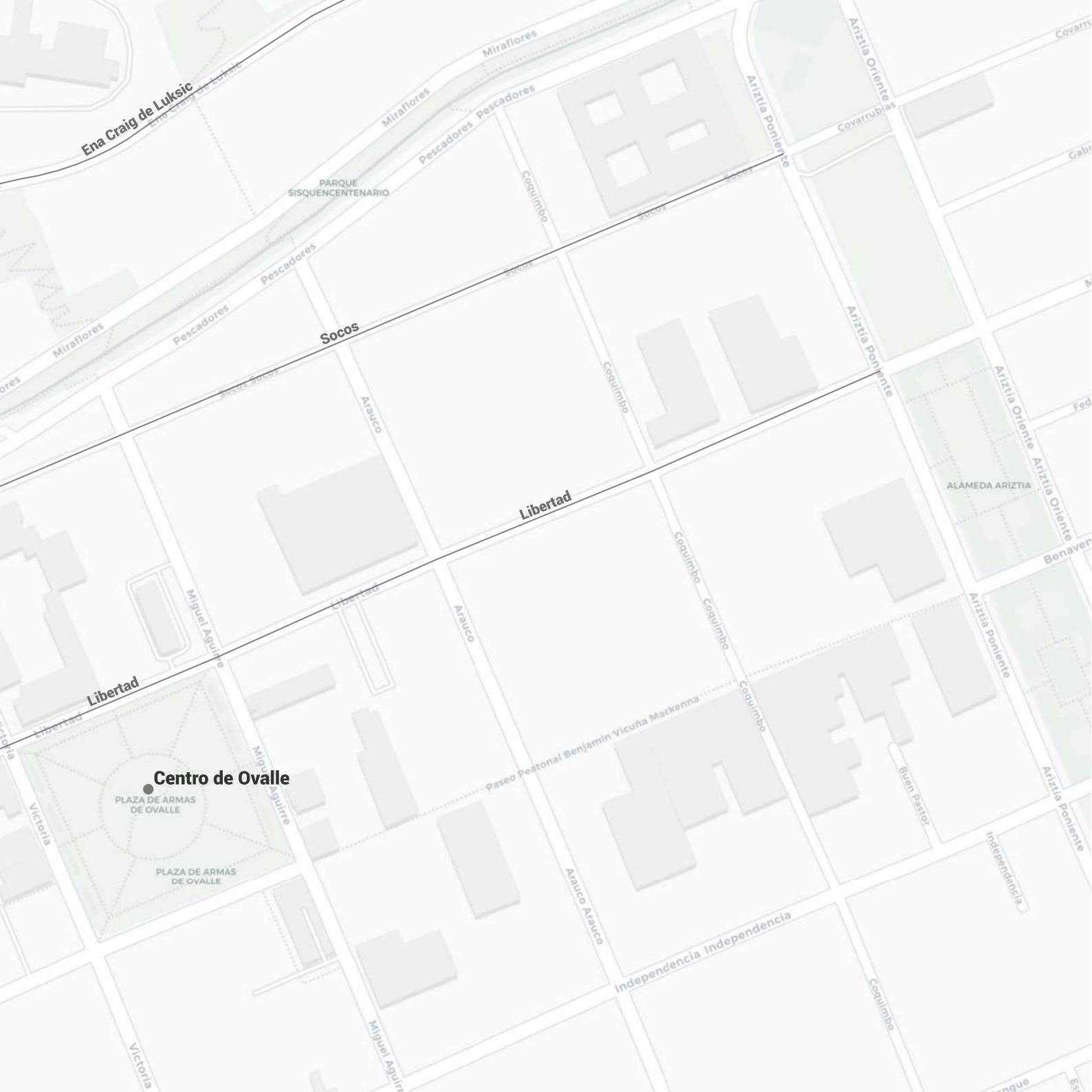
03: COMPARACIÓN CRÍTICA Y REFLEXIÓN PROYECTUAL

Contrastar los criterios de la CVS con las decisiones del proyecto Ovalle.

Coherecias y vacíos respecto a la sustentabilidad | Impacto de las decisiones urbanísticas | Oportunidades de mejora en eficiencia energética y confort colectivo



Conjunto Habitacional



Ena Craig de Luksic

PARQUE
SISQUICENTENARIO

Socos

Libertad

Libertad

Centro de Ovale

PLAZA DE ARMAS
DE OVALLE

PLAZA DE ARMAS
DE OVALLE

ALAMEDA ARIZTIA

3.1.2 CERTIFICACIÓN DE VIVIENDA SUSTENTABLE (CVS)

La Certificación de Vivienda Sustentable (CVS), desarrollada por el Ministerio de Vivienda y Urbanismo de Chile (MINVU), surge como una herramienta para orientar el diseño, construcción y evaluación de viviendas bajo criterios de eficiencia ambiental y calidad de vida. Se trata de un sistema voluntario de certificación que busca promover la sustentabilidad en proyectos residenciales de nueva construcción, incorporando parámetros técnicos verificables y adaptados a las distintas zonas climáticas del país.

La CVS responde a la necesidad de establecer estándares de sustentabilidad aplicables a la vivienda social, un ámbito donde las condiciones económicas suelen limitar la incorporación de tecnologías avanzadas o soluciones de alto costo. Frente a ello, la certificación propone una metodología integral que valora tanto el desempeño ambiental de la vivienda como su inserción urbana y su impacto en el bienestar de las personas. Así, el foco no está únicamente en reducir el consumo energético, sino también en mejorar el confort térmico, lumínico y acústico, optimizar el uso del agua, gestionar responsablemente los materiales y asegurar una relación armónica con el entorno.

El sistema organiza su evaluación en seis categorías principales: Energía, Agua, Salud y Bienestar, Materiales y Residuos, Entorno

Inmediato e Impacto Ambiental y Uso del Suelo. Cada una aborda aspectos complementarios que permiten analizar la sustentabilidad desde una mirada integral: desde la orientación y envolvente térmica, hasta la calidad ambiental interior, la accesibilidad, la vegetación y el uso eficiente de recursos naturales. La certificación otorga distintos niveles de cumplimiento; Certificado, Destacado y Sobresaliente, según la cantidad de criterios alcanzados, incentivando a los proyectos a superar los mínimos normativos y avanzar hacia un estándar superior de desempeño ambiental.

En esta memoria, la CVS se adopta como marco metodológico de análisis para el proyecto ancla de vivienda social industrializada en Ovalle, ya que permite evaluar de manera objetiva el grado de sustentabilidad del plan maestro. Su aplicación a escala de conjunto posibilita comprender cómo decisiones urbanas, como la orientación de los edificios, la disposición escalonada en la pendiente o la ubicación de los espacios comunes, influyen en el confort térmico y ambiental de los futuros habitantes. Más que un instrumento de evaluación, la CVS se entiende aquí como una guía de diseño sustentable, capaz de orientar decisiones proyectuales hacia un equilibrio entre eficiencia energética, habitabilidad y bienestar, principios esenciales para avanzar hacia una vivienda social más digna, resiliente y ambientalmente responsable.

3.1.3 CRITERIOS DE LA CVS EN EL PROYECTO ANCLA

La aplicación de la Certificación de Vivienda Sustentable (CVS) en el Proyecto Ancla se plantea como una herramienta de análisis ambiental y urbano que permite evaluar de forma integrada el comportamiento del conjunto habitacional en Ovale. Más que verificar el cumplimiento de una norma, su uso busca identificar las condiciones del emplazamiento que afectan el confort y la sustentabilidad del proyecto, vinculando las decisiones de diseño con criterios técnicos medibles.

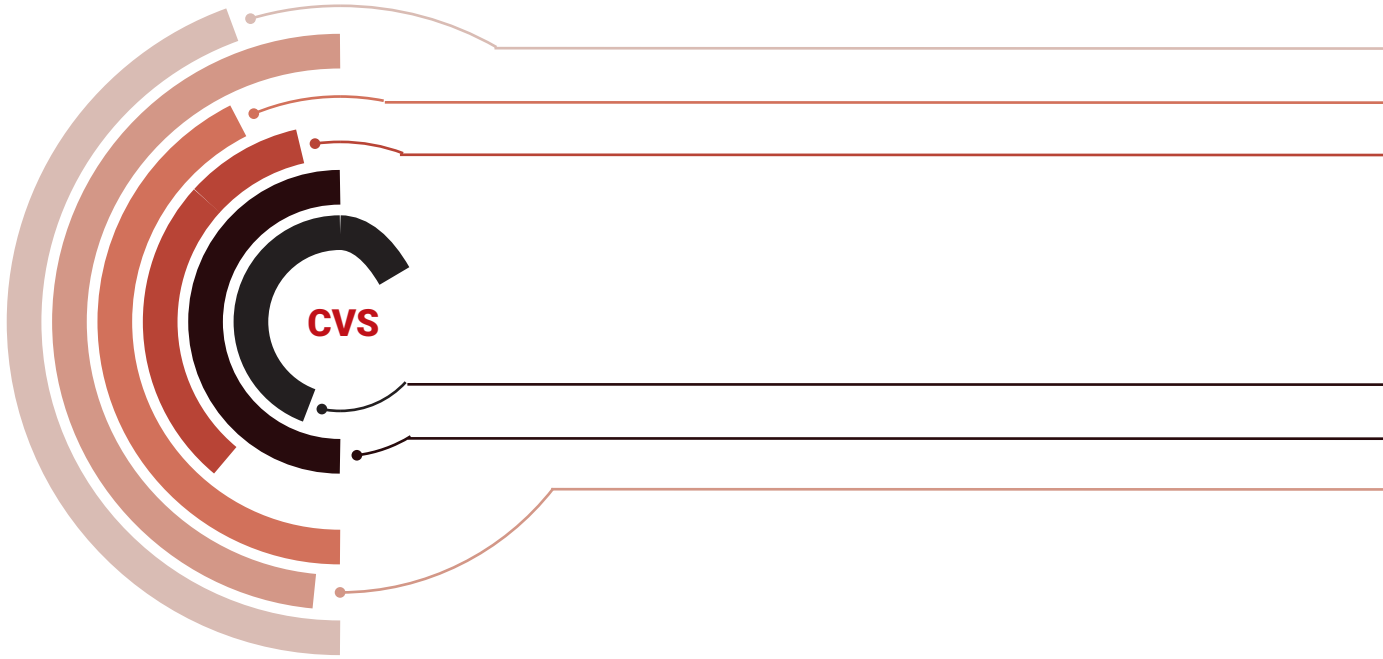
En este contexto, se seleccionan los criterios más pertinentes a la escala de conjunto, considerando las características topográficas, climáticas y constructivas del terreno. La evaluación se centra principalmente en las categorías Salud y Bienestar, Materiales y Residuos, Impacto Ambiental y Entorno Inmediato.

En la Categoría 1: Salud y Bienestar, se analizan las condiciones ambientales que inciden directamente en el confort térmico y espacial de las viviendas. La pendiente del terreno y la disposición escalonada de los bloques generan sombras extendidas en invierno, afectando la radiación solar sobre las fachadas norte de las edificaciones inferiores. A su vez, la ventilación predominante desde el suroeste produce un efecto túnel entre volúmenes, que modifica la sensación térmica y la calidad del aire en los espacios comunes. Estos factores se complementan con la

evaluación de la exposición acústica al borde vial, donde la vegetación y la distancia respecto a la avenida principal actúan como barreras naturales que contribuyen al bienestar de los usuarios. La Categoría 4: Materiales y Residuos se aborda a partir del carácter industrializado del sistema constructivo en acero, el cual permite reducir los residuos generados en obra y mejorar la eficiencia en el uso de materiales. La fabricación en planta otorga mayor control sobre el proceso y facilita la trazabilidad de los componentes, lo que se alinea con los principios de sustentabilidad definidos en la certificación.

Desde la Categoría 5: Impacto Ambiental, el análisis se orienta al estudio del efecto de isla de calor, fenómeno relevante en el contexto semiárido de Ovale. A través de este criterio se explora cómo la proporción de áreas pavimentadas, la presencia de vegetación y los materiales utilizados en las superficies influyen en la acumulación térmica del conjunto y en el microclima local.

Finalmente, la Categoría 6: Entorno Inmediato permite comprender la relación del proyecto con su entorno urbano. Este criterio aborda la accesibilidad peatonal y vehicular, la proximidad a equipamientos y la articulación con la trama existente, aspectos que inciden directamente en la calidad de vida de los habitantes y en la integración del conjunto dentro de la ciudad.



SALUD Y BIENESTAR

Confort térmico, ventilación natural, iluminación y control acústico para mejorar la habitabilidad y el bienestar de los usuarios.

ENERGIA

Eficiencia energética mediante diseño pasivo, uso de equipos eficientes y aprovechamiento de energías renovables.

AGUA

Uso eficiente y gestión sustentable del recurso hídrico, incorporando estrategias de reutilización y ahorro.

MATERIALES Y RESIDUOS

Uso responsable de materiales y gestión integral de residuos durante el diseño, construcción y operación.

IMPACTO AMBIENTAL

Reducción de emisiones y efectos sobre el ecosistema mediante medidas de mitigación y diseño de bajo impacto.

ENTORNO INMEDIATO

Integración urbana del conjunto, accesibilidad y conectividad con el entorno y sus equipamientos.

3.1.3.1 SALUD Y BIENESTAR

ILUMINACIÓN NATURAL

La iluminación natural en el conjunto está fuertemente condicionada por la topografía del terreno y por la organización escalonada de las plataformas. Tal como se observa en la Figura 27, la diferencia de cotas entre los niveles altos y bajos genera comportamientos lumínicos diferenciados durante el invierno y el verano, afectando directamente la calidad de luz disponible en fachadas y espacios comunes.

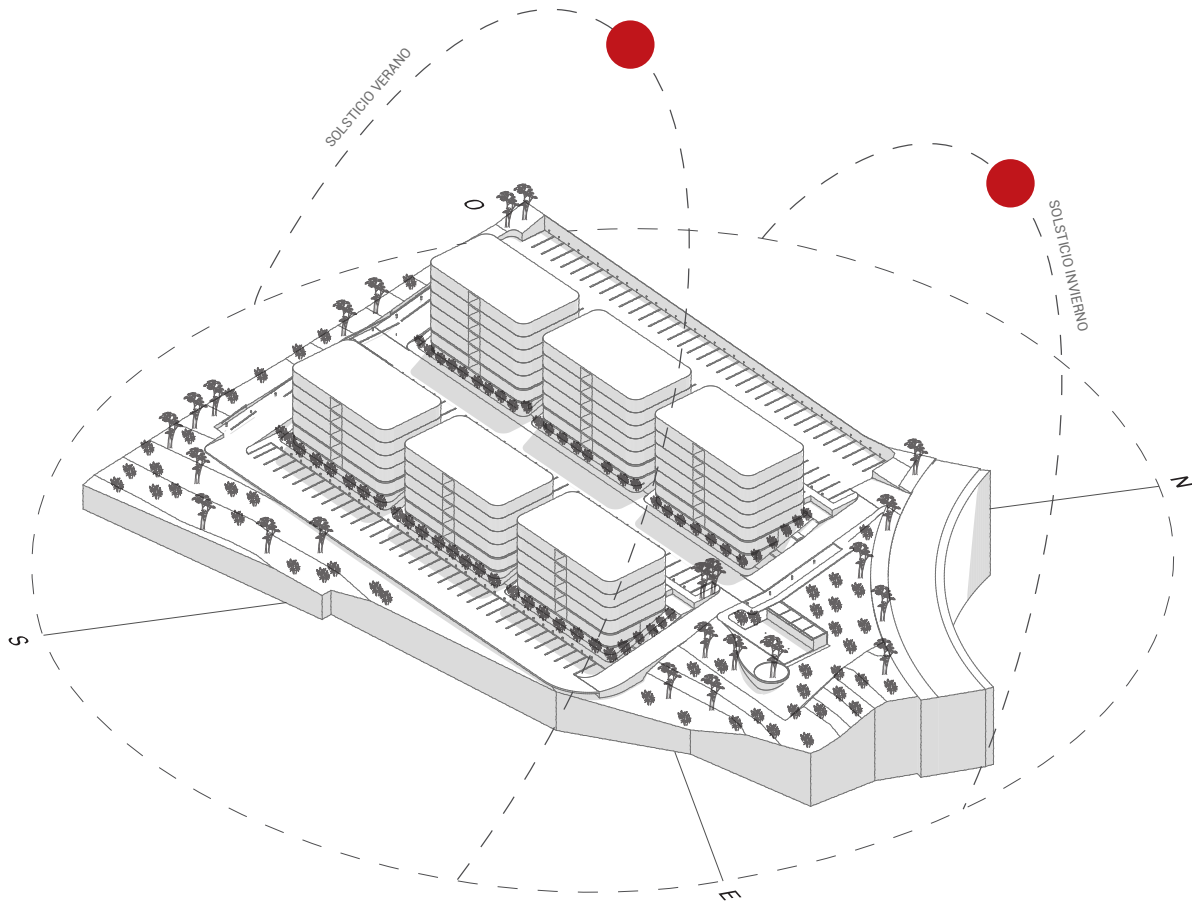


Figura 27: Diagrama de aseamiento del conjunto.

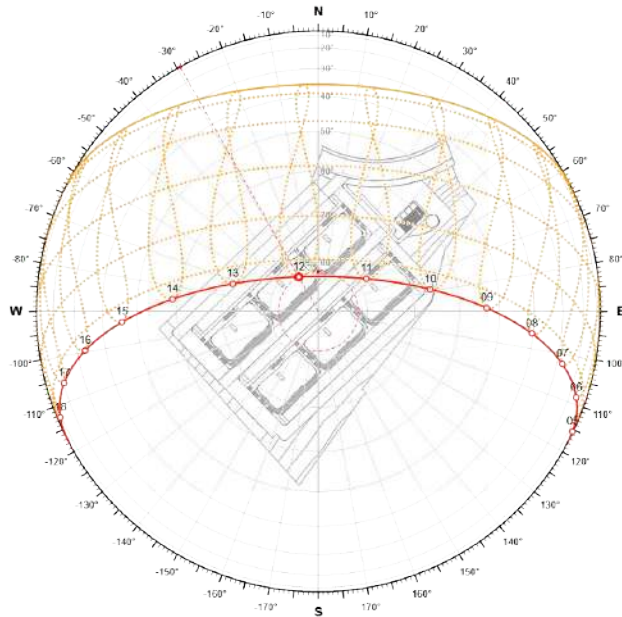


Figura 28: Trayectoria solar de verano a las 12:00 horas sobre el conjunto habitacional.

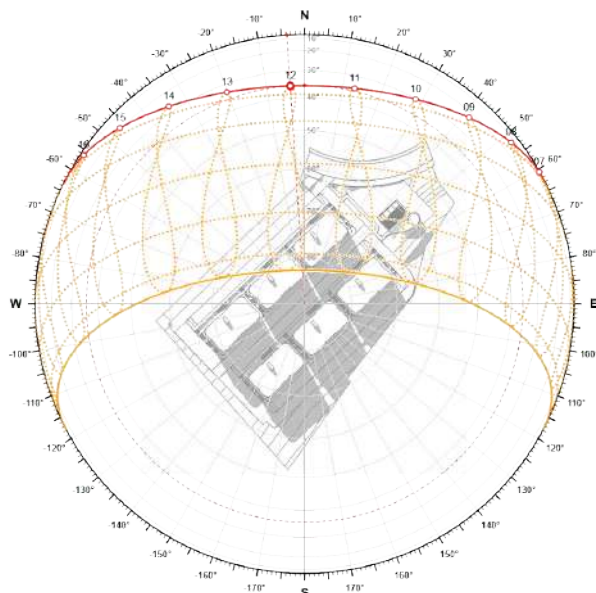


Figura 29: Trayectoria solar de invierno a las 12:00 horas sobre el conjunto habitacional.

SOLSTICIO VERANO

Durante el solsticio de verano, el sol alcanza su máxima altura, con un ángulo de 82° respecto a la horizontal. Como muestra la Figura 28, esta posición genera sombras mínimas y una alta exposición solar, especialmente en las fachadas oriente y poniente. En el proyecto ancla de Ovalle, esta condición se traduce en un aumento de la temperatura superficial en pavimentos y espacios comunes, afectando el confort térmico exterior. Este fenómeno evidencia cómo la radiación solar directa y la materialidad del entorno inciden en la percepción ambiental y habitabilidad, aspectos fundamentales del criterio Salud y Bienestar de la CVS.

SOLSTICIO INVIERNO

Durante el solsticio de invierno, el sol alcanza su punto más bajo, con un ángulo de aproximadamente 36° . Como se ve en la Figura 29, la proyección de sombras es larga y persistente a lo largo del día. En el proyecto ancla de Ovalle, la disposición escalonada de los edificios favorece la captación solar en los niveles superiores, mientras las viviendas inferiores permanecen sombreadas gran parte del día. Esta diferencia térmica revela cómo las decisiones de implantación y orientación del conjunto determinan la variabilidad lumínica y de temperatura, factores centrales en el confort térmico descrito por el criterio Salud y Bienestar de la CVS.

VENTILACIÓN NATURAL

La ventilación natural en el conjunto está influenciada por el viento predominante del suroeste. En su recorrido por el terreno, la pendiente acompaña el desplazamiento del aire y genera zonas más expuestas o protegidas según cada plataforma. Como muestra la Figura 30, la separación entre edificios produce un efecto túnel que canaliza el flujo de manera irregular, creando áreas más ventiladas y otras más quietas. Estas diferencias hacen que algunos tramos peatonales se perciban más frescos, mientras otros acumulan calor y resultan menos confortables.

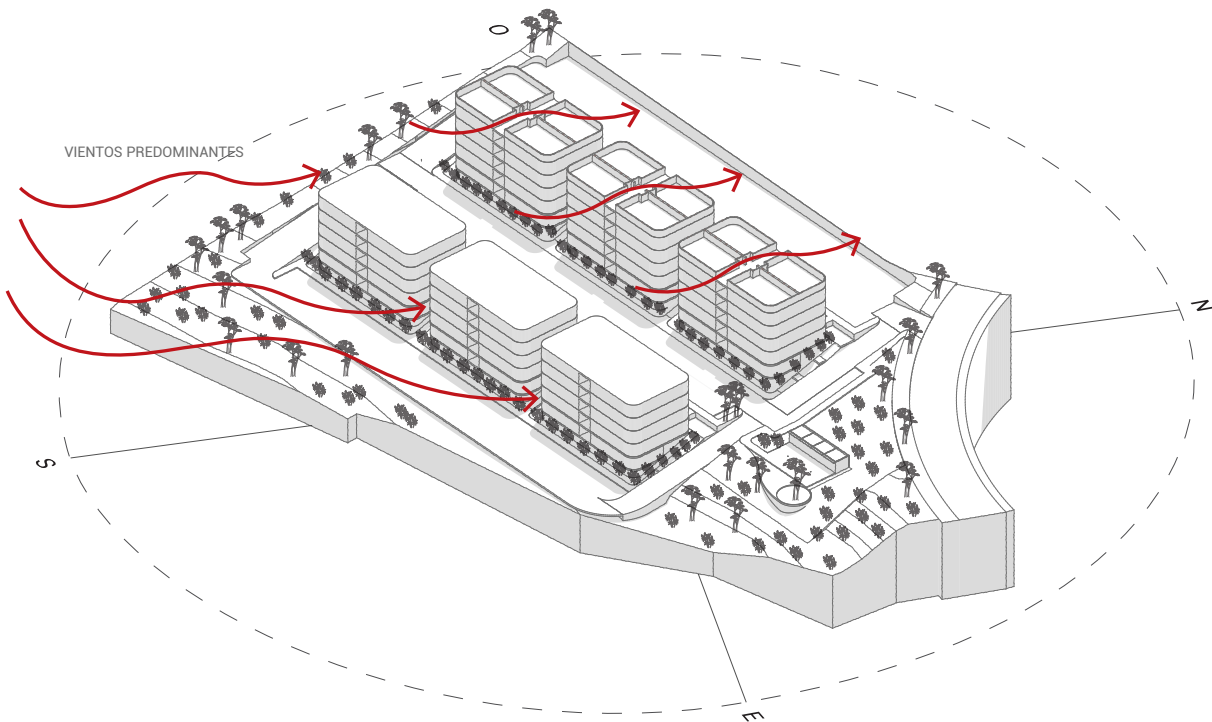


Figura 30: Diagrama de vientos del conjunto.

La ventilación natural del conjunto no solo depende del movimiento del aire en los espacios exteriores, sino también de cómo los edificios integran estrategias pasivas que permiten renovarlo al interior. En este sentido, la ventilación cruzada adquiere un rol fundamental, ya que mejora la calidad ambiental interior sin recurrir a sistemas mecánicos y aprovecha una condición característica del clima semiárido de Ovalle: el aumento del viento durante las tardes.

Como se aprecia en la Figura 31, la circulación central abierta funciona como un vacío que facilita el paso del aire a través del edificio. Este espacio permite que el viento ingrese por la fachada más expuesta, recorra el volumen y salga por la fachada opuesta, generando un flujo transversal

continuo que renueva el aire de pasillos y recintos cercanos. Esta corriente también alcanza puertas y ventanas de las viviendas, fortaleciendo la ventilación natural de los interiores y reduciendo la acumulación de calor propia de los sistemas livianos en acero.

La integración de este vacío dentro del sistema modular favorece que el movimiento del aire ocurra durante gran parte del día, estabilizando la temperatura interior y mejorando el confort de uso cotidiano. Esta estrategia se alinea directamente con el criterio 3.1 de la Certificación de Vivienda Sustentable (CVS), que promueve el aprovechamiento del viento como recurso pasivo para reducir el sobrecalentamiento y mejorar la habitabilidad de las viviendas.

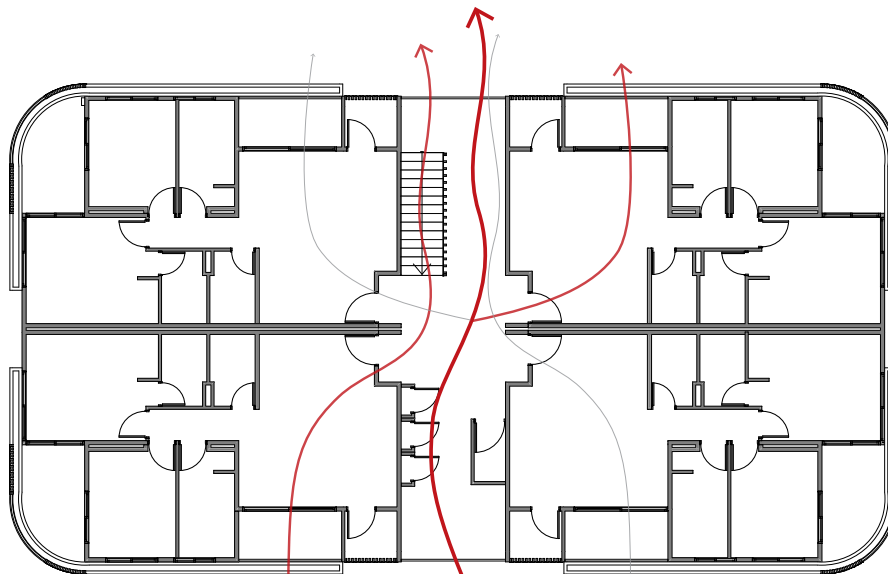


Figura 31: Diagrama de ventilación cruzada aplicado a la tipología del edificio.

CONTAMINACIÓN ACÚSTICA

En el conjunto habitacional de Ovale, la ubicación junto a la Avenida Ena Craig de Luksic configura una condición acústica relevante para la habitabilidad del proyecto. El flujo vehicular constante y las variaciones de ruido propias de esta vía estructurante afectan especialmente las áreas comunes y las viviendas cercanas al borde. Tal como se aprecia en la Figura 32, esta relación directa con el eje vial hace imprescindible incorporar estrategias que reduzcan la llegada del ruido a las zonas más expuestas del proyecto.

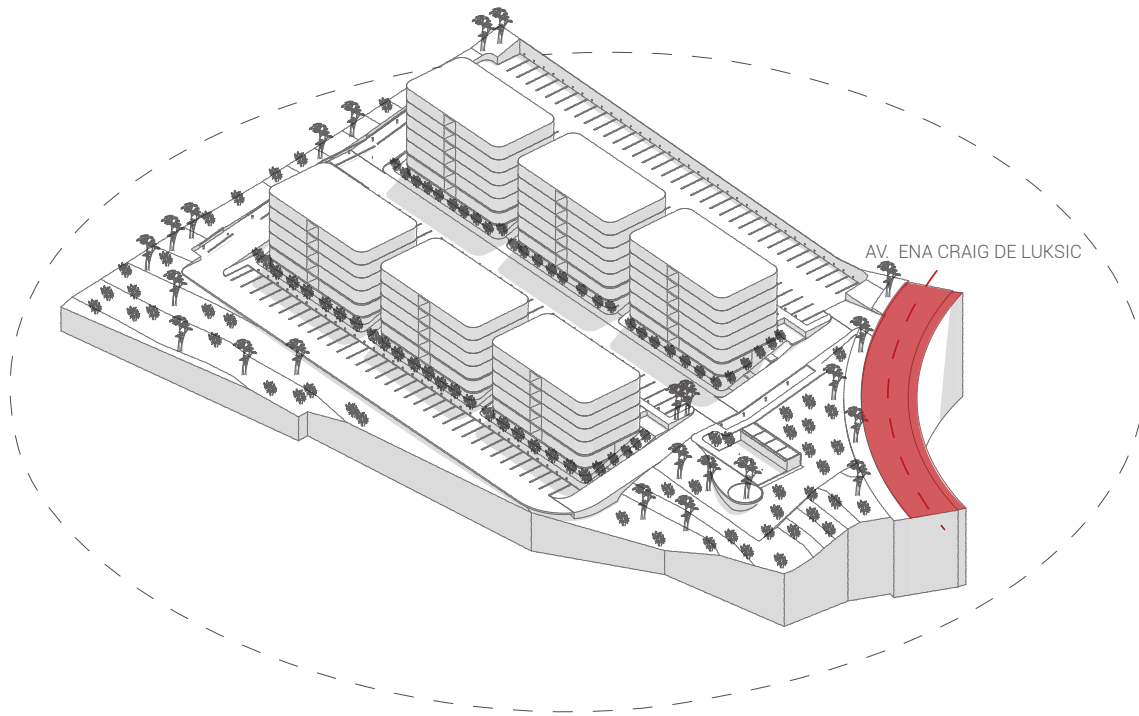


Figura 32: Diagrama de análisis acústico del emplazamiento.

La condición acústica del borde oriente del proyecto evidencia la necesidad de incorporar medidas que mitiguen el ruido proveniente de la Avenida Ena Craig de Luksic. La Figura 33 muestra cómo la franja de vegetación busca atenuar el ruido proveniente de la avenida, reduciendo su intensidad a medida que las ondas se desplazan hacia el interior del conjunto. El cambio en la densidad y continuidad de la vegetación permite que parte de la energía sonora se disipe antes de alcanzar las áreas habitables, disminuyendo la exposición directa en los sectores más próximos al borde vial.

La estrategia se materializa en una barrera

vegetal continua. Este tratamiento funciona como un primer filtro acústico para las viviendas y espacios comunes, suavizando la percepción acústica en el límite del proyecto.

El criterio 3.2 de la Certificación de Vivienda Sustentable (CVS) destaca la importancia de integrar medidas pasivas que reduzcan la propagación del ruido sin recurrir a soluciones de alto costo o mantención compleja. En ese sentido, la franja verde constituye una estrategia eficaz y coherente con los principios de sustentabilidad aplicados al proyecto, ofreciendo una base sólida para futuras mejoras acústicas si las condiciones de uso o flujo vehicular aumentan con el tiempo.

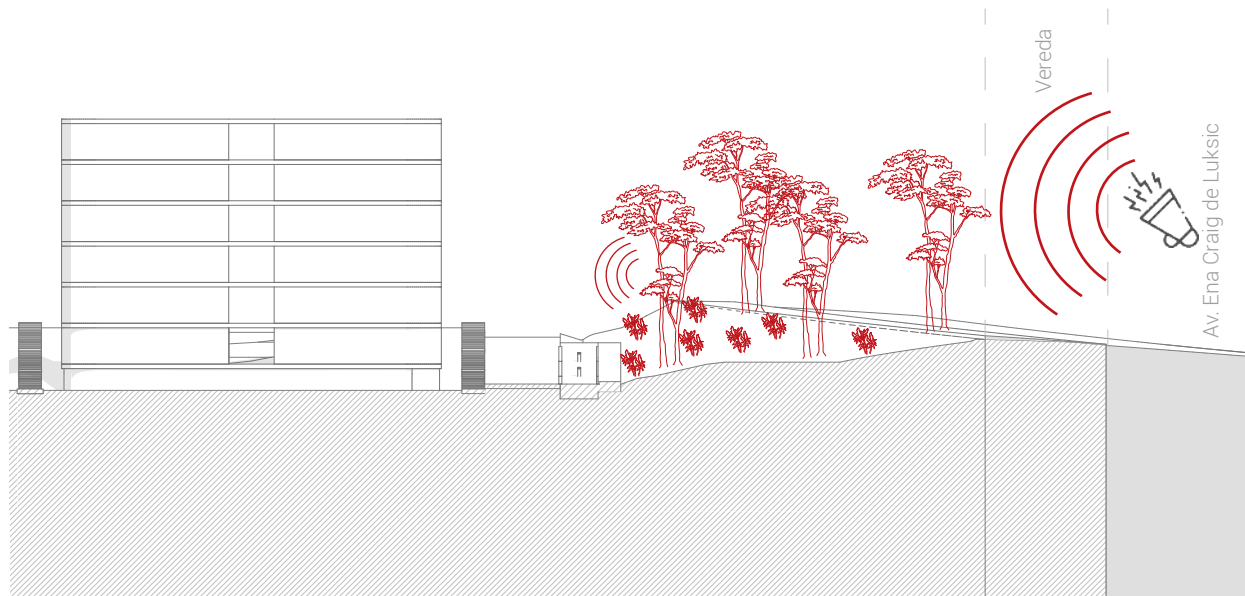


Figura 33: Diagrama acústico en elevación del borde hacia Av. Ena Craig de Luksic.

3.1.3.2 MATERIALES Y RESIDUOS

INDUSTRIALIZACIÓN

El proceso constructivo tradicional, basado en la ejecución in situ, suele estar asociado a una alta generación de residuos, un uso ineficiente de materiales y un consumo energético elevado. La falta de control en obra, las pérdidas de materiales y el transporte fragmentado de insumos generan impactos ambientales. Frente a este modelo, el sistema constructivo industrializado utilizado en el proyecto ancla de Ovalle plantea un cambio de paradigma: pasar de una lógica tradicional a una lógica de producción controlada y eficiente, donde el diseño, la fabricación y el montaje se integran como parte de un proceso sustentable.

En la planta ATCO Sabinco, cada módulo se fabrica bajo condiciones estandarizadas, lo que permite optimizar el uso de recursos y reducir al mínimo los desechos. La precisión de los procesos, cortes, uniones, ensamblajes, evita errores y sobreproducción, mientras que los excedentes pueden recuperarse o reincorporarse al ciclo productivo. Este control no solo disminuye los residuos sólidos, sino también el consumo de agua y energía, aspectos directamente vinculados con el criterio Materiales y Residuos de la Certificación de Vivienda Sustentable (CVS), que promueve la eficiencia de recursos y la reducción de impactos durante todo el ciclo de vida de la edificación.



Figura 34: Imágenes de la planta de producción de ATCO Sabinco. Imágenes de Biourban.

La reducción del transporte es otro factor ambiental relevante. Los módulos llegan a obra armados, lo que disminuye el número de traslados, el movimiento de maquinaria y las emisiones asociadas al CO2. Al mismo tiempo, la planificación precisa de la producción permite coordinar los tiempos y recursos, reduciendo almacenamientos innecesarios, desplazamientos y pérdidas de material. El resultado es un proceso más limpio y silencioso, con menos polvo, escombros y contaminación en el entorno inmediato.

Más allá de la eficiencia productiva, la industrialización incorpora una visión de circularidad: los módulos pueden desmontarse, repararse o reconfigurarse, prolongando su vida útil y reduciendo la necesidad de nuevas materias primas. Esta posibilidad de reutilizar componentes transforma el sistema constructivo en una herramienta de gestión responsable de materiales, coherente con los principios de la CVS, que incentivan la reducción, reutilización y reciclaje como parte del diseño arquitectónico.

De este modo, la industrialización no solo mejora la calidad y precisión del proceso constructivo, sino que redefine la manera en que la vivienda social puede vincularse con la sustentabilidad.

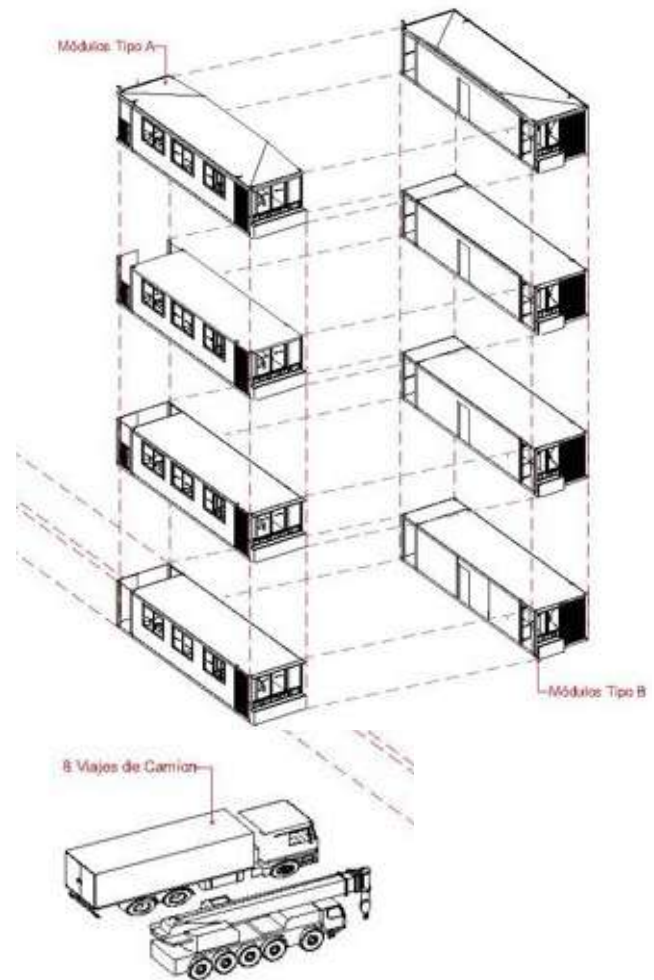


Figura 35: Diagramas de montaje y transporte de módulos ATCO Sabinco. Imágenes de Biourban.

3.1.3.3 IMPACTO AMBIENTAL

EFECTO ISLA CALOR

El efecto isla de calor urbano corresponde al aumento de temperatura que se produce cuando las superficies duras del entorno, pavimentos, techumbres y muros expuestos, absorben radiación solar durante el día y la liberan lentamente por la noche. En un clima semiárido como el de Ovalle, caracterizado por alta radiación y baja humedad, este fenómeno se intensifica y condiciona tanto la sensación térmica en los espacios exteriores como el desempeño energético de las edificaciones del conjunto (ver Figura 36).

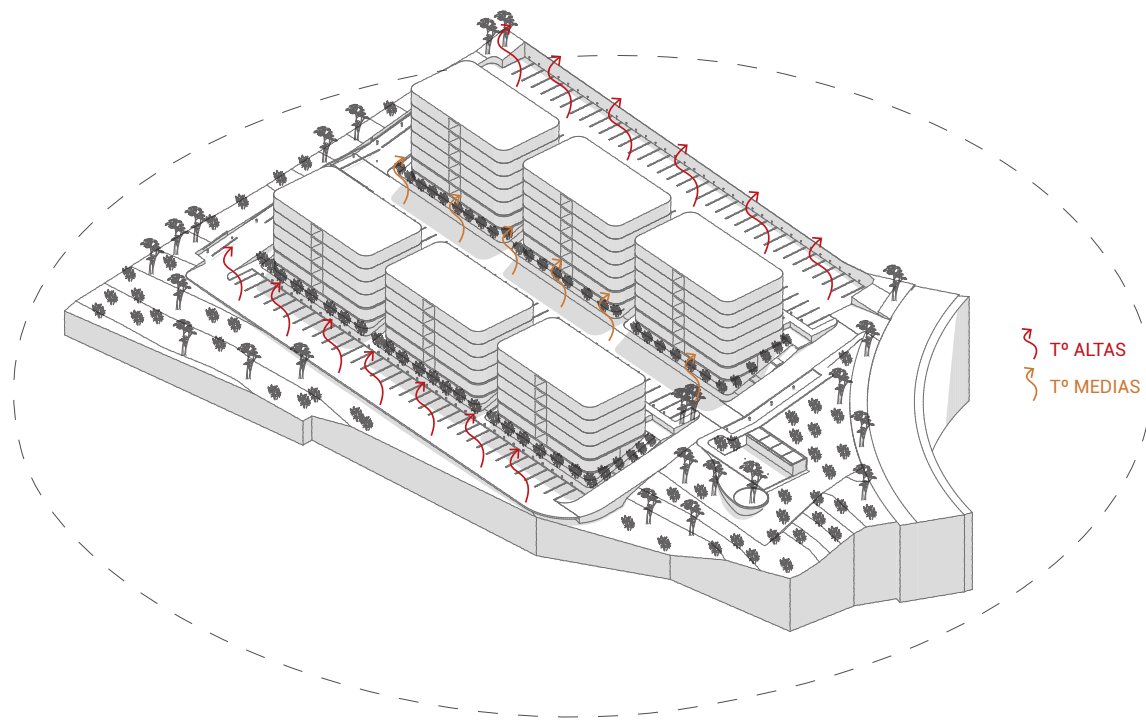


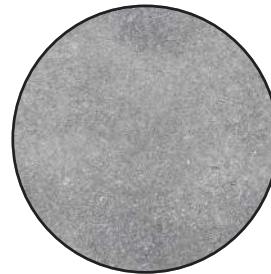
Figura 36: Diagrama del efecto de isla de calor en el conjunto habitacional.

EFECTO ISLA CALOR

La configuración del terreno y los materiales utilizados generan contrastes térmicos evidentes dentro del conjunto. La Figura 36 muestra cómo las calles ubicadas en los niveles más altos y bajos presentan las mayores temperaturas superficiales, debido a la presencia predominante de pavimentos duros. Estas superficies absorben con rapidez la radiación durante el día y liberan calor hacia la tarde, haciendo que los espacios peatonales resulten más cálidos y menos confortables.

En cambio, la zona intermedia del proyecto se comporta de forma más templada. La disposición escalonada de los edificios proyecta sombra sobre pasajes y áreas comunes, reduciendo la exposición directa y generando un microclima más estable. Esta condición demuestra cómo la topografía puede contribuir a moderar la ganancia térmica cuando se integra adecuadamente al diseño.

Para mitigar las zonas más expuestas, el proyecto incorpora estrategias pasivas: áreas verdes que aportan evapotranspiración, pavimentos permeables que disminuyen la absorción térmica y superficies en tonos claros que reflejan parte de la radiación solar. Estas decisiones se alinean con el criterio 6.1 de la Certificación de Vivienda Sustentable (CVS), orientado a reducir el impacto térmico urbano y mejorar la calidad ambiental del conjunto.



PAVIMENTO DURO

Genera altas T°



PAVIMENTO PERMEABLE

Disminución de absorción de calor



REVESTIMIENTO CLARO

Refleja radiación solar



VEGETACIÓN

Disminución de T°

Figura 37: Materialidades del conjunto y su efecto térmico superficial.

3.1.3.4 ENTORNO INMEDIATO

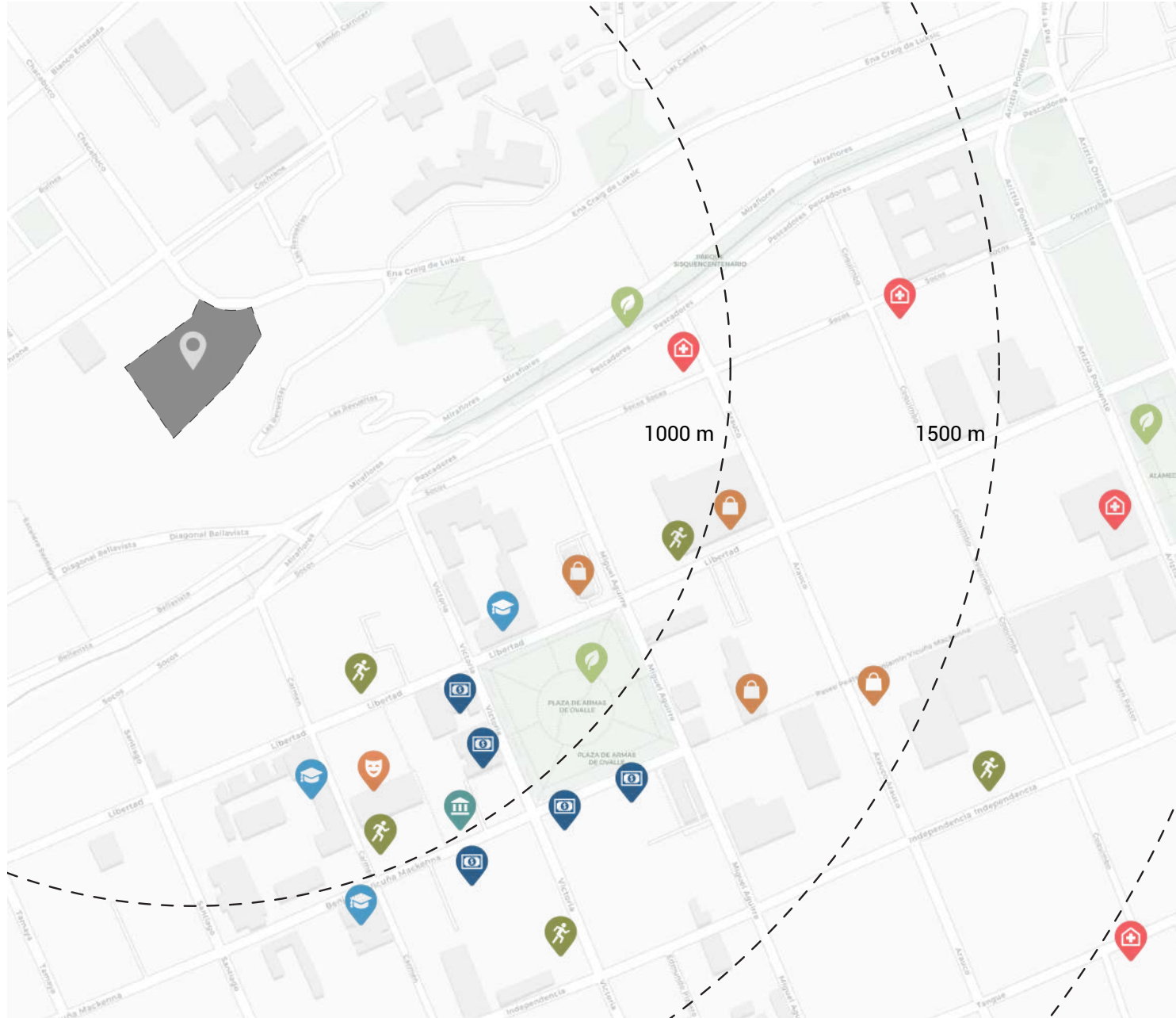




TABLA 49. DISTANCIA MÁXIMA PERMITIDA A EQUIPAMIENTO Y SERVICIOS BÁSICOS.

EQUIPAMIENTO O SERVICIO BÁSICO	DISTANCIA MÁXIMA (M)
Equipamiento comercial	1000
Establecimiento de salud primario o superior	2000
Entidades bancarias	1000
Establecimiento de educación público y/o privado	1000
Parques o plazas públicas	1000
Equipamiento cultural y/o de culto	1500
Equipamiento deportivo	1500

Fuente: División Técnica de Estudio y Fomento Habitacional (Ditec) del Minvu.

Tabla 1: Distancias máximas a equipamientos y servicios básicos según la Certificación de Vivienda Sustentable. Fuente: MINVU, CVS 2021.

LEYENDA

-  Terreno Conjunto Habitacional
-  Parques o plazas públicas
-  Establecimiento de salud
-  Establecimiento de educación
-  Equipamiento comercial
-  Entidades bancarias
-  Equipamiento cultural
-  Municipalidad

Figura 38: Relación entre el terreno y los equipamientos del entorno inmediato. Mapa elaborado en base a QGIS.

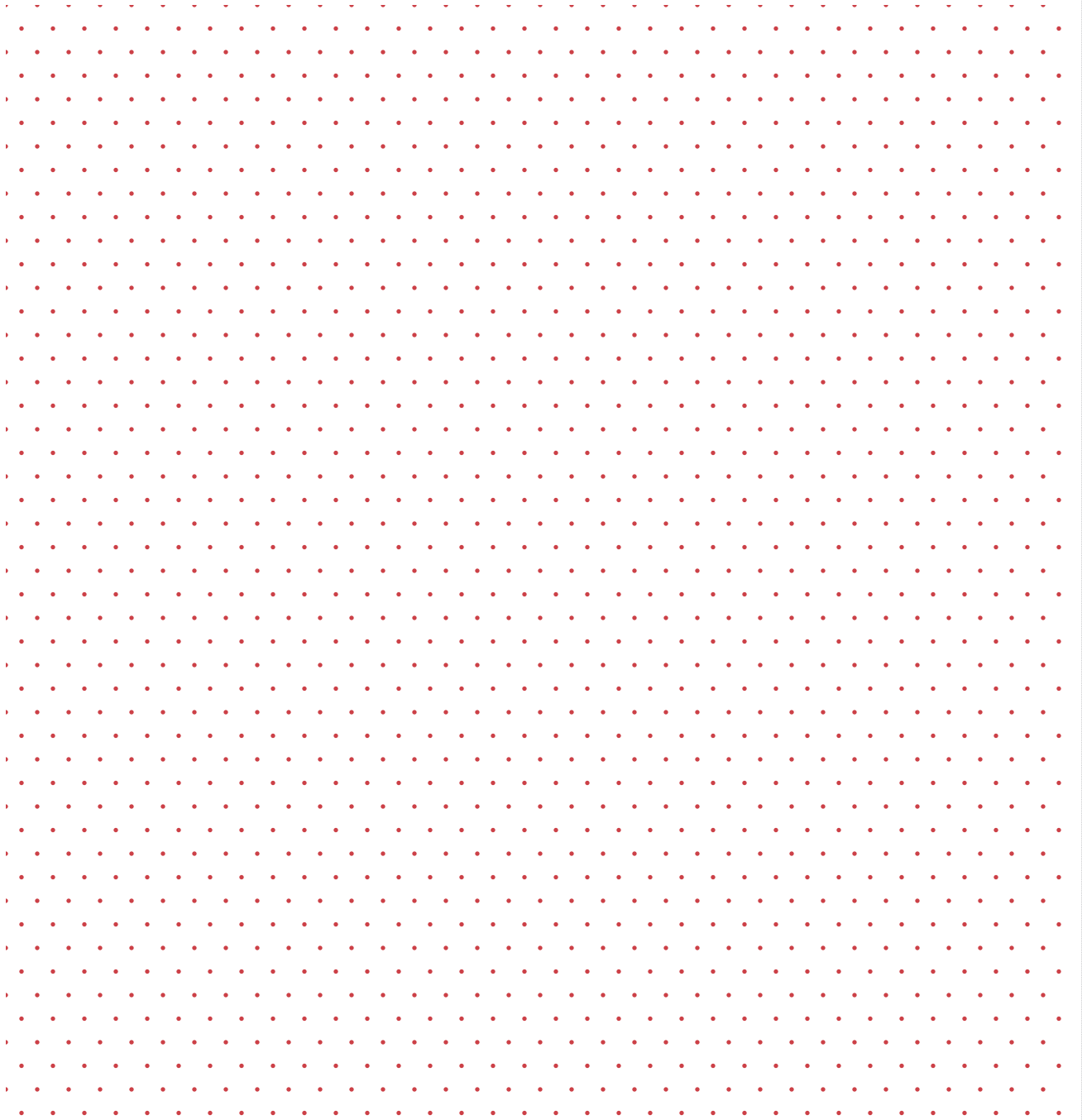
El análisis del entorno inmediato del proyecto permite comprender cómo la localización dentro de la ciudad influye directamente en la accesibilidad, la calidad urbana y las oportunidades cotidianas de sus futuros habitantes. La Figura 38 muestra la relación del conjunto con los principales equipamientos del centro de Ovalle, evidenciando una posición estratégica dentro del tejido urbano consolidado. A pesar de emplazarse en un borde de transición entre áreas residenciales y zonas de mayor movilidad, el proyecto mantiene una conexión directa con servicios esenciales, áreas verdes y equipamientos que inciden en la calidad de vida. Según los criterios de la Certificación de Vivienda Sustentable (CVS), la proximidad a servicios básicos, salud, educación, comercio, transporte y equipamiento público, constituye un indicador clave para evaluar la integración urbana de un conjunto habitacional. En este sentido, el proyecto ancla presenta un desempeño favorable: como se observa en la Tabla 1, la mayoría de los equipamientos se encuentra dentro de los radios establecidos por la certificación, destacando especialmente la cercanía al centro histórico, ubicado a pocos minutos a pie del conjunto.

La distribución de equipamientos en el entorno es

diversa y equilibrada. Existen establecimientos de salud primaria y servicios municipales dentro de un rango aproximado de 1.000 metros, mientras que áreas verdes, plazas y espacios recreativos se encuentran disponibles en distintas direcciones, fortaleciendo la caminabilidad del sector. Asimismo, el eje comercial y bancario del centro de Ovalle se sitúa dentro de un radio accesible, ofreciendo servicios cotidianos sin necesidad de depender del automóvil.

La conectividad vial también contribuye a la integración del conjunto. La Avenida Ena Craig de Luksic constituye un corredor estructurante que conecta el proyecto con la Ruta D-43 y con puntos estratégicos de la ciudad.

El análisis del entorno inmediato revela que el conjunto habitacional se emplaza en una localización con buena accesibilidad peatonal y diversidad de equipamientos, cumpliendo con los principios del criterio Entorno Inmediato de la CVS. Esta situación no solo favorece la habitabilidad y el bienestar cotidiano, sino que también refuerza la pertinencia del proyecto dentro de la trama urbana de Ovalle, aportando a un desarrollo más integrado, sostenible y coherente con las oportunidades de la ciudad existente.



CRITERIO	CUMPLIMIENTO CVS	OPORTUNIDADES
 <p>SALUD Y BIENESTAR</p>	<p>Buena ventilación natural y cruzada por viento SW. Vegetación que modera temperatura y ruido.</p>	<p>Mejorar la captación solar en los niveles inferiores afectados por sombras prolongadas.</p>
 <p>ENERGÍA</p>	<p>Sin análisis</p>	<p>Optimizar captación solar pasiva en zonas sombreadas. Integrar diseño pasivo y eficiencia energética.</p>
 <p>AGUA</p>	<p>Sin análisis</p>	<p>Manejo de aguas lluvias Infiltración y retención. Vegetación de bajo consumo hídrico.</p>
 <p>MATERIALES Y</p>	<p>Sistema industrializado que reduce residuos en obra. Fabricación precisa y controlada. Potencial de desmontaje y reutilización futura de módulos.</p>	<p>Integrar estrategias de circularidad en la obra (reutilización, reciclaje, reparación).</p>
 <p>IMPACTO AMBIENTAL</p>	<p>Vegetación y pavimentos permeables reducen calor urbano. Zonas intermedias con microclima más estable por sombreadamiento.</p>	<p>Implementar superficies frías o reflectantes. Aumentar vegetación en sectores expuestos con altas temperaturas.</p>
 <p>ENTORNO INMEDIATO</p>	<p>Acceso caminable a servicios y equipamientos CVS. Buena conectividad urbana por eje estructurante.</p>	<p>Reforzar la relación identitaria del conjunto mediante referencias arquitectónicas locales que potencien la integración urbana.</p>

3.1.4 REFLEXIÓN

El análisis del plan maestro a través de los criterios de la Certificación de Vivienda Sustentable (CVS) permitió comprender algo que en la universidad se menciona muchas veces, pero que solo adquiere sentido al enfrentarlo en un proyecto real: el diseño integrado no es un concepto teórico, sino una manera de trabajar que transforma la forma de concebir un proyecto. Revisar la orientación de los volúmenes, la pendiente, las circulaciones, la vegetación y la relación con los equipamientos desde una mirada sistémica evidenció cómo cada decisión temprana impacta directamente en el confort, la habitabilidad y la coherencia del conjunto.

La revisión según la CVS confirmó varios aciertos, pero también reveló oportunidades que habrían sido más simples de abordar si los criterios se hubieran incorporado desde las primeras etapas. Ese ejercicio resultó especialmente revelador: la certificación no funciona como un listado para verificar al final, sino como una herramienta que ordena, justifica y profundiza decisiones a lo largo del proceso. Esta comprensión no surgió desde la teoría, sino desde el trabajo real, donde fue necesario ajustar, revisar y reordenar decisiones bajo plazos y exigencias concretas.

Este aprendizaje reforzó la importancia de anticipar el diálogo entre clima, topografía, estrategias pasivas, programa y estructura. En la práctica fue evidente que las decisiones tomadas de manera aislada generan tensiones más adelante, mientras que un diseño integrado permite que todo encuentre un sentido común desde el inicio. Más que un aprendizaje puntual del proyecto, se convirtió en una reflexión que acompañará su ejercicio profesional: proyectar de manera integrada no solo mejora un caso particular, sino que define una forma más responsable, eficiente y consciente de enfrentar cualquier proyecto, especialmente en vivienda social.

También quedó claro que esta metodología no se limita a este conjunto habitacional. Se transforma en una guía para futuros procesos de diseño: observar el territorio, considerar el clima, incorporar estrategias pasivas cuando corresponde y asegurar que las decisiones dialoguen entre sí desde el primer día. Integrar criterios sustentables desde el inicio no solo facilita una eventual certificación, sino que da sentido al proyecto completo y mejora la calidad de vida de quienes lo habitarán.

**CONOCIMIENTO
ACADÉMICO
PREVIO****DISEÑO**

Formación en diseño y en la lectura clara de planos.

Manejo de programas y herramientas digitales para el desarrollo de proyectos.

SUSTENTABILIDAD

Conocimientos firmes en clima, confort y estrategias pasivas, que siempre me han permitido entender cómo mejorar el desempeño ambiental de un proyecto.

Familiaridad con la CVS y su lógica de evaluación del entorno, energía y bienestar.

NORMATIVA

Manejo consistente de normativa y regulaciones vinculadas a vivienda social y sustentabilidad.

Conocimiento general del funcionamiento de la CVS y de sus categorías.

EJERCICIO DE LA PROFESIÓN

Competencias desarrolladas en talleres: análisis crítico del espacio, trabajo colaborativo y representación de propuestas.

DESAFÍOS ENFRENTADOS EN LA PRÁCTICA

Aplicar criterios de diseño a escala urbana considerando restricciones reales del proyecto.

Interpretar con mayor profundidad variables del sitio (pendiente, asoleamiento, vientos).

Traducir criterios climáticos y topográficos en decisiones espaciales concretas del conjunto.

Incorporar sustentabilidad de manera transversal, desde el plan maestro hasta la escala del edificio.

Ajustar decisiones proyectuales a los límites y oportunidades que establece la normativa

Leer la CVS desde una dimensión más técnica, entendiendo qué exigencias influyen realmente en el diseño

Coordinar criterios con equipos diversos y tomar decisiones en contextos reales y cambiantes.

APRENDIZAJES ADQUIRIDOS

Integrar de forma más consciente el vínculo entre diseño, clima y territorio en cada decisión.

Analizar el sitio con una mirada más técnica, combinando factores ambientales y urbanos simultáneamente.

Reconocer cómo decisiones tempranas modifican el comportamiento térmico del proyecto.

Desarrollar un criterio más afinado para detectar oportunidades pasivas y anticipar limitaciones climáticas.

Comprender que integrar normativa y CVS desde el inicio no limita el diseño, sino que lo ordena y le da coherencia.

Usar la CVS como herramienta para fortalecer los atributos urbanos y ambientales del proyecto.

Fortalecer mi criterio profesional para justificar decisiones y avanzar en proyectos complejos.

TEMA II

PROBLEMÁTICAS TÉRMICAS DE LA CONSTRUCCIÓN MODULAR EN ACERO Y SU MITIGACIÓN CON ESTRATEGIAS PASIVAS

3.2.1 INTRODUCCIÓN

El desempeño térmico de una vivienda industrializada no depende únicamente de los materiales utilizados, sino de la manera en que cada componente del sistema constructivo responde frente a las condiciones climáticas locales. En el caso del proyecto ancla de Ovalle, donde el sistema modular en acero constituye la base de la edificación, esta relación entre clima, materialidad y diseño adquiere una relevancia especial debido a la alta radiación solar, los cambios térmicos diarios y la baja inercia propia del acero. Frente a este escenario, el Tema II profundiza en las problemáticas térmicas asociadas al sistema industrializado en acero y en cómo estas pueden ser mitigadas mediante estrategias pasivas aplicadas directamente en el proyecto.

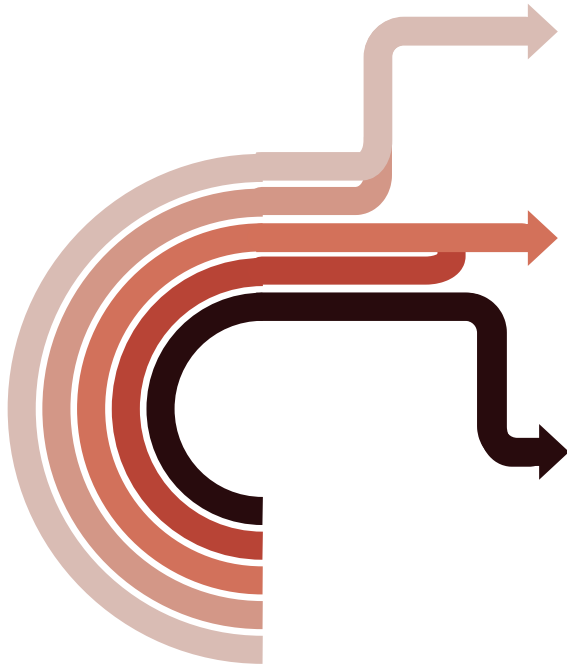
Mientras el Tema I abordó el rol de la escala urbana y del conjunto, este capítulo desciende a la escala del edificio, poniendo el foco en la envolvente como responsable del desempeño ambiental interior, para identificar las limitaciones inherentes del sistema modular. La baja inercia térmica, la rápida transmisión del calor y la presencia de puentes térmicos son factores que condicionan el confort interior y pueden aumentar la dependencia de climatización activa, afectando tanto el desempeño energético como la calidad de vida de los habitantes. Comprender estos fenómenos es esencial para evaluar el potencial real del sistema industrializado cuando se aplica

en contextos climáticos exigentes como Ovalle. El análisis se estructura en tres etapas articuladas entre sí. Primero, se revisan los principios térmicos que afectan al acero, inercia, admitancia, puentes térmicos, y se explican sus implicancias en el comportamiento dinámico de la envolvente. Luego, se comparan dos sistemas constructivos mediante casos de estudio: un muro masivo con aislación exterior y un muro liviano industrializado. Esta comparación incorpora cálculos de admitancia térmica siguiendo la metodología de la NCh 853:2021, lo que permite visualizar con claridad la diferencia en estabilidad térmica entre sistemas húmedos y livianos.

Finalmente, se analiza cómo el proyecto ancla incorpora estrategias pasivas, aleros, celosías, jardineras y fachada ventilada, para compensar las debilidades del acero y mejorar la respuesta de la envolvente. Estas estrategias se complementan con simulaciones lumínico-térmicas, que permiten observar su efecto real sobre la radiación y el calentamiento superficial.

Este tema busca demostrar que, si bien el acero presenta limitaciones térmicas importantes, su desempeño puede mejorar sustancialmente cuando se integra un diseño pasivo consciente, coherente con el clima local y con los principios de eficiencia energética que orientan la vivienda social contemporánea.

FLUJO DE TRABAJO



01: ANÁLISIS TÉCNICO

Identificar las principales debilidades térmicas del sistema modular.

Puentes térmicos | Baja inercia térmica | Cálculos térmicos

02: EVALUACIÓN PROYECTUAL

Observar cómo el diseño intentó mitigar las problemáticas detectadas.

Aleros en fachada norte | Celosías oriente-poniente | Jardineras

El diseño pasivo complementa la construcción industrializada, compensando las limitaciones térmicas del acero y mejorando el confort habitacional

3.2.2 PROBLEMÁTICA DEL SISTEMA INDUSTRIALIZADO EN ACERO

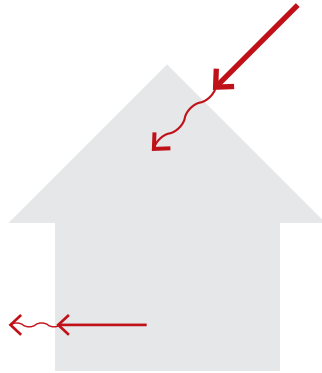
INERCIA TÉRMICA

En los sistemas industrializados en acero, la inercia térmica es un factor determinante para entender su comportamiento frente a las variaciones de temperatura del clima de Ovalle. A diferencia de los muros masivos, cuya mayor densidad y calor específico permiten almacenar parte de la energía recibida y liberarla lentamente, los elementos livianos presentan una masa mínima que no contribuye de forma efectiva al amortiguamiento térmico. Esta falta de capacidad para regular los flujos energéticos provoca que el muro liviano reaccione casi instantáneamente a los cambios exteriores, generando interiores más sensibles a la radiación solar directa y a los descensos nocturnos.

La admitancia térmica, indicador que evalúa cómo las superficies interiores absorben y liberan calor hacia el recinto, permite comprender esta condición con mayor

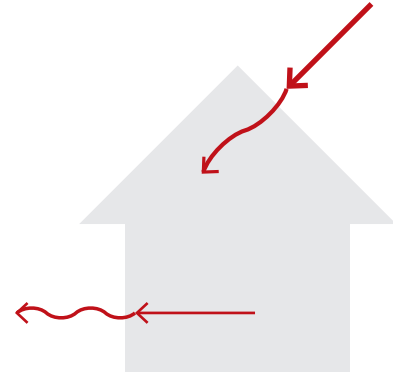
claridad. En el caso del sistema modular en acero, la admitancia elevada y el adelanto térmico reducido revelan una envolvente que no logra desacoplarse del clima exterior. Esta característica genera variaciones interiores más pronunciadas, reduciendo la estabilidad térmica que requieren los espacios habitables.

En un contexto climático con alta radiación y oscilaciones diarias marcadas, como Ovalle, esta reactividad refuerza la necesidad de que el diseño arquitectónico incorpore elementos que compensen la baja capacidad de almacenamiento térmico. Entender la limitada inercia del sistema modular no solo permite prever momentos críticos de sobrecalentamiento, sino también justificar la implementación de estrategias pasivas complementarias que mejoren la habitabilidad y reduzcan la dependencia de sistemas activos.



HORMIGÓN

- Material de Alta Inercia.
- Gran masa térmica.
- Absorbe calor diurno.
- Libera lentamente en la noche.



ACERO

- Material de Baja Inercia.
- Masa térmica mínima.
- Transmite de inmediato el calor o el frío.
- No regula el ambiente interior

Figura 39: Comparación del comportamiento térmico entre materiales de alta y baja inercia (hormigón y acero).

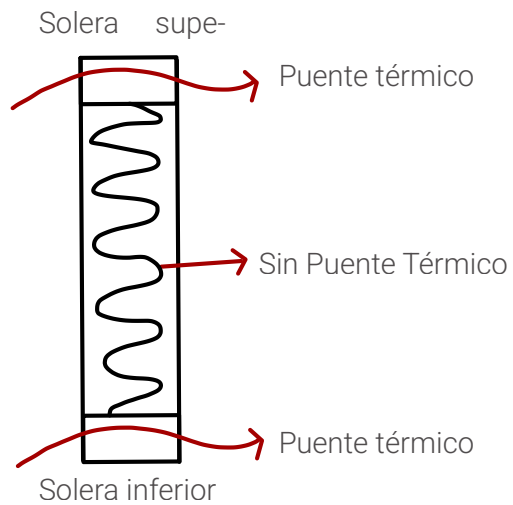
PUENTES TÉRMICOS

Los puentes térmicos representan una de las debilidades más relevantes del sistema modular en acero debido a su influencia directa en la continuidad del aislamiento y en la transferencia de calor a través de la envolvente. Estos puntos se originan cada vez que un elemento estructural de alta conductividad, como un perfil metálico, interrumpe el recorrido térmico del aislante. En el sistema industrializado utilizado en el proyecto ancla, estas interrupciones aparecen en múltiples zonas: uniones entre paneles, juntas módulo–módulo, encuentros de piso y cubierta, y bordes de vanos. Cada uno de estos puntos establece un camino preferente para el flujo de calor que afecta el desempeño global del muro.

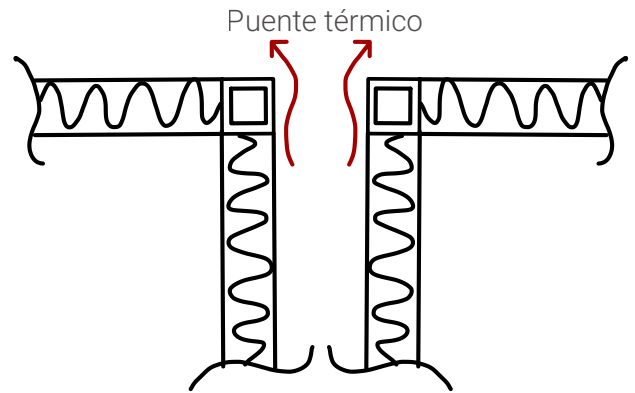
Durante el verano, estas zonas conducen con mayor facilidad el calor hacia el interior, intensificando el calentamiento superficial de muros y cielos. En invierno, ocurre el fenómeno inverso: el calor acumulado en el interior se pierde

rápidamente a través de estos puntos fríos, reduciendo la eficiencia global del aislamiento. Además, la disminución local de temperatura asociada a los puentes térmicos aumenta el riesgo de condensación superficial o intersticial, lo que puede comprometer la durabilidad de los materiales y el confort higrotérmico de los recintos.

La presencia de estos puntos críticos no solo amplifica los efectos de la baja inercia térmica, sino que también evidencia la importancia de una lectura integral del sistema constructivo. Identificarlos permite dimensionar con mayor precisión las zonas de vulnerabilidad y orientar la incorporación de estrategias pasivas que disminuyan la ganancia térmica directa, controlen la incidencia solar y contribuyan a mejorar la estabilidad térmica interior del conjunto habitacional.



PANEL



JUNTA PANELES

Figura 40: Esquema del comportamiento térmico en paneles y juntas entre paneles, evidenciando la presencia de puentes térmicos en encuentros estructurales.

3.2.2.1 CONCLUSIÓN

La identificación de la baja inercia térmica y de los puentes térmicos presentes en el sistema modular permite comprender con claridad el carácter altamente reactivo del acero frente a las variaciones climáticas de Ovalle. Estos dos factores, la mínima capacidad de almacenamiento térmico y la presencia de elementos lineales de alta conductividad, generan una envolvente que responde casi de inmediato a los cambios de temperatura exterior, provocando oscilaciones interiores más bruscas y una mayor dependencia de estrategias pasivas para estabilizar el ambiente.

Sin embargo, para dimensionar la magnitud real de estas problemáticas no basta con describirlas de manera conceptual. La inercia y los puentes

térmicos son fenómenos dinámicos que solo se revelan plenamente al analizar cómo evoluciona el flujo de calor en el tiempo. Por ello, se incorporan dos casos de estudio comparativos que contrastan el muro liviano de acero con un muro masivo de referencia. A través de parámetros como admitancia térmica, desfase horario y respuesta diaria es posible observar diferencias significativas en la capacidad de cada sistema para atenuar las variaciones exteriores.

Esta comparación no solo evidencia las limitaciones propias del sistema industrializado, sino que también fundamenta la necesidad de integrar estrategias pasivas específicas en el proyecto ancla para mejorar su estabilidad térmica y confort interior.

3.3.3 CASOS DE ESTUDIO

Para evaluar con mayor profundidad el impacto real de la baja inercia térmica y los puentes térmicos en el sistema modular en acero, se desarrolló un análisis comparativo con un muro masivo de referencia. Esta metodología permite contrastar comportamientos extremos: un sistema con alta capacidad de amortiguación térmica frente a uno caracterizado por su masa mínima y su estructura fragmentada. Más que buscar un sistema superior, el objetivo es comprender cómo la materialidad define la estabilidad térmica interior y condiciona la necesidad de estrategias complementarias.

El muro masivo de hormigón armado con aislación exterior mantiene la masa activa hacia el interior, permitiendo que absorba parte del calor durante el día y lo libere lentamente cuando la temperatura desciende. Esta configuración favorece interiores

más estables, reduciendo la magnitud de las oscilaciones térmicas diarias. En contraste, el muro liviano del sistema modular, compuesto por perfiles metálicos y capas delgadas de revestimiento, presenta una respuesta térmica inmediata, con poca capacidad para amortiguar la transferencia de calor.

Al aplicar la metodología de admitancia térmica, se evidencia con claridad cómo varía la magnitud del flujo térmico, el desfase horario entre exterior e interior y la evolución temporal de la temperatura superficial. En conjunto, estos resultados permiten dimensionar la capacidad real de cada sistema para enfrentar el clima de Ovalle. Este análisis dinámico constituye la base argumental para justificar la incorporación de estrategias pasivas que refuercen el desempeño del sistema modular y mejoren la calidad ambiental interior.

1 MURO MASIVO

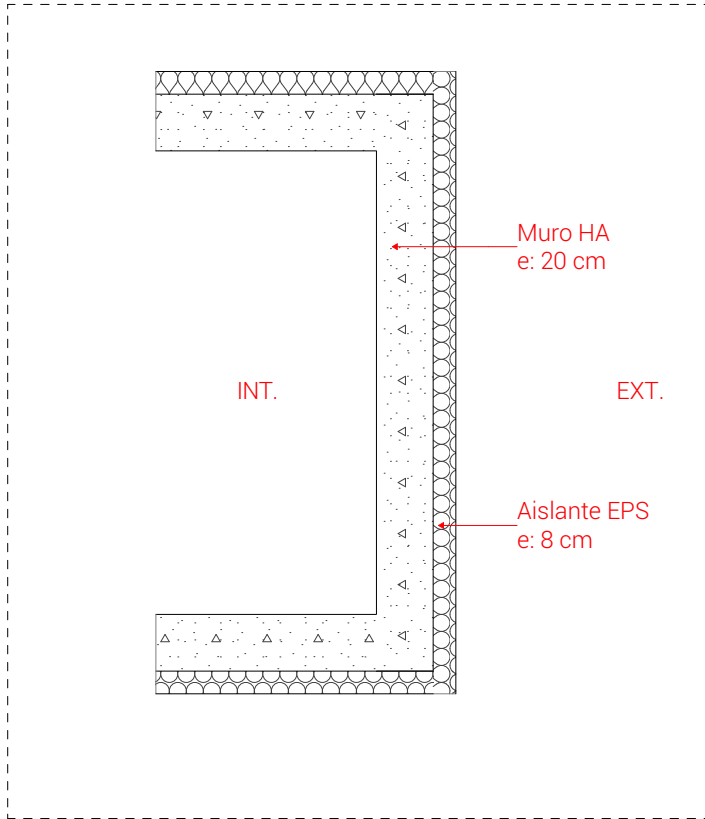


Figura 41: Detalle muro masivo.

El muro masivo corresponde a una estructura de hormigón armado de 20 cm de espesor protegida por una capa continua de poliestireno expandido (EPS) de 8 cm ubicada en la cara exterior. Esta disposición permite que la masa del hormigón quede térmicamente activa hacia el interior, absorbiendo parte de la radiación acumulada durante el día y liberándola lentamente durante la noche. Al ubicarse por fuera, el aislante reduce las pérdidas energéticas y evita el sobrecalentamiento directamente sobre la superficie estructural, mejorando la estabilidad térmica del recinto. En climas con fuertes oscilaciones diarias como Ovalle, este tipo de muro funciona como un moderador natural, ya que amortigua las variaciones exteriores y mantiene condiciones interiores más homogéneas sin requerir climatización activa constante.

2 MURO LIVIANO

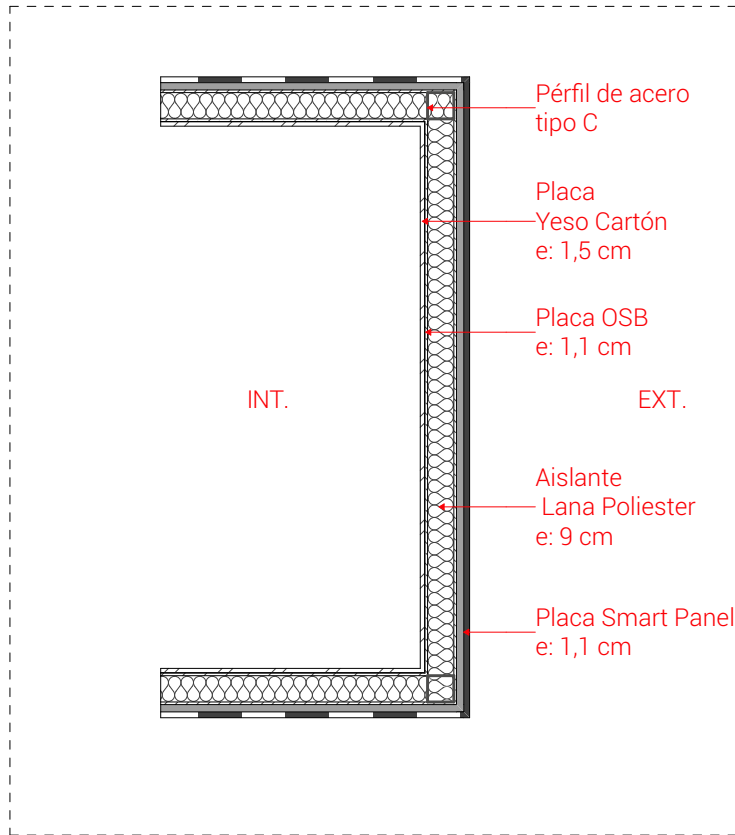


Figura 42: Detalle muro liviano.

El muro liviano en acero utilizado en el sistema modular del proyecto ancla está compuesto por perfiles de acero galvanizado tipo C, aislación intermedia y revestimientos delgados de OSB en el exterior y yeso cartón en el interior. A diferencia del muro masivo, esta tipología presenta una masa térmica mínima y múltiples puntos donde los perfiles interrumpen la continuidad del aislamiento, generando puentes térmicos que facilitan la transferencia de calor. Debido a la baja inercia del panel, la temperatura interior responde casi en simultáneo al clima exterior, calentándose rápidamente con la radiación solar directa y enfriándose con la misma rapidez durante la noche. Esta condición hace que el sistema liviano sea más dependiente del control solar y que requiera estrategias pasivas complementarias para mejorar la estabilidad térmica y el confort interior.

3.2.3.1 ADMITANCIA TÉRMICA

La admitancia térmica permite entender cómo un muro “respira” a lo largo del día: cuánto calor es capaz de absorber cuando la temperatura exterior aumenta y cuánta energía libera cuando bajan las temperaturas. Es un indicador dinámico que muestra el comportamiento real de los materiales frente a ciclos térmicos diarios, especialmente en climas como el de Ovalle, donde la diferencia entre el día y la noche puede ser abrupta (MINVU, 2020).

Para analizar este proceso en los dos sistemas constructivos del estudio, se aplicó la metodología establecida en la NCh 853:2021, que modela la respuesta térmica de cada muro a partir de las propiedades reales de sus capas; conductividad, densidad y calor específico. Este procedimiento permite simular cómo se comporta la envolvente ante un ciclo continuo de 24 horas. A partir de esta modelación se generan tres curvas principales: la variación de la temperatura interior del recinto, el flujo térmico en la superficie interna del muro y el flujo térmico en su superficie exterior. Observar estas curvas permite identificar la velocidad con que la energía atraviesa el muro, el grado de amortiguación frente a las oscilaciones térmicas y el desfase entre lo que ocurre afuera y lo que finalmente se siente al interior del espacio habitable.

Esta aproximación dinámica permite comprender con mayor precisión el desempeño térmico de cada sistema constructivo y evaluar cómo enfrentan el mismo ciclo climático, considerando tanto la magnitud del flujo térmico como su evolución temporal y su influencia en el confort interior.

ROL EN EL DISEÑO PASIVO

La admitancia permite comprender cómo el muro responde a las variaciones térmicas del día, revelando la estabilidad interior del sistema constructivo. En soluciones livianas, esta lectura es clave para anticipar momentos de sobrecalentamiento y justificar la incorporación de estrategias pasivas que reduzcan la ganancia térmica y mejoren el confort cotidiano.



CÁLCULOS ADMITANCIA TÉRMICA

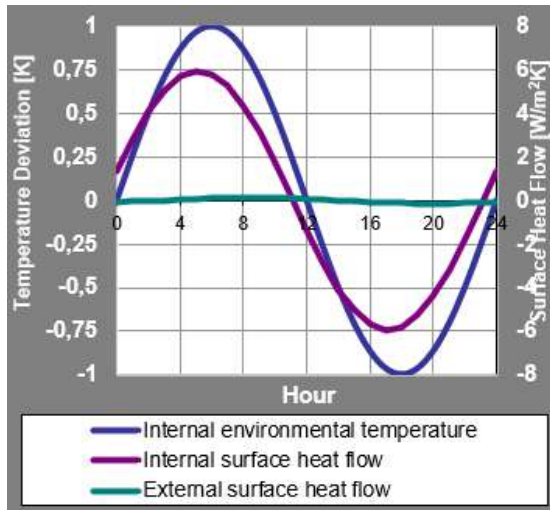


Figura 43: Gráfico de admitancia térmica del muro masivo. Simulación en Excel Dynamic Thermal Properties Calculator.

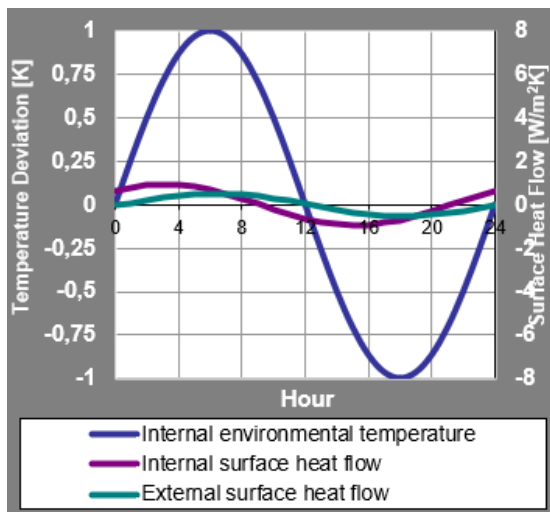


Figura 44: Gráfico de admitancia térmica del muro liviano en acero. Simulación generada en Excel Dynamic Thermal Properties Calculator.

MURO MASIVO

La Figura 43 evidencia un comportamiento térmico estable y amortiguado, propio de un sistema masivo con aislación exterior. La curva de temperatura interior muestra oscilaciones reducidas y un desfase cercano a seis horas, reflejando la alta inercia térmica del muro y su capacidad para absorber y liberar calor de manera gradual durante el ciclo diario. Con una admitancia de $5,51 \text{ W/m}^2\text{K}$, el sistema mantiene condiciones interiores más estables frente a las variaciones exteriores. El flujo térmico en ambas caras presenta amplitudes pequeñas y controladas, lo que confirma la capacidad de amortiguación del muro y su rol en reducir la demanda energética y mejorar el confort interior.

MURO LIVIANO

La Figura 44 muestra un comportamiento térmico altamente reactivo frente a las variaciones climáticas diarias. La curva interior sigue de manera cercana el patrón exterior, evidenciando la baja inercia térmica del sistema modular. Con una admitancia de $0,94 \text{ W/m}^2\text{K}$, el calor atraviesa rápidamente el panel, provocando incrementos bruscos de temperatura al interior del recinto. El flujo térmico en las superficies interna y externa presenta variaciones pronunciadas, lo que confirma la limitada capacidad de amortiguación del muro. Este comportamiento refuerza la necesidad de incorporar estrategias pasivas, como control solar y ventilación, para mejorar la estabilidad térmica interior.

CASO	ADMITANCIA TÉRMICA (W/m ² K)	ADELANTO TÉRMICO (h)
MURO LIVIANO EN ACERO	0,94	0,34
MURO MASIVO EN HA + EPS	5,51	2,37

Tabla 3: Resultados comparativos de admitancia térmica entre el muro liviano en acero y el muro masivo

Los resultados confirman que el muro liviano de acero tiene una respuesta muy rápida frente a los cambios de temperatura exterior. Su baja inercia térmica hace que el calor se transmita con facilidad, provocando interiores que se calientan o enfrían casi al mismo ritmo que el ambiente. Esta condición genera un comportamiento inestable, con mayores oscilaciones térmicas y dependencia de estrategias complementarias como el sombreadamiento o la ventilación natural para mantener el confort.

Por el contrario, el muro de hormigón con aislante exterior evidencia una respuesta más lenta y controlada ante las variaciones del clima. La masa del hormigón, protegida por el EPS, actúa como un moderador térmico: absorbe parte del calor durante el día y lo libera de forma gradual cuando la temperatura baja, lo que permite conservar condiciones interiores más estables. En términos de desempeño, esto se traduce en una envolvente capaz de reducir las pérdidas energéticas, retrasar el ingreso del calor y mejorar el confort interior sin depender de sistemas activos.

3.2.4 ESTRATEGIAS PASIVAS

El análisis de admitancia térmica permitió observar no solo cómo se mueve el calor a través de los muros, sino también cuán estable o reactivo puede volverse el interior frente a las variaciones del clima. En el sistema modular en acero, esta lectura reveló una respuesta rápida al estímulo exterior y una menor capacidad de amortiguación, evidenciando que la estabilidad térmica del recinto depende fuertemente de la gestión de la radiación y del control de las ganancias solares.

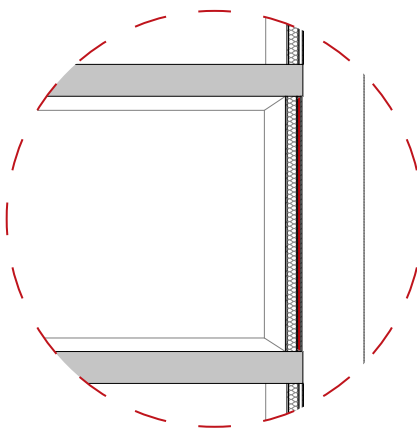
A partir de esta comprensión dinámica surge la necesidad de incorporar estrategias pasivas, entendidas como medidas de diseño que permiten regular la radiación solar, la temperatura y el movimiento del aire sin recurrir a sistemas mecánicos (MINVU, 2020; CES, 2019). Estas soluciones no buscan reemplazar la envolvente, sino reforzar su desempeño ante condiciones climáticas que cambian a lo largo del día, como ocurre en Ovalle.

Elementos como aleros, celosías, fachadas ventiladas, vegetación cercana o ventilaciones cruzadas actúan como capas adicionales de regulación, reduciendo las ganancias térmicas, suavizando las oscilaciones y favoreciendo un confort más estable. En esta sección se presentan las estrategias incorporadas en el proyecto conjunto habitacional en Ovalle y su relación directa con el comportamiento térmico

ROL EN EL DISEÑO PASIVO

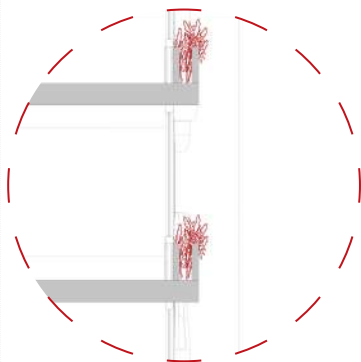
Las estrategias pasivas permiten moderar las ganancias térmicas, mejorar la estabilidad interior y compensar la baja inercia propia del sistema modular. Su incorporación temprana en el diseño no solo reduce la demanda energética, sino que también mejora el confort ambiental, especialmente en climas donde las variaciones diarias de temperatura son





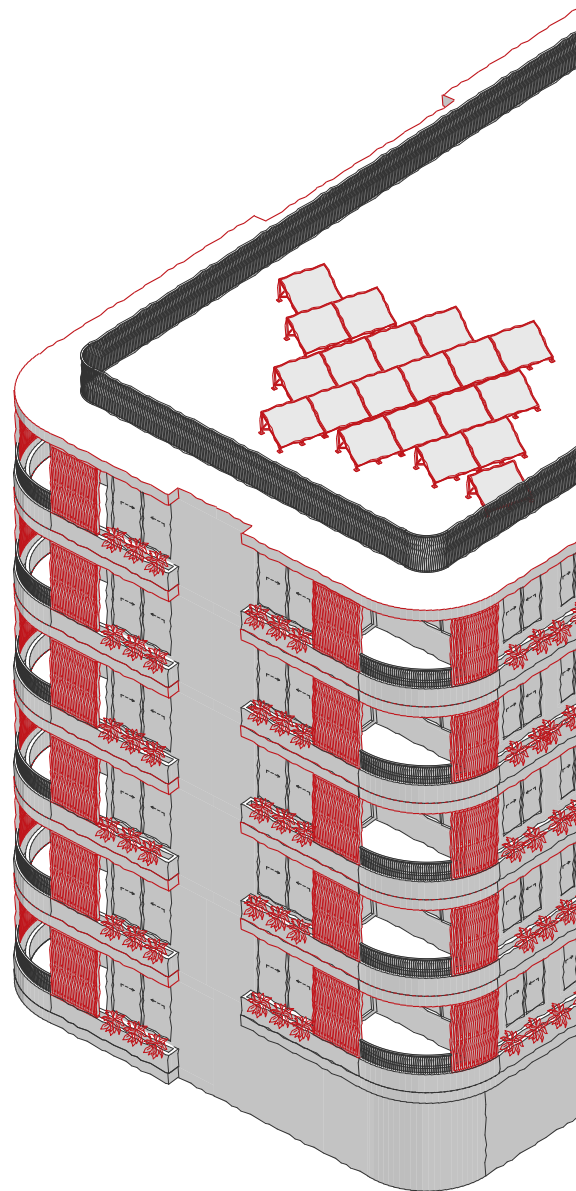
MURO VENTILADO

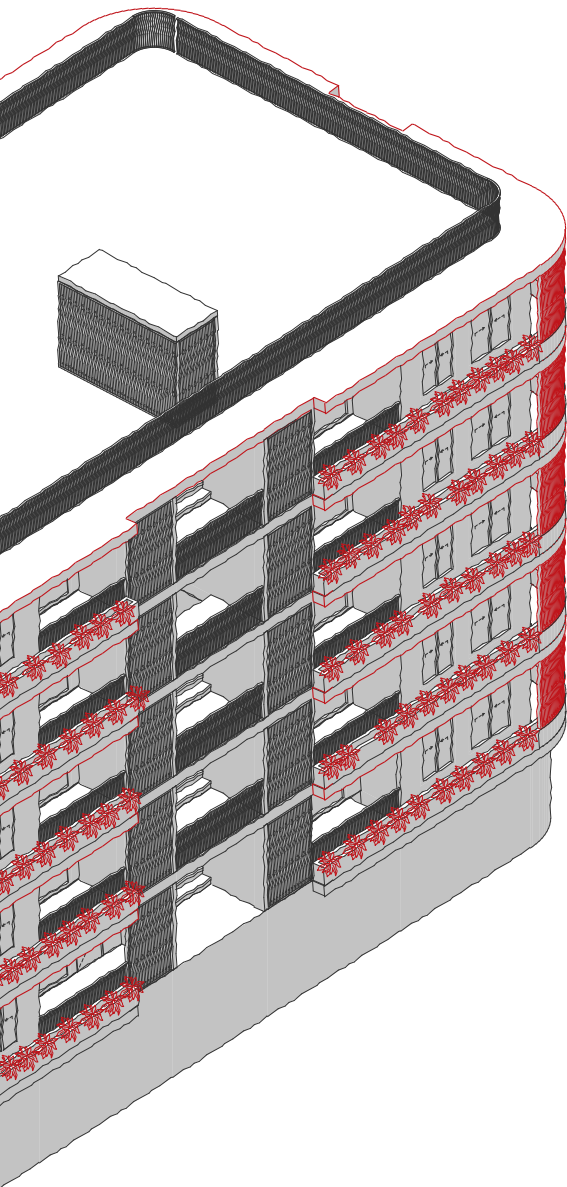
La fachada ventilada permite que el aire circule entre el revestimiento exterior y el muro, ayudando a disipar el calor acumulado y a mantener una temperatura más estable en el interior de la vivienda.



JARDINERA

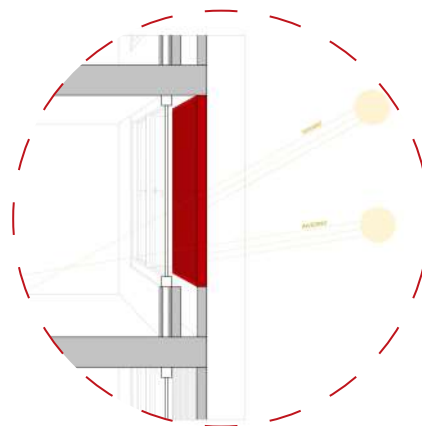
Las jardineras ubicadas bajo las ventanas ayudan a mejorar el microclima cercano a la fachada, ya que la vegetación disminuye la temperatura del aire circundante, generando un entorno más estable alrededor de la vivienda.





CELOSÍA MÓVIL

En las fachadas oriente y poniente, las celosías filtran la radiación baja del sol, reduciendo deslumbramiento y acumulación temprana de calor. Además, permiten ventilación natural y privacidad, mejorando el confort térmico y lumínico interior.



ALERO

Estos fueron diseñados de acuerdo con la trayectoria solar local. Durante el verano bloquean el sol en las horas más críticas, mientras que en invierno permiten su ingreso, aportando calor pasivo en momentos de bajas temperaturas.

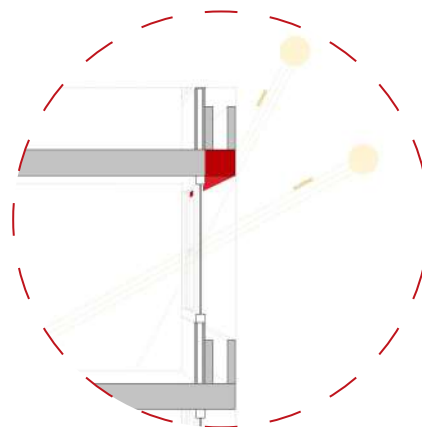


Figura 45: Esquema de las estrategias pasivas aplicadas en el proyecto ancla.

3.2.4.1 ALERO

El alero norte se incorpora como una estrategia pasiva destinada a moderar la incidencia solar directa sobre la vivienda. Para evaluar su efecto, se realizó una simulación en una planta tipo de $3,30 \times 10,90$ m, utilizando una ventana tipo y aplicando el modelo de luz diurna dinámica del software Andrew Marsh, que permite analizar la distribución de radiación solar en función de la posición solar y de la geometría proyectada. Este método facilita comparar de manera controlada las condiciones sin alero y con alero, observando cómo la sombra exterior altera el patrón de exposición interior (ver Figuras 46 y 47).

En la condición sin alero, la radiación alta del norte penetra con mayor profundidad en el recinto, alcanzando un DF máximo de 6,89 % (Figura 46). Al incorporar el alero, esta área de incidencia se reduce de forma clara y el DF máximo desciende a 4,60 % (Figura 47), equivalente a una disminución cercana al 33 %. Esta reducción evidencia un cambio en la forma en que el módulo enfrenta el ciclo térmico diario: al disminuir la radiación directa, se atenúa el sobrecalentamiento.

El alero funciona como un regulador que bloquea el exceso solar en verano y permite el ingreso en invierno. En un sistema modular en acero, donde la baja inercia térmica genera respuestas rápidas frente al clima, esta moderación contribuye a transiciones térmicas más suaves y un confort más estable.

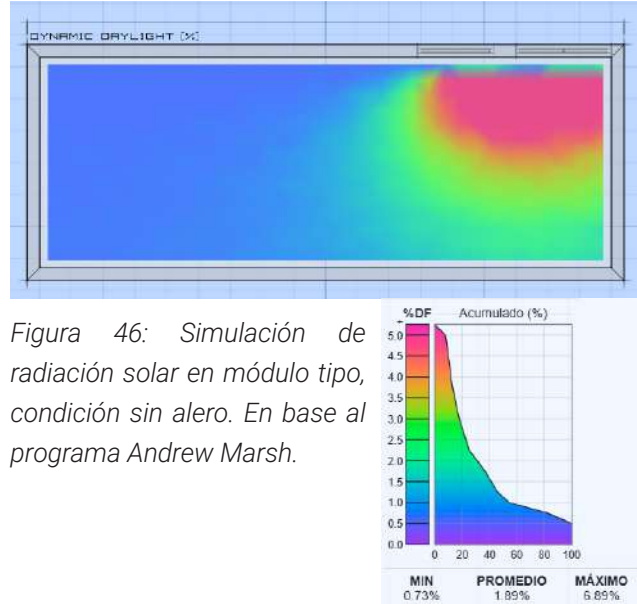


Figura 46: Simulación de radiación solar en módulo tipo, condición sin alero. En base al programa Andrew Marsh.

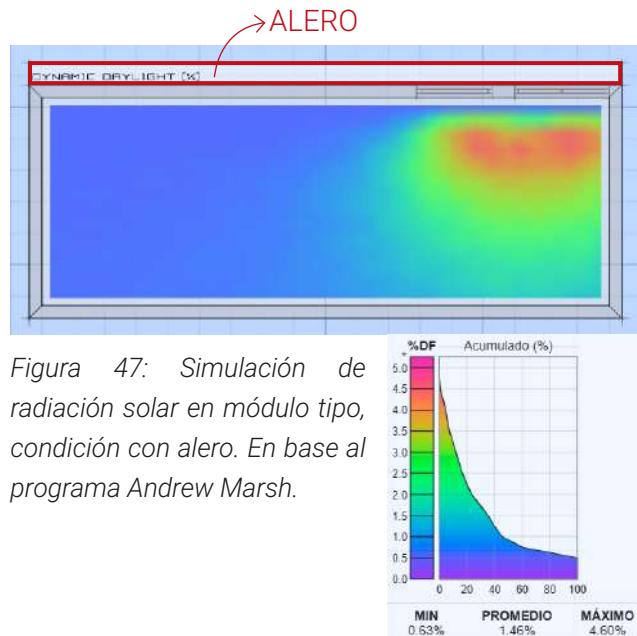


Figura 47: Simulación de radiación solar en módulo tipo, condición con alero. En base al programa Andrew Marsh.

3.2.4.2 CELOSÍA MÓVIL

La celosía móvil se incorpora como una estrategia pasiva destinada a regular la radiación de baja altura en las orientaciones oriente y poniente, donde el sol ingresa de forma directa y tiende a generar deslumbramiento y ganancia térmica. Para evaluar su efecto en el módulo habitacional, se simuló una planta tipo de 3,30 × 10,90 m con una ventana tipo. El análisis se realizó en base al modelo de luz diurna del programa Andrew Marsh, comparando las condiciones sin celosía y con celosía bajo la misma posición solar, lo que permite observar de manera precisa cómo varía la distribución de radiación al interior del recinto (ver Figuras 48 y 49).

En la condición sin celosía, la radiación penetra con intensidad en la zona, generando un DF máximo de 30,96 % (Figura 48). Al incorporar la celosía, este valor disminuye a 23,70 % (Figura 49), equivalente a una reducción aproximada del 23 %. Esta diferencia evidencia la capacidad del dispositivo para filtrar la radiación.

En un sistema liviano como el modular en acero, esta disminución de radiación directa contribuye a evitar incrementos térmicos bruscos y a suavizar la respuesta del recinto frente al clima. La celosía actúa como un filtro adaptable que modula la luz, estabiliza la temperatura interior y favorece un mayor confort sin recurrir a sistemas activos.

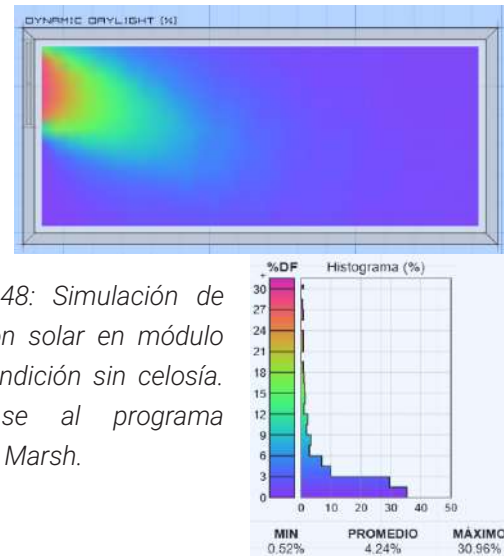


Figura 48: Simulación de radiación solar en módulo tipo, condición sin celosía. En base al programa Andrew Marsh.

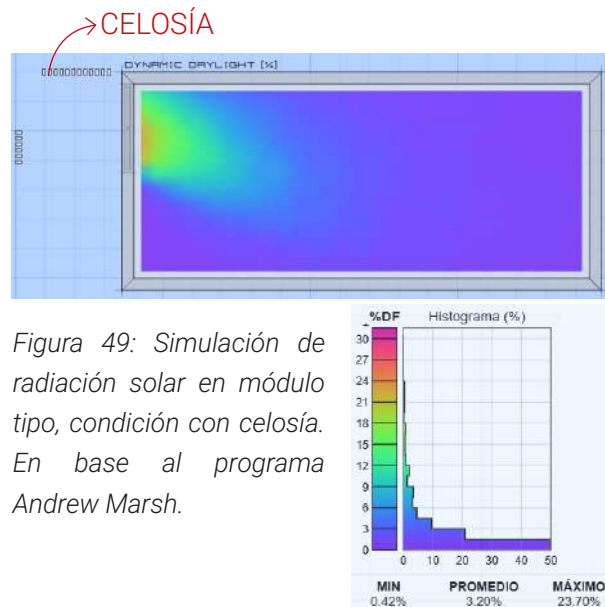


Figura 49: Simulación de radiación solar en módulo tipo, condición con celosía. En base al programa Andrew Marsh.

3.2.4.3 JARDINERAS

Las jardineras ubicadas bajo las ventanas operan como una estrategia pasiva que interviene directamente en el microclima inmediato de las viviendas. La presencia de vegetación disminuye la temperatura del aire (ver Figura 50) y reduce la radiación reflejada hacia el vano, condición especialmente relevante en sistemas industrializados en acero, donde la alta conductividad y la baja inercia térmica intensifican las variaciones superficiales. Estudios muestran que la vegetación urbana puede modificar de manera significativa la distribución térmica local y mejorar la confortabilidad microclimática en entornos residenciales (Pérez Jara & de la Barrera, 2021).

En este contexto, la jardinera aporta una capa de regulación natural que atenúa la ganancia térmica del muro y genera una franja de aire más templado en torno a la ventana. Este pequeño colchón vegetal suaviza la interacción entre el exterior y el interior, disminuyendo la rapidez con que el calor se transfiere hacia el interior y favoreciendo una experiencia térmica más estable durante las horas de mayor radiación.

Integrada al sistema modular en acero, la jardinera contribuye a mejorar la habitabilidad cotidiana, aportando beneficios térmicos y ambientales que suavizan la relación entre el espacio interior y el microclima inmediato.

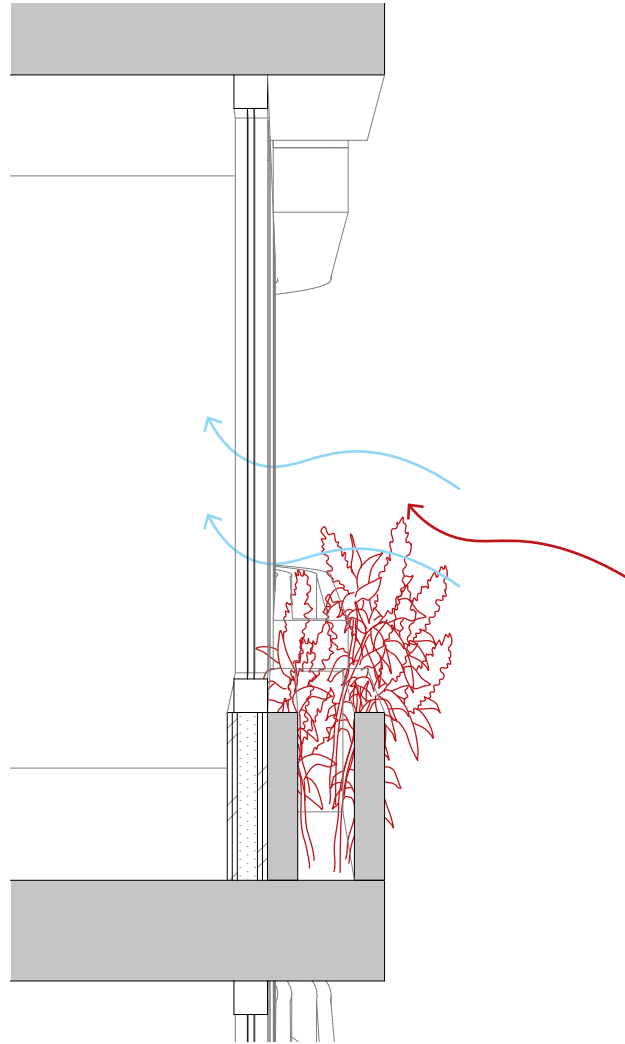


Figura 50: Detalle de la jardinera bajo ventana y su efecto microclimático inmediato.

3.2.4.4 FACHADA VENTILADA

La fachada ventilada constituye una estrategia pasiva que mejora el desempeño térmico de la envolvente al incorporar una cámara de aire entre el muro estructural y el revestimiento exterior. Esta capa intermedia permite que el aire ascienda por convección, evacuando el calor acumulado por radiación solar y reduciendo la temperatura superficial del muro. De esta manera, disminuye el flujo térmico hacia el interior y se estabiliza la temperatura del recinto, evitando sobrecalentamientos en los periodos de mayor radiación. Según el Manual de Estrategias Pasivas para Vivienda Social del MINVU (2020), la ventilación natural en la envolvente ayuda a reducir la ganancia térmica en muros expuestos al sol, especialmente en climas secos y de alta radiación como el de Ovalle.

En sistemas industrializados en acero, donde la conductividad del material acelera la transmisión de calor, la fachada ventilada adquiere especial relevancia. Como se muestra en la Figura 51 el flujo de aire dentro de la cámara actúa como una barrera dinámica que disipa parte de la energía antes de que alcance el panel interior, reduciendo la reactividad del sistema frente a las variaciones del clima.

Al incorporarse a la lógica modular, la fachada ventilada suma un espesor técnico que mejora la respuesta del conjunto sin alterar su sistema constructivo, aportando una capa continua que favorece un funcionamiento térmico más equilibrado.

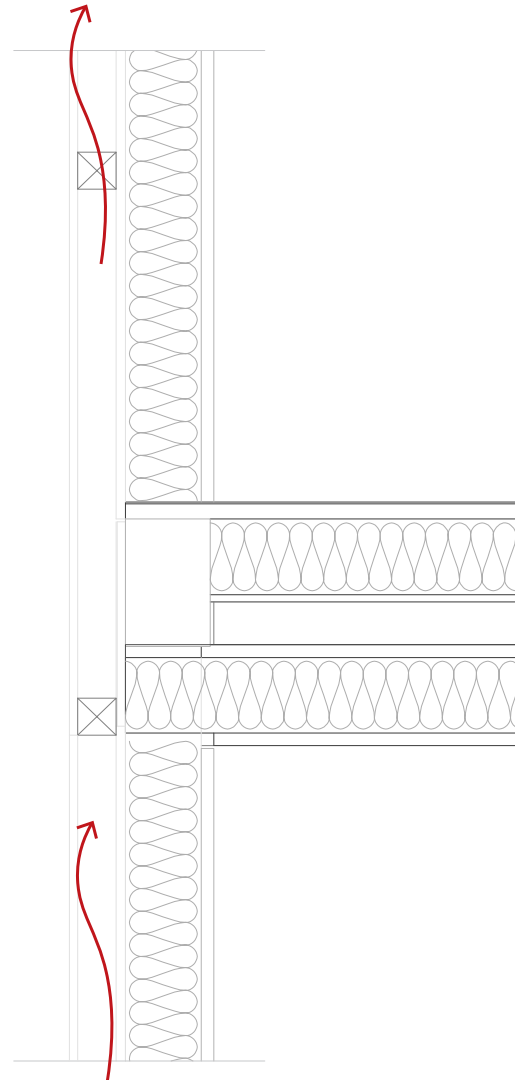
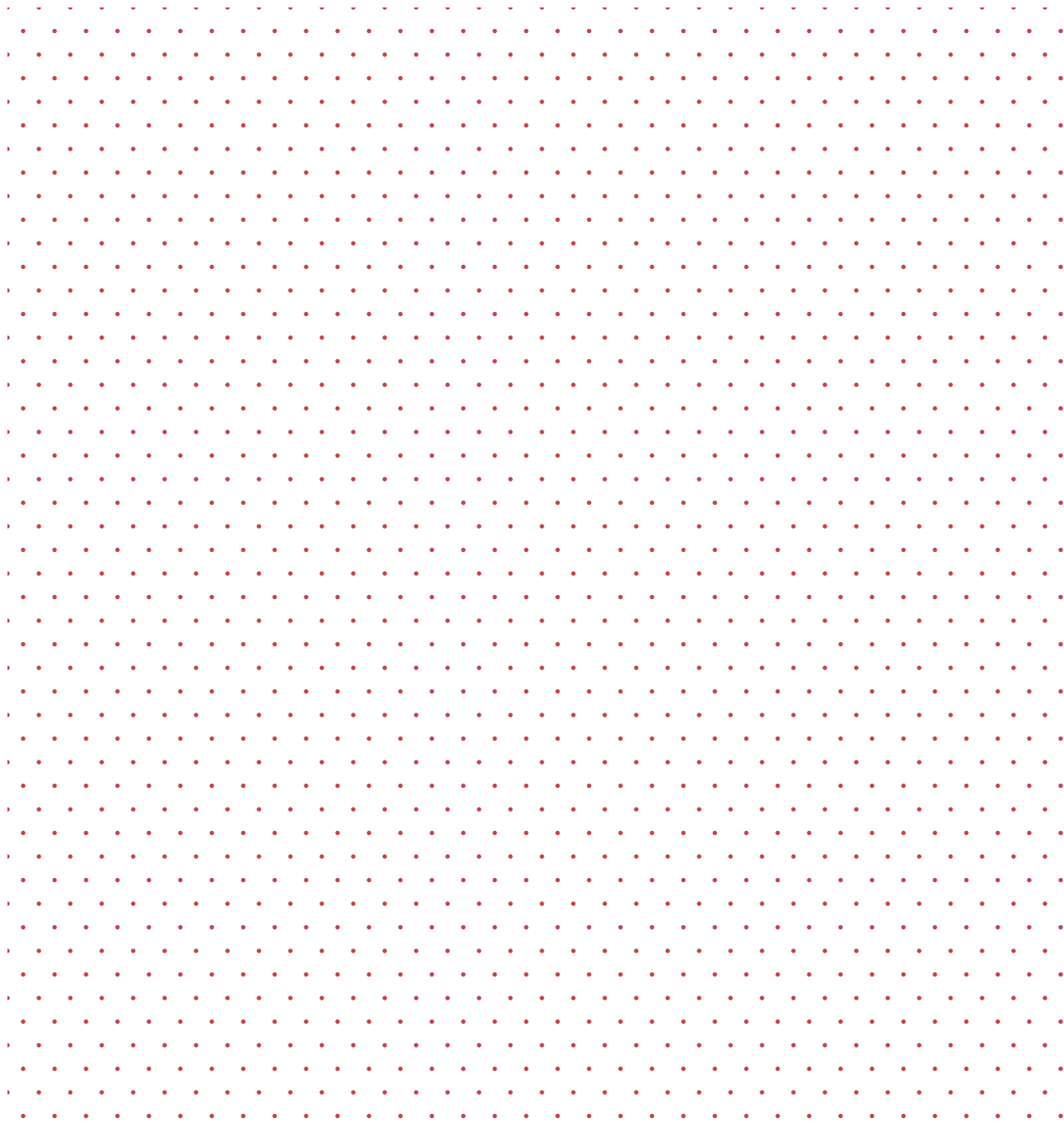


Figura 51: Detalle de fachada ventilada y funcionamiento de la cámara de aire.



3.2.5 REFLEXIÓN

Este análisis permitió cuestionar una idea muy instalada en la arquitectura: que un buen desempeño térmico solo se logra con sistemas masivos. Estudiar el comportamiento del sistema modular en acero frente al clima de Ovalle permitió entender que la eficiencia no depende únicamente del material, sino del equilibrio entre materialidad, clima y decisiones de diseño. El hormigón tiene una estabilidad conocida, pero no es la única forma de alcanzar confort. Observar el desempeño real del acero ayudó a comprender que la arquitectura no se define por el peso del muro, sino por la manera en que cada sistema se adapta y responde al contexto.

En este proyecto fue posible identificar con claridad los desafíos del sistema modular, como su baja inercia y los puentes térmicos, pero también sus fortalezas: precisión, rapidez, control en planta y una reducción significativa de residuos. Lo más relevante fue comprender que estas ventajas se mantienen cuando se incorporan estrategias pasivas, y que ambas se complementan para mejorar el desempeño térmico del sistema.

Aleros, celosías, vegetación cercana y fachada ventilada dejaron de ser ideas generales para transformarse en resultados concretos. Las simulaciones mostraron cómo el alero y la celosía reducen la radiación directa, cómo la jardinera estabiliza el entorno del vano y cómo la fachada ventilada disminuye parte de la carga térmica. Ver estos efectos representados en datos y gráficos permitió entender que la ligereza del acero no es un problema en sí mismo, sino un sistema que requiere decisiones de diseño más cuidadosas.

Al finalizar el proceso, quedó claro algo fundamental: no se trata de escoger entre un sistema modular o uno masivo, sino de reconocer qué necesita cada uno para funcionar bien. En el caso del acero, el diseño pasivo permite alcanzar un desempeño más equilibrado y adecuado al clima del proyecto. Este aprendizaje confirmó que el confort no depende del material por sí solo, sino de cómo es acompañado desde el diseño.

**CONOCIMIENTO
ACADÉMICO
PREVIO****DISEÑO**

Conocimientos de diseño pasivo, control solar y estrategias que permiten regular ganancias térmicas.

Manejo de herramientas digitales para analizar el clima y evaluar el comportamiento de la envolvente.

SUSTENTABILIDAD

Conocimientos sobre el comportamiento térmico de envolventes livianas y sus pérdidas y ganancias de calor.

Conocimientos de eficiencia energética y confort interior aplicados a vivienda social.

NORMATIVA

Conocimientos sobre los requisitos espaciales del DS49 y su impacto en la distribución y dimensiones interiores.

EJERCICIO DE LA PROFESIÓN

Conocimientos desarrollados en talleres: análisis espacial, representación técnica y trabajo colaborativo.

DESAFÍOS ENFRENTADOS EN LA PRÁCTICA

Integrar criterios térmicos, higrotérmicos y herméticos dentro del proceso de diseño sin tratarlos como temas aislados.

Entender cómo decisiones puntuales del diseño pueden alterar el flujo energético dentro del módulo.

Entender cómo la estructura de acero responde frente al clima y afecta la estabilidad interior.

Identificar problemáticas térmicas.

Aplicar las exigencias espaciales del DS49 en un sistema modular, ajustando medidas sin afectar su lógica constructiva.

Revisar distribución y dimensiones interiores para cumplir la normativa manteniendo funcionalidad.

Integrar resultados de simulación en decisiones proyectuales viables.

APRENDIZAJES ADQUIRIDOS

Reconocer que el diseño define gran parte del desempeño térmico, más allá del material aislante.

Evaluar cómo varían temperatura y flujo energético en cada capa del muro para ajustar soluciones más precisas.

Reconocer que estrategias pasivas pueden equilibrar la variabilidad térmica del acero.

Ver el desempeño ambiental como un sistema donde clima, forma y materialidad actúan en conjunto.

Integrar las exigencias espaciales desde el inicio ordena el proceso y evita ajustes posteriores.

Entender cómo los mínimos normativos pueden orientar distribuciones más claras, eficientes y habitables.

Fortalecer el criterio técnico para justificar decisiones y coordinar mejor entre diseño, clima y construcción.

TEMA III

COMPATIBILIDAD ENTRE EL SISTEMA CONSTRUCTIVO INDUSTRIALIZADO EN ACERO Y LA REGLAMENTACIÓN TÉRMICA 2025

3.3.1 INTRODUCCIÓN

La Reglamentación Térmica 2025 (RT-2025) marca un antes y un después en la forma de pensar, proyectar y evaluar la vivienda en Chile. Más que elevar exigencias, introduce una manera distinta de entender la envolvente: ya no como un conjunto de capas aisladas, sino como un sistema continuo que debe controlar el paso del calor, del vapor y del aire para mantener condiciones interiores estables y saludables. Publicada por el Ministerio de Vivienda y Urbanismo (MINVU, 2024), la normativa exige verificar transmitancia térmica, riesgo de condensación superficial e intersticial, infiltraciones de aire y ventilación mínima interior, superando la antigua lógica centrada únicamente en espesores mínimos de aislación.

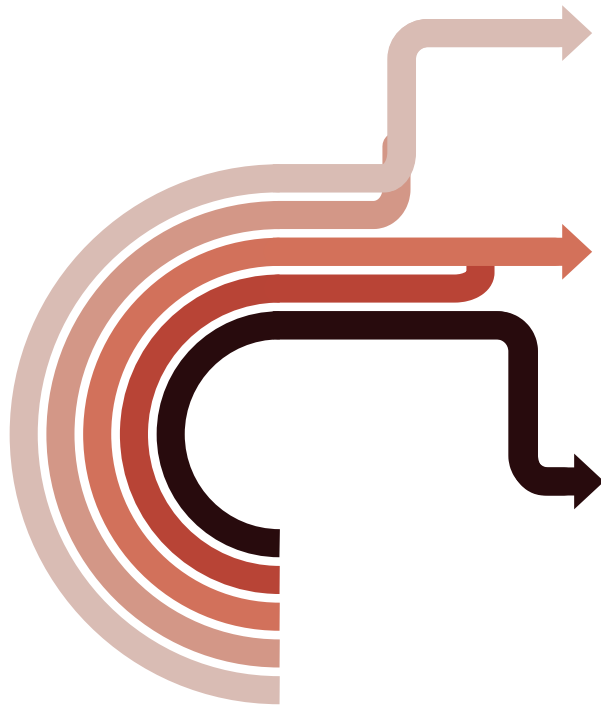
En este nuevo escenario, resulta especialmente relevante analizar el sistema modular industrializado en acero de ATCO Sabinco, utilizado en el proyecto ancla. Su fabricación en planta y posterior montaje en obra permiten una alta precisión y control constructivo, lo que constituye una ventaja frente a sistemas tradicionales. Sin embargo, su comportamiento térmico e higrotérmico presenta desafíos propios de las soluciones livianas: la estructura metálica conduce el calor con rapidez, la masa térmica es reducida y las juntas entre módulos pueden interrumpir la continuidad del plano hermético si

no se resuelven con el nivel de detalle necesario. Estas condiciones hacen indispensable comprender cómo responde el sistema frente a la RT-2025, especialmente en Ovalle, donde la radiación solar y las oscilaciones térmicas diarias influyen directamente en la estabilidad interior.

Este capítulo se organiza en torno a tres dimensiones clave. Primero, se revisa la transmitancia térmica del muro y la techumbre, analizando cómo la combinación entre aislación y perfilaría metálica afecta el valor U y la eficiencia global del conjunto. Luego, se estudia el riesgo de condensación en encuentros constructivos sensibles, como muro–entrepiso y muro–techumbre, donde la continuidad del aislamiento puede verse comprometida. Finalmente, se aborda la hermeticidad, con especial énfasis en la junta módulo–módulo, un punto crítico cuyo comportamiento depende totalmente del sellado aplicado en obra.

Más que determinar si el sistema cumple o no con los valores establecidos por la RT-2025, este análisis busca comprender su comportamiento real, identificar sus vulnerabilidades y reconocer oportunidades de mejora que permitan fortalecer el desempeño térmico e higrotérmico de la envolvente modular.

FLUJO DE TRABAJO



01: REVISIÓN DE RT 2025

Analizar los lineamientos de la Reglamentación Térmica 2025 (MINVU, 2024) aplicables al uso residencial

Transmitancia térmica | Condensación | Infiltración de aire | Ventilación

02: ANÁLISIS DEL SISTEMA CONSTRUCTIVO

Evaluar el comportamiento térmico del sistema ATCO Sabinco a partir de sus componentes y uniones

Puentes térmicos | Hermeticidad

03: COMPARACIÓN CRÍTICA Y REFLEXIÓN PROYECTUAL

Contrastar los resultados obtenidos con los límites normativos de la RT-2025 para la Zona B

Compatibilidad | Oportunidades de mejora

3.3.2 REGLAMENTACIÓN TÉRMICA 2025

La Reglamentación Térmica 2025 (RT-2025) establece un nuevo estándar para evaluar el desempeño térmico e higrotérmico de las viviendas en Chile, incorporando una mirada integral sobre la envolvente. Tal como señala el Ministerio de Vivienda y Urbanismo (MINVU, 2024), la normativa deja atrás el antiguo criterio basado únicamente en espesores mínimos de aislación y propone entender cómo se combinan el flujo de calor, la difusión de vapor y el movimiento del aire dentro de un sistema constructivo. Bajo esta lógica, la eficiencia energética ya no depende de un elemento aislado, sino de la continuidad y coherencia entre todas las capas que componen el cerramiento.

La RT-2025 exige verificar cuatro dimensiones: transmitancia térmica, riesgo de condensación superficial e intersticial, infiltraciones de aire y ventilación mínima interior. Cada una de ellas se evalúa mediante procedimientos definidos en normas técnicas, como la NCh 853 para cálculos térmicos y la NCh 2794 para análisis higrotérmico, que permiten caracterizar el comportamiento real de los elementos de la

envolvente. Con este enfoque, la normativa busca asegurar un funcionamiento estable durante todas las estaciones, evitando pérdidas energéticas innecesarias y condiciones que puedan comprometer la durabilidad de los materiales o el confort interior.

Un componente esencial de la actualización es la nueva zonificación térmica, que organiza el país en nueve zonas más representativas de sus condiciones climáticas. Ovalle se ubica en la Zona B, caracterizada por alta radiación solar y marcadas oscilaciones térmicas entre el día y la noche. Este escenario demanda envolventes capaces de moderar variaciones rápidas de temperatura y reducir pérdidas tanto por conducción como por infiltración. Desde esta perspectiva, la RT-2025 no solo establece requisitos a cumplir, sino que se transforma en una herramienta proyectual que orienta decisiones sobre materiales, continuidad térmica y resolución de detalles, especialmente en sistemas industrializados en acero donde la precisión de montaje es determinante para el desempeño final del conjunto.

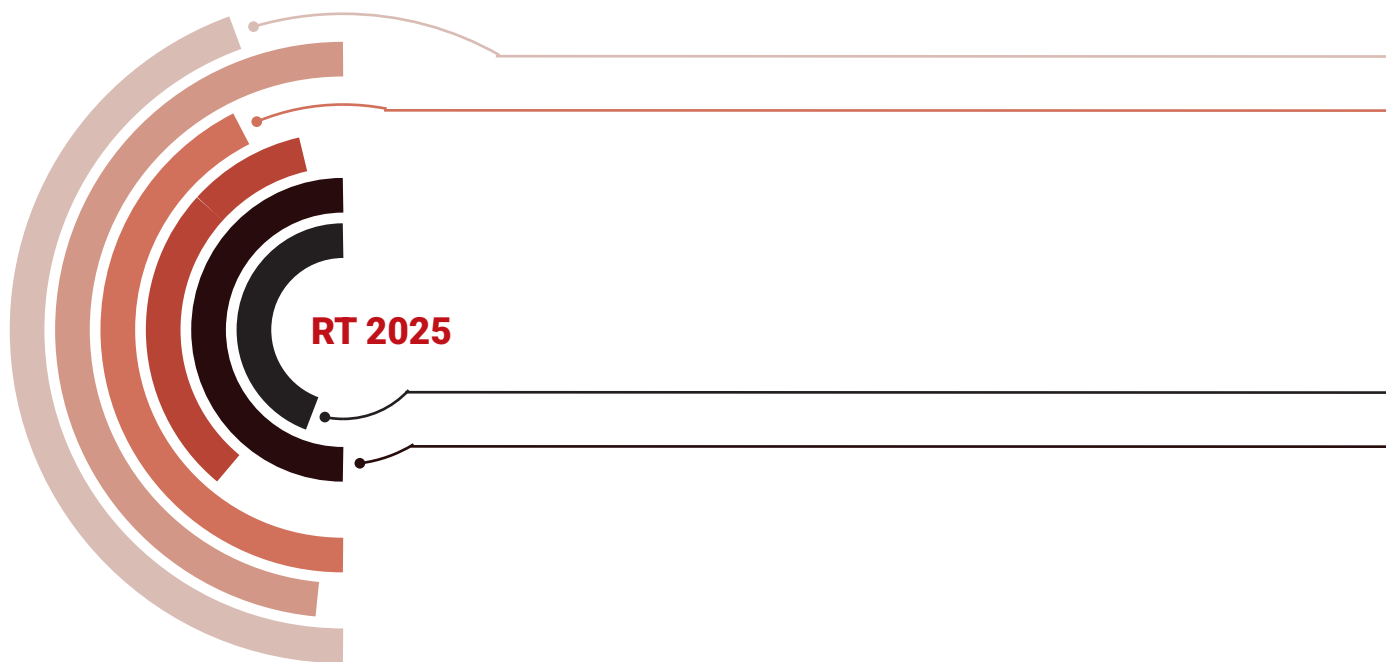
3.3.3 EXIGENCIA CLAVES DE LA REGLAMENTACIÓN TÉRMICA 2025 EN EL SISTEMA CONSTRUCTIVO INDUSTRIALIZADO EN ACERO

Las exigencias de la Reglamentación Térmica 2025 adquieren una relevancia particular en sistemas industrializados en acero, donde la conductividad del metal y la baja masa térmica influyen directamente en el desempeño ambiental de la envolvente. En este tipo de construcción, la relación entre aislación, perfilerías y uniones determina el comportamiento final del cerramiento, por lo que la transmitancia térmica, la condensación y las infiltraciones de aire se convierten en los aspectos más críticos del análisis. La ventilación mínima interior, aunque obligatoria, depende del diseño arquitectónico y no altera el comportamiento térmico del sistema, por lo que no se desarrolla en detalle.

La transmitancia térmica constituye la primera exigencia relevante. En cerramientos livianos, el flujo de calor no se distribuye de manera homogénea debido a la coexistencia entre aislante y estructura metálica, lo que genera caminos paralelos que disminuyen la eficiencia térmica del conjunto. En el sistema modular ATCO Sabinco, pequeñas interrupciones en el aislante o variaciones en la proporción de perfilería pueden modificar el valor U de manera significativa, lo que exige precisión en la definición de capas y en la continuidad del material aislante para ajustarse a los límites establecidos por zona climática.

La segunda exigencia corresponde al control de la condensación superficial e intersticial. La baja inercia del sistema hace que ciertas zonas se enfríen rápidamente, acercándose al punto de rocío cuando no existe un manejo adecuado del vapor. La correcta ubicación de la barrera interior y la continuidad del aislamiento son determinantes para evitar acumulaciones de humedad, especialmente en encuentros como muro-entrepiso y muro-techumbre, donde los perfiles metálicos modifican la temperatura interna del panel.

La tercera exigencia se refiere al control de infiltraciones de aire, un punto especialmente sensible en edificaciones modulares. La hermeticidad depende del sellado en fábrica y de la precisión del montaje en obra, y la junta módulo-módulo representa el punto más vulnerable. Si no se ejecuta adecuadamente, el aire exterior puede desplazarse por la cavidad entre módulos y comprometer la estabilidad térmica interior. Estas tres dimensiones orientan el análisis del desempeño del sistema frente a la RT-2025.



TRANSMITANCIA TÉRMICA

Determina la capacidad de los muros, techos y pisos para resistir el flujo de calor

CONDENSACIÓN

Exige evitar la acumulación de humedad dentro de las capas del panel o sobre su superficie

INFILTRACIONES DE AIRE

Regulan el paso de aire no controlado a través de las juntas, encuentros o uniones modulares

VENTILACIÓN

Asegura el ingreso controlado de aire exterior para mantener una renovación mínima que garantice calidad ambiental interior y condiciones saludables.

3.3.3.1 TRANSMITANCIA Y RESISTENCIA TÉRMICA

La transmitancia térmica (U) corresponde al calor que atraviesa un elemento cuando existe una diferencia de temperatura entre interior y exterior. Valores bajos indican una envolvente más estable y eficiente; valores altos, mayores pérdidas y mayor demanda de climatización. La resistencia térmica (R_t) expresa la capacidad del cerramiento para oponerse a ese flujo de calor y resulta de la suma de las resistencias de cada capa. Ambas magnitudes permiten comprender el comportamiento térmico del sistema y evaluar su cumplimiento frente a las exigencias de la Reglamentación Térmica 2025 (MINVU, 2024).

Para el cálculo de la transmitancia térmica se utiliza la metodología establecida en la NCh 853:2017, que define las ecuaciones y parámetros necesarios para evaluar elementos multicapa. Esta norma entrega la fórmula para determinar la resistencia térmica total del elemento (Ecuación 1) y la expresión para calcular la transmitancia térmica ponderada en elementos heterogéneos (Ecuación 2), además de los valores normativos de resistencias superficiales R_{si} y R_{se} según la dirección del flujo térmico. Estos componentes permiten aplicar el método de manera consistente y comparar

diferentes configuraciones constructivas.

En el caso del sistema modular ATCO Sabinco, la coexistencia entre aislación continua y perfilaría metálica obliga a considerar ambos recorridos térmicos mediante la fracción estructural f , que pondera la proporción de acero y aislante en el cálculo del valor U . Este enfoque permite representar adecuadamente el carácter heterogéneo del cerramiento y estimar la transmitancia térmica real del sistema.

De forma complementaria, la Reglamentación Térmica 2025 establece los valores máximos de transmitancia permitidos para cada zona climática (ver Tabla 4). En la Zona B, estos límites funcionan como referencia directa para evaluar el desempeño de muros y techumbre. El sistema modular no contempla un piso ventilado, por lo que dicho elemento no forma parte del cálculo ni de la verificación normativa.

El uso combinado de la NCh 853 y de los límites establecidos por la RT-2025 entrega un marco claro para interpretar los resultados y entender cómo opera el sistema modular bajo las condiciones climáticas de la Zona B.

CÁLCULO DE TRANSMITANCIA TÉRMICA - NCh 853

VARIABLES

Rtotal: Resistencia total

Rsi: Resistencia superficial interior

Rcapas: Resistencia de cada capa

Rse: Resistencia superficial exterior

f: Fracción del muro ocupada por perfilería metálica: 0,1

1-f: Fracción ocupada por el aislante continuo

Uacero: Transmitancia térmica acero

Uaislante: Transmitancia térmica aislante

Para elementos con flujo vertical
Según NCh 853:2017

Rsi= 0,13

Rse= 0,04

Para elementos con flujo ascendente
Según NCh 853:2017

Rsi= 0,10

Rse= 0,04

$$R_{total} = R_{si} + R_{capas} + R_{se}$$

$$U = 1/R$$

Ecuación 1: Fórmula para determinar la resistencia térmica total de un elemento constructivo.
Según NCh 853:2017.

$$U \text{ ponderado} = f \times U_{acero} + (1-f) \times U_{aislante}$$

Ecuación 2: Fórmula para determinar la transmitancia térmica ponderada de un elemento heterogéneo.
Según NCh 853:2017.

ZONA TÉRMICA	COMPLEJO DE TECHUMBRE		COMPLEJO DE MUROS PERIMETRALES		COMPLEJO DE PISO VENTILADO		COMPLEJO DE PUERTAS OPACAS	
	U ^o	Rt ^o	U ^o	Rt ^o	U ^o	Rt ^o	U ^o	Rt ^o
	W/m²K	m²K/W	W/m²K	m²K/W	W/m²K	m²K/W	W/m²K	m²K/W
A	0,84	1,19	2,10	0,48	3,60	0,28	---	---
B	0,47	2,13	0,80	1,25	0,70	1,43	1,70	0,59
C	0,47	2,13	0,80	1,25	0,87	1,15	1,70	0,59
D	0,38	2,63	0,80	1,25	0,60	1,67	1,70	0,59
E	0,33	3,03	0,60	1,67	0,60	1,67	1,70	0,59
F	0,28	3,57	0,45	2,22	0,50	2,00	1,70	0,59
G	0,28	3,57	0,40	2,50	0,39	2,56	1,70	0,59
H	0,25	4,00	0,30	3,33	0,32	3,13	1,70	0,59
I	0,25	4,00	0,35	2,86	0,32	3,13	1,70	0,59

Tabla 4: Valores máximos de transmitancia térmica para cada zona climática según RT-2025.
Fuente: Diario Oficial, modificación Art. 4.1.10 OGUC (2024).

1 ELEMENTO MURO

Para evaluar el desempeño térmico del muro modular se calcula la transmitancia térmica (U) considerando dos escenarios: el comportamiento ideal del sistema y su comportamiento real en obra. El primero representa el rendimiento teórico del muro cuando la aislación actúa de manera continua; el segundo incorpora la estructura metálica para cuantificar el efecto de los puentes térmicos y entender cómo estos modifican la eficiencia del cerramiento.

El muro ATCO-Sabinco, representado en la Figura 52, está conformado por una estructura metálica tipo Framacad C, placas OSB, membrana hidrófuga, aislación térmica, barrera de vapor interior y revestimiento de yeso cartón como terminación. La presencia de materiales con conductividades distintas exige analizar la continuidad del aislante y el rol que cumple la perfilera dentro del sistema.

El cálculo se desarrolla en dos etapas. Primero, se determina el valor U ideal considerando únicamente las resistencias térmicas de las capas aislantes. Luego, mediante la fracción estructural (f) definida en la NCh 853 Of.2017, se incorpora el aporte de la perfilera metálica para estimar el valor U real y representar el comportamiento global del muro. Esta metodología permite comprender con mayor precisión cómo responde el sistema frente a las exigencias de la RT-2025.

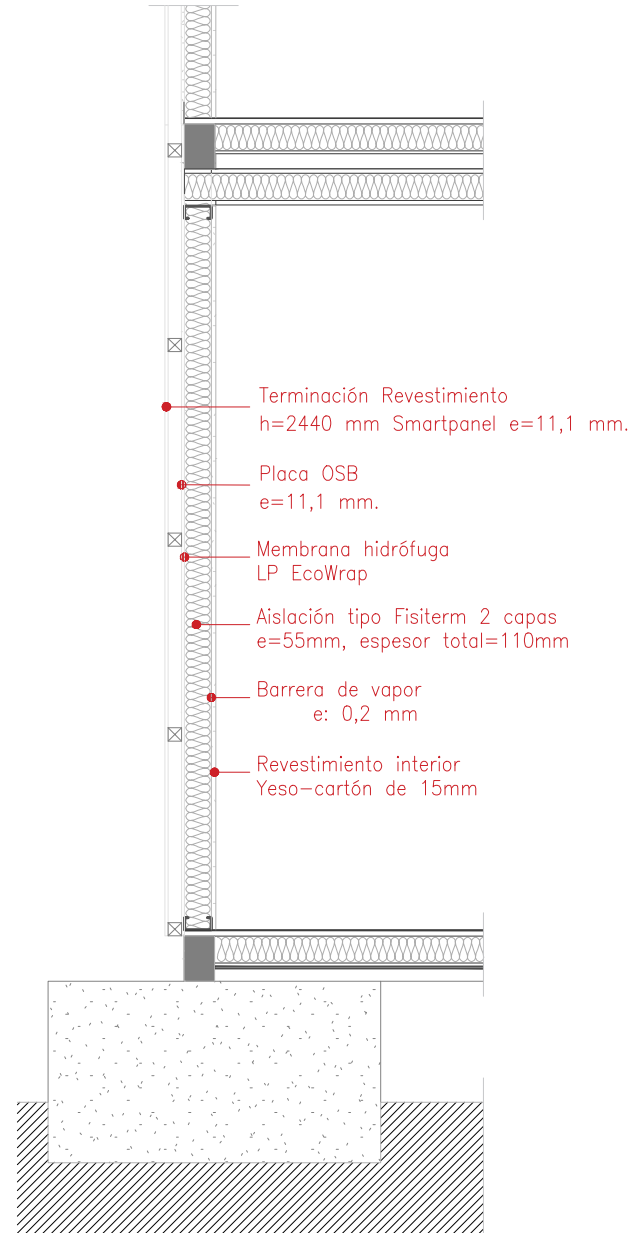


Figura 52: Detalle constructivo del muro del sistema modular ATCO-Sabinco.

CAPA	ESPESOR (m)	CONDUCTIVIDAD TÉRMICA (W/m·K)	RESISTENCIA TÉRMICA (W/m·K)
Rsi	-	-	0,13
Revestimiento Yeso cartón	0,015	0,28	0,06
Polietileno	0,0002	0,35	0,001
Fibra de poliéster	0,11	0,06	1,83
Lp EcoWrap	0,000175	-	-
Revestimiento Smartpanel OSB	0,0111	0,055	0,20
Rse	-	-	0,04
Rtotal	-	-	2,261

Tabla 5: Propiedades térmicas y resistencias de las capas del muro sin perfilería metálica.

CAPA	ESPESOR (m)	CONDUCTIVIDAD TÉRMICA (W/m·K)	RESISTENCIA TÉRMICA (W/m·K)
Rsi	-	-	0,13
Revestimiento Yeso cartón	0,015	0,28	0,06
Polietileno	0,0002	0,35	0,001
Perfil metálico	0,00085	0,003	0,27
Lp EcoWrap	0,000175	-	-
Revestimiento Smartpanel OSB	0,0111	0,055	0,20
Rse	-	-	0,04
Rtotal	-	-	0,701

Tabla 6: Propiedades térmicas y resistencias de las capas del muro considerando perfilería metálica.

ELEMENTO	U AISLANTE	U ESTRUCTURA METÁLICA	U PONDERADO
MURO	0,44	1,43	0,54
		RT 2025	0,80

Tabla 7: Resultados de transmitancia térmica del muro.

El cálculo del muro modular, realizado a partir de los datos presentados en las Tablas 5 y 6, permite distinguir con claridad el aporte térmico del aislante y el efecto de la perfilería metálica. Separar ambos recorridos no solo cumple con lo que exige la NCh 853:2017, sino que también entrega una lectura más precisa sobre cómo se comporta realmente el sistema y qué factores influyen con mayor peso en su desempeño.

El recorrido por aislante continuo alcanza un U de 0,44 W/m²K. Este valor refleja el potencial térmico del muro cuando la aislación actúa sin interferencias y da cuenta de la capacidad real del material para moderar las variaciones de temperatura. Por otro lado, el recorrido asociado a la estructura metálica arroja un U de 1,43 W/m²K, lo que evidencia la alta conductividad del acero y su impacto directo en la estabilidad térmica interior. La diferencia entre ambos resultados muestra cómo la composición interna del muro condiciona su comportamiento final.

Al ponderar ambos recorridos mediante la fracción estructural $f = 0,10$, el muro alcanza un U de 0,54 W/m²K (ver Tabla 7). Este valor representa el desempeño real del cerramiento en condiciones constructivas habituales y constituye la base para compararlo con los límites establecidos por la RT-2025.

El resultado obtenido cumple con la exigencia normativa para la Zona B y, según los rangos definidos por la RT-2025, también se mantiene dentro de los límites permitidos desde la Zona A hasta la Zona E. Esto confirma que el muro tiene un desempeño adecuado en un amplio espectro climático, incluyendo territorios con mayores demandas térmicas que Ovalle. Al mismo tiempo, evidencia que la perfilería metálica sigue siendo un factor determinante en la transmisión de calor, por lo que su diseño y continuidad deben abordarse con especial cuidado al proyectar el sistema para zonas más extremas o con requerimientos aún más estrictos.

2 ELEMENTO TECHUMBRE

Al igual que en el elemento muro, el cálculo de la transmitancia térmica (U) de la techumbre permite analizar su desempeño bajo dos escenarios: un comportamiento ideal, correspondiente a una aislación continua sin interferencias, y un comportamiento real que incorpora los efectos de la estructura metálica y los puentes térmicos presentes en las uniones. Este contraste permite comprender cómo la cubierta, como límite superior de la envolvente, influye en la estabilidad térmica interior y en la eficiencia energética global del módulo habitacional.

La techumbre del sistema ATCO-Sabinco, representada en la Figura 53, está conformada por una estructura galvanizada tipo Framacad C, placas OSB, aislación térmica dispuesta entre perfilerías, barrera de vapor interior y revestimiento de yeso-cartón como terminación. Esta combinación de materiales requiere distinguir entre el flujo térmico que atraviesa el aislante y el que se dirige a través de los perfiles metálicos.

Los cálculos de transmitancia térmica para ambas configuraciones se desarrollan mediante el método de resistencias térmicas en serie de la NCh 853 Of.2017, incorporando la fracción estructural (f) para ponderar la presencia del acero. Con ello se obtiene un valor U representativo del comportamiento real de la techumbre frente a las

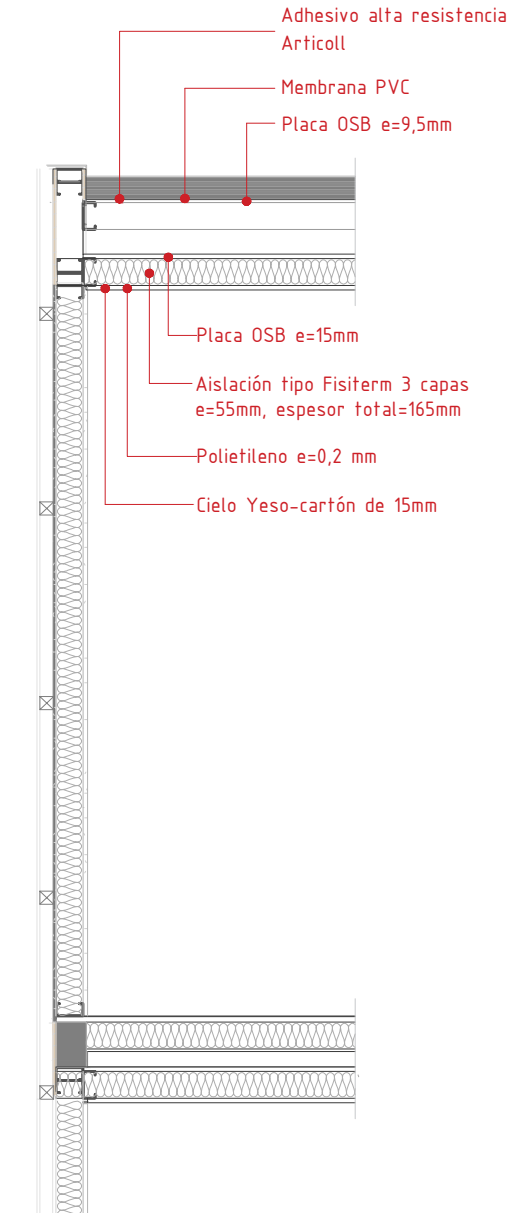


Figura 53: Detalle constructivo de techumbre del sistema modular ATCO-Sabinco.

CAPA	ESPESOR (m)	CONDUCTIVIDAD TÉRMICA (W/m·K)	RESISTENCIA TÉRMICA (W/m·K)
Rsi	-	-	0,10
Revestimiento Yeso cartón	0,015	0,28	0,06
Polietileno	0,0002	0,35	0,001
Fibra de poliester	0,165	0,06	2,75
Placa OSB interior	0,015	0,106	0,14
Placa OSB exterior	0,0095	0,106	0,09
Membrana PVC	-	-	-
Rse	-	-	0,04
Rtotal	-	-	3,181

Tabla 8: Propiedades térmicas y resistencias de las capas de la techumbre sin perfilera metálica.

CAPA	ESPESOR (m)	CONDUCTIVIDAD TÉRMICA (W/m·K)	RESISTENCIA TÉRMICA (W/m·K)
Rsi	-	-	0,10
Revestimiento Yeso cartón	0,015	0,28	0,06
Polietileno	0,0002	0,35	0,001
Perfil metalico	0,00085	0,003	0,27
Placa OSB interior	0,015	0,106	0,14
Placa OSB exterior	0,0095	0,106	0,09
Membrana PVC	-	-	-
Rse	-	-	0,04
Rtotal	-	-	0,701

Tabla 9: Propiedades térmicas y resistencias de las capas de la techumbre considerando perfilera metálica.

ELEMENTO	U AISLANTE	U ESTRUCTURA METÁLICA	U PONDERADO
TECHUMBRE	0,314	1,42	0,43
		RT 2025	0,47

Tabla 10: Resultados de transmitancia térmica de la techumbre.

El análisis de la transmitancia térmica de la techumbre permite comprender con mayor precisión el comportamiento del sistema modular frente a las exigencias de la Reglamentación Térmica 2025. En este caso, la cubierta del sistema ATCO Sabinco se compone de una estructura metálica liviana, aislación Feltrex Fisiterm, doble placa de OSB y una membrana PVC como terminación exterior. A partir de esta configuración, el cálculo desarrollado arroja un U ideal de 0,314 W/m²·K, valor que sitúa a la techumbre como un elemento altamente eficiente y muy por debajo del límite exigido para la Zona B ($U \leq 0,47$ W/m²·K).

Al incorporar el efecto de la perfilería metálica, principal responsable de los puentes térmicos lineales, la transmitancia térmica ponderada aumenta a 0,43 W/m²·K. Aunque este valor es superior al ideal, se mantiene dentro del rango permitido por la RT-2025, lo que confirma el

cumplimiento normativo y demuestra que la configuración del sistema logra compensar de manera efectiva las pérdidas asociadas al acero mediante la continuidad de las capas y el mayor espesor de aislación.

Este resultado evidencia el rol estratégico que cumple la techumbre en el equilibrio térmico del módulo. Su desempeño confirma que, incluso en sistemas livianos, es posible alcanzar altos niveles de eficiencia mediante espesores adecuados. Con una transmitancia ponderada de 0,43 W/m²·K, la techumbre no solo cumple con la exigencia para la Zona B, sino que también se mantiene dentro de los límites establecidos por la RT-2025 desde la Zona A hasta la Zona C. Este comportamiento más robusto en comparación con el muro refuerza la importancia de la cubierta como elemento clave para garantizar estabilidad térmica en territorios con mayores demandas energéticas.

3.3.3.1.1 CONCLUSIÓN

El análisis de transmitancia térmica permite comprender con mayor precisión cómo el muro y la techumbre del sistema modular responden frente a las variaciones de temperatura exterior. Los resultados muestran que el muro alcanza un desempeño térmico más robusto, cumpliendo con los límites establecidos por la RT-2025 desde la Zona A hasta la Zona E. La techumbre, en cambio, presenta una mayor sensibilidad a la presencia de perfilería metálica y cumple hasta la Zona C, evidenciando cómo la disposición de las capas y la proporción de acero influyen de manera diferenciada en cada elemento. Esta comparación permite reconocer el rol que ocupa cada parte de la envolvente y cómo las decisiones de diseño afectan su continuidad térmica.

Sin embargo, cumplir con los valores U no garantiza por sí solo un comportamiento higrotérmico adecuado. En sistemas livianos e

industrializados, la delgadez de los componentes y la alta conductividad del acero pueden generar zonas donde la temperatura interna descienda hasta niveles cercanos al punto de rocío, lo que abre la posibilidad de condensación superficial o intersticial. Este fenómeno afecta no solo la eficiencia energética del conjunto, sino también la durabilidad de sus materiales y el confort interior.

Por ello, la evaluación de transmitancia constituye solo una primera aproximación. Resulta necesario avanzar hacia un análisis higrotérmico que permita identificar los sectores más sensibles del sistema, especialmente en encuentros y puentes térmicos lineales, y comprender cómo se comportan frente al flujo de vapor. La sección siguiente aborda estos aspectos, profundizando en los riesgos de condensación del sistema ATCO Sabinco en el marco de las nuevas exigencias de la RT-2025.

3.3.3.2 CONDENSACIÓN

La condensación es un fenómeno higrotérmico que ocurre cuando el vapor de agua alcanza su temperatura de rocío y se transforma en líquido al entrar en contacto con superficies frías. En sistemas livianos e industrializados, donde la masa térmica es reducida y las variaciones de temperatura son rápidas, este riesgo se intensifica, especialmente en zonas donde existen puentes térmicos. La presencia de estos elementos altamente conductores puede generar enfriamientos locales que favorecen la saturación de vapor, afectando la durabilidad de los materiales, la sensación de confort interior y la eficiencia energética de la vivienda (INN, 2015).

Para interpretar este fenómeno, se consideran los criterios generales descritos por la NCh 2794 Of.2015, que establece las condiciones en que el vapor puede saturarse dentro de un elemento constructivo. Esta normativa funciona como marco conceptual para entender cómo varían la temperatura y la humedad al interior de la envolvente, mientras que la evaluación específica del sistema modular se realiza mediante simulaciones higrotérmicas en HTflux. Esta herramienta permite modelar la transferencia de calor y humedad en dos dimensiones, entregando

mapas de temperatura, humedad relativa y flujos térmicos que evidencian el comportamiento real del sistema en torno a los puentes térmicos.

El estudio se concentra en los encuentros donde la perfilería metálica interrumpe la continuidad del aislante y genera descensos locales de temperatura: el nodo muro-entrepiso y el nodo muro-techumbre. En estos puntos, los perfiles de acero introducen puentes térmicos lineales que modifican la trayectoria del flujo de calor. Las simulaciones permiten visualizar la distribución de isotermas, los gradientes de humedad y la forma en que la estructura metálica altera el equilibrio higrotérmico del panel.

La unión módulo-módulo no se incluye, ya que su comportamiento se asocia principalmente a infiltraciones de aire y se aborda en el apartado de hermeticidad.

Los nodos seleccionados representan los escenarios más desfavorables del sistema y permiten comprender con claridad la relación entre puentes térmicos y riesgo de condensación intersticial.

1 DETALLE MURO-ENTREPISO

El análisis de condensación se desarrolla específicamente en el nodo muro-entrepiso, uno de los puntos más sensibles del sistema modular ATCO Sabinco debido a la alta concentración de puentes térmicos lineales que genera la perflería metálica. Este encuentro, ubicado entre dos niveles con condiciones térmicas distintas, es especialmente vulnerable a descensos localizados de temperatura, lo que puede alterar el equilibrio higrotérmico del cerramiento.

El objetivo es identificar si la interacción entre estructura metálica, aislación y capas interiores puede producir condiciones favorables para la saturación de vapor dentro del ensamblaje. Para ello, el nodo se modeló en HTflux considerando su configuración constructiva real, lo que permite representar con precisión el recorrido del calor y el comportamiento de la humedad en torno a los perfiles metálicos. Las simulaciones entregan mapas detallados de temperatura, humedad relativa, presión de vapor y flujo térmico, fundamentales para evaluar la influencia directa de los puentes térmicos.

El análisis se centra en las zonas próximas a la perflería, donde las pérdidas térmicas intensifican los gradientes de temperatura y pueden generar condiciones cercanas al punto de rocío. Si este umbral se alcanza en alguna capa interior, aparece el riesgo de condensación intersticial. En este nodo, la continuidad del aislante, la correcta ubicación de la barrera de vapor y el sellado interior son determinantes para mitigar el efecto de los puentes térmicos y mantener la estabilidad del sistema.

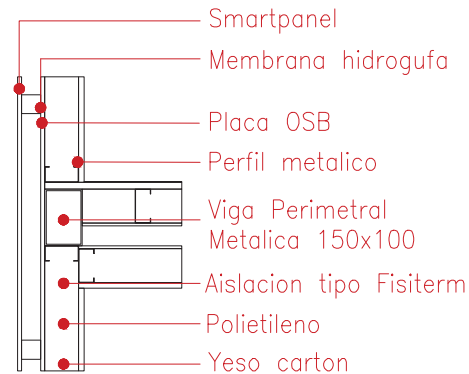


Figura 54: Detllae encuentro muro-entrepiso

3.3.3.2.1 SIMULACIÓN ENCUENTRO MURO-ENTREPISO

Tal como se observa en la Figura 55, la simulación de temperatura superficial muestra un comportamiento térmico continuo en el nodo muro-entrepiso. Hacia el interior, las temperaturas se mantienen cálidas y estables, mientras que los tonos fríos se concentran en el exterior, como es esperable en un cerramiento liviano. Cerca de la perfiles metálica aparece una zona donde la temperatura desciende un poco más rápido, efecto característico del puente térmico. Aun así, la superficie interior se mantiene sobre el punto de rocío, lo que confirma un desempeño estable y sin riesgo de condensación superficial.

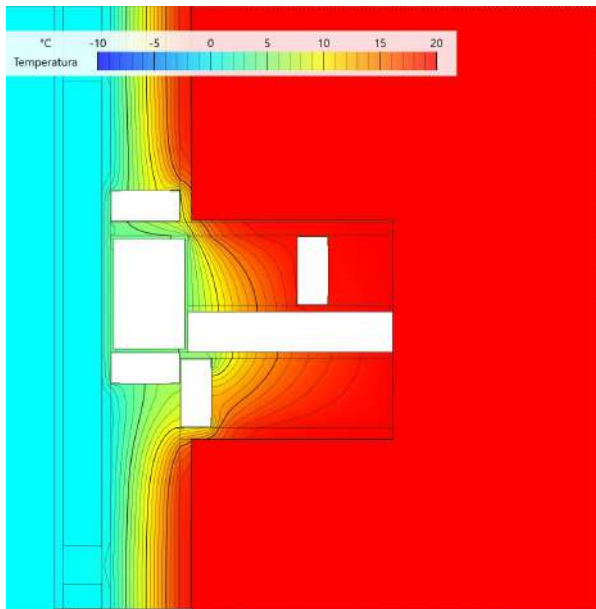


Figura 55: Simulación de temperatura superficial del nodo muro-entrepiso.

Como se aprecia en la Figura 56, la simulación de flujo de calor muestra cómo el intercambio térmico se intensifica alrededor de la perfiles metálica, evidenciando el puente térmico lineal del nodo. En las zonas sin estructura, el flujo es más parejo y controlado, reflejando una aislación continua y bien resuelta. Esta lectura permite entender con claridad cómo el acero desvía y concentra el calor, reforzando la importancia del montaje preciso para minimizar pérdidas energéticas en este encuentro.

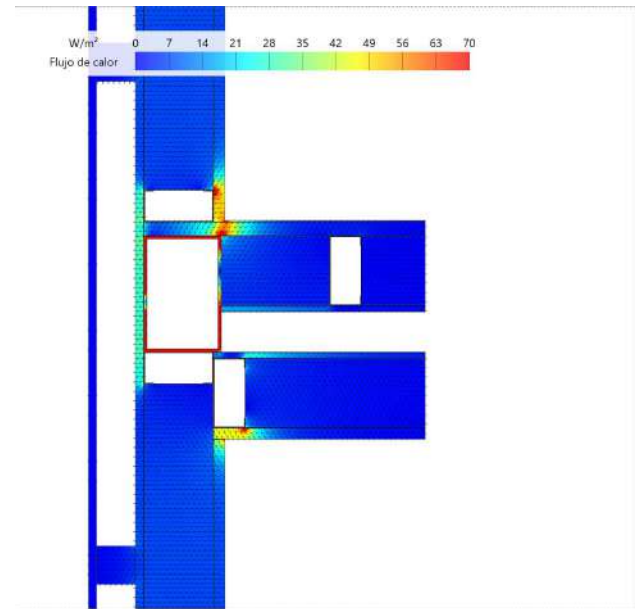


Figura 56: Simulación de flujo de calor en el nodo muro-entrepiso.

En la Figura 57 se observa la distribución de la humedad relativa dentro del muro. En la mayor parte del cerramiento los valores se mantienen bajos y estables, mientras que en el sector cercano a la perfilera metálica se aprecia un aumento leve, asociado al descenso local de temperatura propio del puente térmico. Aun así, estos valores no alcanzan el umbral crítico del 80 %, por lo que no se genera riesgo de condensación intersticial. La barrera de vapor y la aislación continua actúan correctamente, manteniendo el equilibrio higrotérmico del sistema.

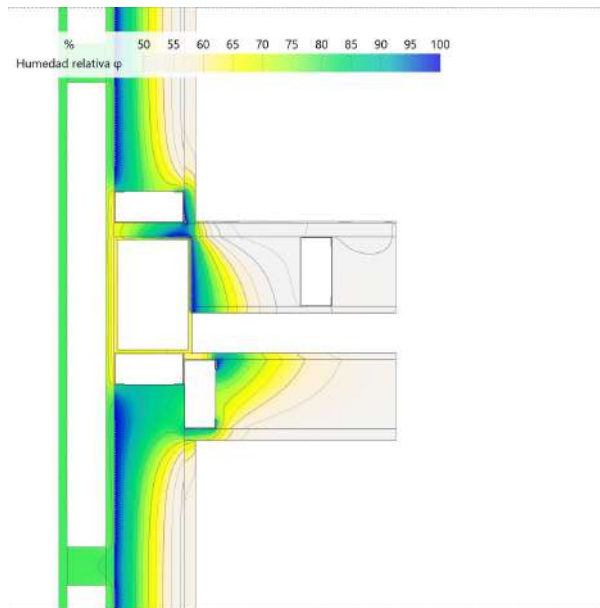


Figura 57: Simulación de humedad relativa del nodo muro-entrepiso.

La Figura 58 muestra el recorrido del vapor de agua dentro del muro mediante vectores que indican su dirección e intensidad. El movimiento se orienta desde el interior más cálido hacia el exterior frío, siguiendo naturalmente el gradiente de presión de vapor. En torno a la perfilera se observa una ligera concentración de líneas debido a la discontinuidad del aislante, pero sin generar acumulaciones que indiquen riesgo. Esto demuestra que la barrera de vapor interior y el montaje modular mantienen el control del flujo, evitando que el vapor alcance condiciones de saturación.

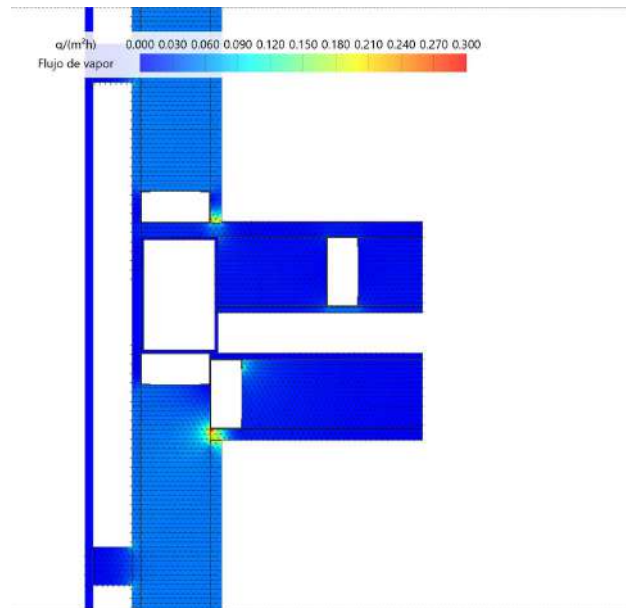


Figura 58: Simulación de flujo de vapor en el nodo muro-entrepiso.

2 DETALLE MURO-TECHUMBRE

El encuentro muro–techumbre es un punto crítico dentro del sistema modular, ya que articula la transición entre dos planos con comportamientos térmicos distintos. En este nodo convergen elementos verticales y horizontales cuya interacción condiciona la continuidad del cerramiento. La presencia de perfilería metálica y la geometría del encuentro generan variaciones térmicas locales que pueden intensificarse si no existe una correcta alineación entre las capas aislantes y las barreras interiores, convirtiéndolo en un puente térmico relevante.

Para comprender su comportamiento, el nodo fue modelado en HTflux considerando su configuración constructiva real. Este modelado permite observar la distribución de temperaturas, el flujo térmico en la transición vertical–horizontal y el desplazamiento del vapor en torno a la estructura metálica, identificando los sectores donde el puente térmico adquiere mayor predominancia.

A diferencia del muro–entrepiso, este encuentro incorpora elementos adicionales como el paquete aislante del cielo y la cámara de aire superior, los

cuales influyen en la disipación del calor y en la estabilidad térmica de la envolvente superior. La continuidad del aislante en el encuentro y la correcta ubicación de las barreras interiores resultan clave para evitar descensos locales de temperatura asociados a los perfiles de acero.

Este análisis complementa el estudio del encuentro muro–entrepiso, ya que ambos nodos concentran los principales puentes térmicos del sistema y definen su comportamiento higrotérmico general.

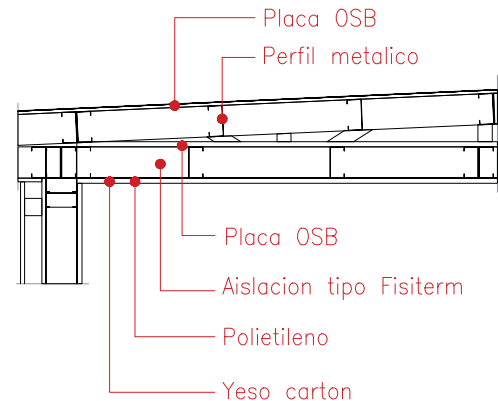


Figura 59: Detalle encuentro muro-techumbre

3.3.3.2.3 SIMULACIÓN ENCUENTRO MURO-TECHUMBRE

Tal como se observa en la Figura 60, la simulación de temperatura superficial muestra una transición térmica continua entre el muro y la techumbre. El interior mantiene tonos cálidos y el exterior se representa en tonos fríos, reflejando un gradiente estable en todo el nodo. En la zona de encuentro se aprecia un descenso leve de temperatura asociado a la perfilería metálica, donde el calor se desplaza con mayor rapidez. Aun así, la superficie interior se mantiene sobre el punto de rocío, mostrando un funcionamiento térmico adecuado en la unión superior del sistema modular.

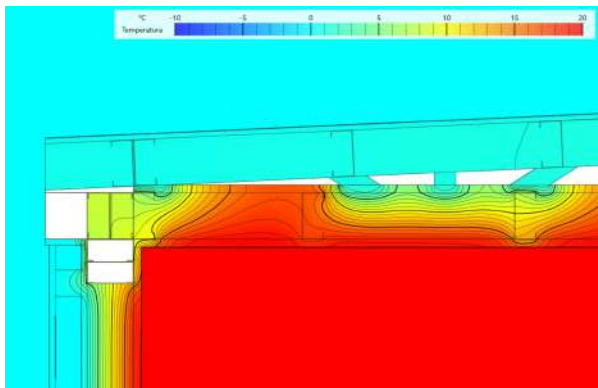


Figura 60: Simulación de temperatura superficial del nodo muro-techumbre.

Como se aprecia en la Figura 61, la simulación de flujo de calor revela la dirección e intensidad del intercambio térmico en el nodo muro-techumbre. Las líneas se concentran en torno a la estructura metálica, indicando un paso de calor más marcado en ese sector. En el resto del cerramiento el flujo es más uniforme, lo que refleja una aislación continua y bien ejecutada. La imagen permite identificar con claridad el rol de la perfilería como punto de mayor conducción sin afectar el comportamiento general del conjunto.

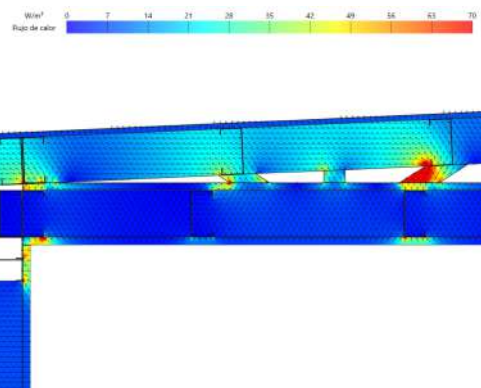


Figura 61: Simulación de flujo de calor en el nodo muro-techumbre.

En la Figura 62 se observa la distribución de la humedad relativa en el encuentro muro–techumbre. La mayor parte del nodo mantiene valores bajos y estables, mientras que en torno a la perfilería metálica se registra un aumento leve, asociado al descenso local de temperatura. Aun así, los valores no superan el 80 % de saturación, por lo que no se generan condiciones de riesgo. El resto de las capas conserva una humedad controlada, lo que evidencia una correcta disposición del aislamiento y la barrera interior.

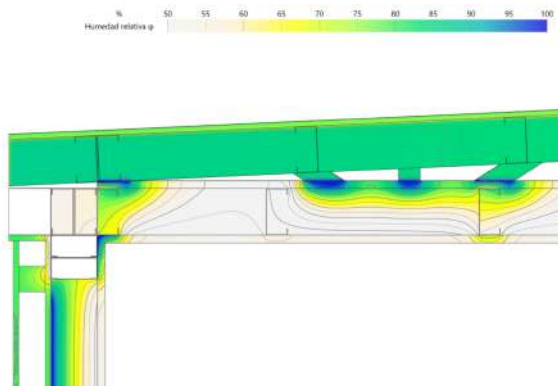


Figura 62: Simulación de humedad relativa del nodo muro–techumbre..

De acuerdo con lo mostrado en la Figura 63, el flujo de vapor se desplaza desde el interior del nodo muro–techumbre siguiendo el gradiente de presión. Los vectores se distribuyen de manera regular a través del aislante, sin concentraciones significativas. En el punto de encuentro, el paso de vapor se mantiene controlado por la barrera interior, evitando su ingreso hacia zonas frías de la techumbre. Este comportamiento muestra una correcta continuidad y un sellado adecuado en la transición superior del sistema modular.

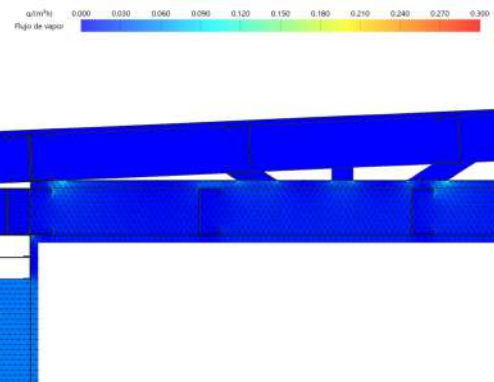


Figura 63: Simulación de flujo de vapor en el nodo muro–techumbre.

3.3.3.2.4 CONCLUSIÓN

El análisis de condensación permitió identificar cómo los puentes térmicos influyen en los encuentros muro–entrepiso y muro–techumbre del sistema modular ATCO Sabinco. En ambos nodos, la perfilería metálica genera descensos localizados de temperatura que interrumpen parcialmente la continuidad térmica del cerramiento.

Si bien el método utilizado, simulaciones higrotérmicas en HTflux, no corresponde al procedimiento oficial indicado por la RT-2025, este enfoque permite anticipar de manera general los sectores donde podría existir riesgo de condensación al aplicar los criterios de la normativa y analizar los gradientes térmicos internos. Los resultados muestran que, en las condiciones evaluadas, no se produce condensación superficial ni intersticial, ya que las temperaturas internas se mantienen por encima del punto de rocío.

Los encuentros analizados concentran, sin embargo, los mayores gradientes térmicos del sistema. El nodo muro–entrepiso presenta una caída térmica más marcada debido al cambio de nivel, mientras que el muro–techumbre resulta ligeramente más estable gracias al paquete aislante del cielo. Aun así, en ambos casos el acero define los puntos fríos y condiciona la estabilidad higrotérmica del conjunto.

En relación con la RT-2025, estos resultados sugieren que, aunque el sistema modular no evidencia condensación en las condiciones actuales, la continuidad del aislante, la correcta ubicación de la barrera de vapor y el manejo de puentes térmicos lineales siguen siendo aspectos clave para asegurar un desempeño durable y coherente con las exigencias normativas.

3.3.3.3 HERMETICIDAD

La hermeticidad corresponde a la capacidad de la envolvente para limitar el paso de aire a través de juntas y uniones. Este control es clave para evitar pérdidas energéticas, mantener la estabilidad térmica interior y prevenir problemas de confort. En viviendas livianas, donde las capas del cerramiento son delgadas y responden rápidamente a los cambios ambientales, las infiltraciones no controladas generan fluctuaciones térmicas inmediatas y pueden transportar humedad hacia zonas frías, favoreciendo condensaciones (INN, 2019; Universidad del Bío-Bío, 2017).

En la Reglamentación Térmica 2025, la hermeticidad se incorpora como exigencia obligatoria y se verifica mediante el ensayo Blower Door Test, que mide las renovaciones de aire por hora a 50 Pascales. La normativa establece un máximo de 3 renovaciones para viviendas convencionales y 2 para proyectos de estándar avanzado (MINVU, 2024). Su procedimiento se detalla en la NCh 3387:2019 (INN, 2019).

Este estudio no incluye mediciones experimentales. En su lugar, se realiza un análisis técnico basado en los criterios del Manual de Infiltraciones para Vivienda (Universidad del Bío-Bío & MINVU, 2017), el cual identifica los puntos donde con mayor frecuencia se interrumpe la barrera de aire. Siguiendo este enfoque, el análisis se concentra en la junta módulo-módulo, considerada el punto más vulnerable del sistema modular ATCO Sabinco debido a la convergencia de dos envolventes independientes y a la posibilidad de discontinuidades en el plano hermético durante el montaje.

Este marco permite reconocer la hermeticidad como un componente crítico del desempeño térmico e higrotérmico del sistema, orientando el análisis hacia los sectores donde las fugas de aire son más probables y donde se requiere mayor precisión constructiva.

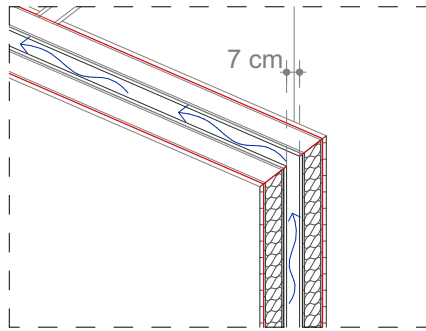


Figura 64: Detalle encuentro módulo-módulo y separación de 7 cm.

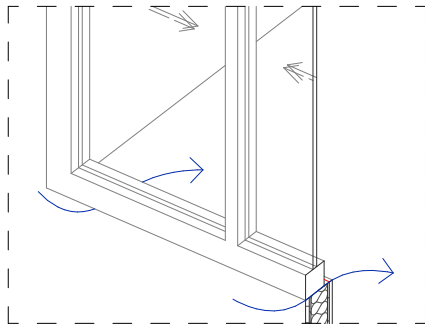


Figura 65: Encuentro muro-ventana con corte de la barrera de aire.

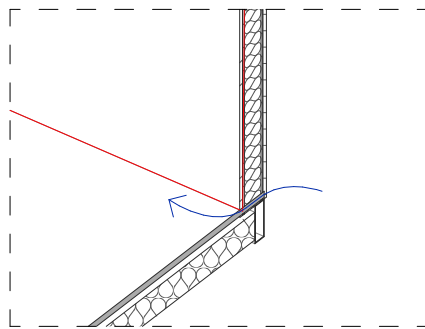


Figura 66: Encuentro muro-entrepiso con interrupción del plano hermético.

PUNTOS CRITICOS

La hermeticidad de la envolvente no depende solo de las propiedades aislantes de sus materiales, sino de la continuidad efectiva del plano de control de aire y de la forma en que se resuelven sus uniones. En sistemas industrializados, donde los componentes se fabrican en serie y luego se ensamblan en obra, la calidad de estos encuentros adquiere un rol decisivo, ya que cualquier discontinuidad puede transformarse en un punto de fuga.

En el sistema modular ATCO Sabinco, la mayor parte del plano hermético se ejecuta en fábrica, donde se sellan encuentros interiores, perímetros de vanos y uniones de revestimientos. Este proceso controlado permite que cada módulo alcance un nivel de estanqueidad homogéneo, lo cual constituye una ventaja propia del sistema industrializado.

Sin embargo, la hermeticidad de los módulos individuales no garantiza la del conjunto. Existen encuentros cuya continuidad depende exclusivamente del montaje en obra. Entre ellos, la unión módulo-módulo (Figura 64) es el punto más crítico: la separación de aproximadamente 7 cm entre unidades genera una cavidad vertical que, si no se trata adecuadamente, puede convertirse en un canal de infiltración que lleve aire exterior hacia la envolvente interior.

Otros encuentros, como muro-ventana (Figura 65) y muro-entrepiso (Figura 66), presentan un comportamiento más estable, ya que su plano hermético se resuelve íntegramente en fábrica. Como muestran las figuras, los puntos más vulnerables corresponden a aquellos cuya estanqueidad depende de la precisión del montaje y de la rigurosidad del proceso constructivo realizado en obra.

ENCUENTRO MÓDULO - MÓDULO

La junta módulo-módulo presenta una condición particular dentro del sistema ATCO Sabinco debido a la separación de 7 cm que se genera entre unidades durante el montaje. Esta distancia, necesaria para permitir las tolerancias de posicionamiento, produce una cavidad vertical que no forma parte de la envolvente principal. Como se aprecia en la Figura 61, este espacio intermedio queda fuera del plano hermético ejecutado en fábrica y no cumple un rol asociado al control térmico o al resguardo ambiental del recinto.

Al no corresponder ni al cerramiento interior ni al exterior, la cavidad adquiere un comportamiento propio, influido por presiones de viento, variaciones de temperatura y posibles microaberturas que se producen durante la instalación de los revestimientos. En sistemas livianos, donde las capas tienen baja inercia y responden rápidamente al ambiente, esta condición altera el equilibrio térmico si el aire exterior logra ingresar y desplazarse por la junta.

La presencia de perfiles metálicos en los bordes intensifica esta sensibilidad, ya que el acero transmite cambios térmicos con rapidez. La combinación entre cavidad abierta, variaciones de presión y elementos metálicos convierte a la junta módulo-módulo en un punto especialmente relevante para la estabilidad térmica interior del sistema modular.

CONSECUENCIAS EN EL DESEMPEÑO TÉRMICO

La interrupción del plano hermético en la junta módulo-módulo genera efectos que inciden directamente en el comportamiento térmico del sistema. La cavidad existente permite que el aire exterior se desplace hacia capas internas del muro, modificando su capacidad para mantener condiciones estables. Este flujo no controlado puede generar descensos de temperatura en los bordes del módulo, especialmente en los sectores donde la perfiles metálica actúa como puente térmico.

En sistemas livianos, estas alteraciones se traducen en una menor estabilidad interior y en una mayor demanda energética, ya que la envolvente pierde eficiencia al no mantener temperaturas uniformes. Además, la dependencia del montaje introduce diferencias en el desempeño entre viviendas, pues pequeñas variaciones en la instalación pueden modificar la hermeticidad final del conjunto.

En escenarios más exigentes, la combinación entre zonas frías, aire infiltrado y estructura metálica puede aumentar el riesgo higrotérmico, particularmente cuando las temperaturas locales se aproximan al punto de rocío, aunque no llegue a producirse condensación visible.

CRITERIOS DE ANÁLISIS

Según Manual de Hermeticidad al Aire, UBB-MINVU, 2017

El análisis del encuentro módulo-módulo se basa en los lineamientos del Manual de Hermeticidad al Aire, que identifica los puntos donde suelen generarse infiltraciones en sistemas livianos y entrega criterios para evaluar la continuidad del plano de control de aire. Estos principios permiten interpretar el desempeño del encuentro sin proponer soluciones, enfocándose únicamente en las variables que condicionan su hermeticidad.

Continuidad del plano de aire

La capa hermética interior se interrumpe en la junta; el análisis se centra en la magnitud y efecto de esa discontinuidad.

Sensibilidad de los bordes del módulo

Los bordes concentran presiones y microespacios que pueden transformarse en puntos de fuga.

Tolerancias de montaje

Pequeñas desalineaciones entre módulos pueden abrir caminos no previstos para el paso del aire.

Integridad de membranas exteriores

Solapes insuficientes o cortes en membranas y revestimientos pueden conectar exterior y cavidad.

3.3.3.3.1 CONCLUSIÓN

El análisis de hermeticidad del sistema modular ATCO Sabinco permite comprender que la eficiencia térmica de la vivienda no depende únicamente de las capas que conforman el muro, sino del grado en que el plano de aire logra mantenerse continuo a lo largo de toda la envolvente. La junta módulo-módulo evidencia que, aun cuando los módulos individuales presentan un alto nivel de estanqueidad logrado en fábrica, la transición entre unidades introduce condiciones que no están presentes en los demás encuentros del sistema. Pequeñas variaciones de montaje, diferencias de alineación o aberturas mínimas pueden modificar el comportamiento del aire en la cavidad y afectar la estabilidad térmica interior del conjunto.

Desde esta perspectiva, la hermeticidad se revela como un atributo que atraviesa todo el proceso constructivo: se proyecta, se fabrica y finalmente se verifica en obra. Los lineamientos del Manual de Hermeticidad al Aire refuerzan esta mirada, mostrando que los encuentros son puntos estratégicos donde se define gran parte del desempeño real de la envolvente y donde también emergen las oportunidades más claras de mejora futura. Reconocer esta condición es fundamental para comprender las oportunidades y límites del sistema industrializado frente a las exigencias de la RT-2025.

3.3.4 REFLEXIÓN

El análisis del desempeño térmico, higrotérmico y hermético del sistema modular ATCO Sabinco permitió comprender cómo una envolvente liviana responde frente a las exigencias integradas de la Reglamentación Térmica 2025. El análisis higrotérmico confirmó variaciones sin condensaciones críticas, mientras que la hermeticidad evidenció que el montaje y, especialmente, la junta módulo–módulo influyen directamente en la estabilidad térmica del conjunto.

Este tema permitió mirar la industrialización con una perspectiva más equilibrada. Antes se tendía a asumir que un sistema industrializado en planta garantizaba, por sí mismo, un desempeño térmico más controlado. Sin embargo, quedó claro que la precisión propia de la industrialización convive con zonas donde el sistema se vuelve vulnerable, especialmente en aquellos encuentros que dependen del montaje y que escapan de la lógica repetible del proceso industrial. La junta módulo–módulo, en particular, mostró que la hermeticidad no es un elemento secundario, sino

un componente que define la sensación térmica, la estabilidad del recinto y la calidad de vida de quienes lo habitan.

El análisis permitió comprender también que proyectar con sistemas livianos requiere una sensibilidad distinta: no se trata solo de definir capas o cumplir valores normativos, sino de anticipar lo que ocurre justamente en los puntos donde esas capas se interrumpen o se encuentran. Es en esos encuentros donde el sistema revela sus límites y donde realmente se configura su desempeño térmico.

A partir de esta revisión se entendió que la eficiencia no depende únicamente de adherirse a la RT-2025, sino de proyectar sistemas capaces de reconocer sus propias vulnerabilidades y responder de manera coherente al clima del territorio. La relación entre diseño, materialidad y proceso constructivo dejó de ser una idea abstracta para convertirse en un criterio esencial al momento de evaluar la calidad final de la vivienda.

**CONOCIMIENTO
ACADÉMICO
PREVIO****DISEÑO**

Conocimientos de transmitancia térmica y aislación en sistemas livianos.

Comprensión del funcionamiento de los puentes térmicos y su impacto en el confort interior.

SUSTENTABILIDAD

Experiencia previa analizando envolventes multicapa.

Conocimientos sobre riesgos de condensación y control de humedad en muros livianos.

NORMATIVA

Entendimiento de que la normativa estaba en proceso de actualización y elevaría las exigencias para sistemas livianos.

Conocimientos sobre los criterios que introduciría la RT-2025

EJERCICIO DE LA PROFESIÓN

Conocimientos sobre lectura de mapas térmicos, detalles constructivos y continuidad del plano hermético.

DESAFÍOS ENFRENTADOS EN LA PRÁCTICA

Interpretar cómo los puentes térmicos modifican el flujo energético en encuentros sensibles del sistema modular.

Analizar el comportamiento térmico de nodos.

Modelar nodos en HTflux y leer mapas térmicos e higrotérmicos para identificar zonas críticas.

Evaluar la hermeticidad considerando el rol combinado de fabricación y montaje.

Evaluar puentes térmicos y riesgo higrotérmico considerando los estándares que incorporaría la nueva normativa.

Revisar distribución y dimensiones interiores para cumplir la normativa manteniendo funcionalidad.

Comprender cómo la junta módulo–módulo requiere un trabajo articulado entre diseño, fabricación y montaje.

APRENDIZAJES ADQUIRIDOS

Comprender con mayor precisión el rol de los puentes térmicos y su impacto en la estabilidad térmica del recinto..

Reconocer la importancia de resolver encuentros para asegurar continuidad y desempeño.

Valorar las simulaciones como herramienta para anticipar condensaciones y pérdidas térmicas.

Reconocer la hermeticidad como un factor clave en el confort y la eficiencia del sistema modular.

Reconocer que la nueva RT evalúa el desempeño como una envolvente completa y no como una suma de materiales..

Comprender que los cambios normativos aumentan la exigencia.

Reconocer que la calidad del sistema modular depende de la correcta definición de sus encuentros y de la continuidad de la envolvente.

4 REFLEXIÓN GENERAL

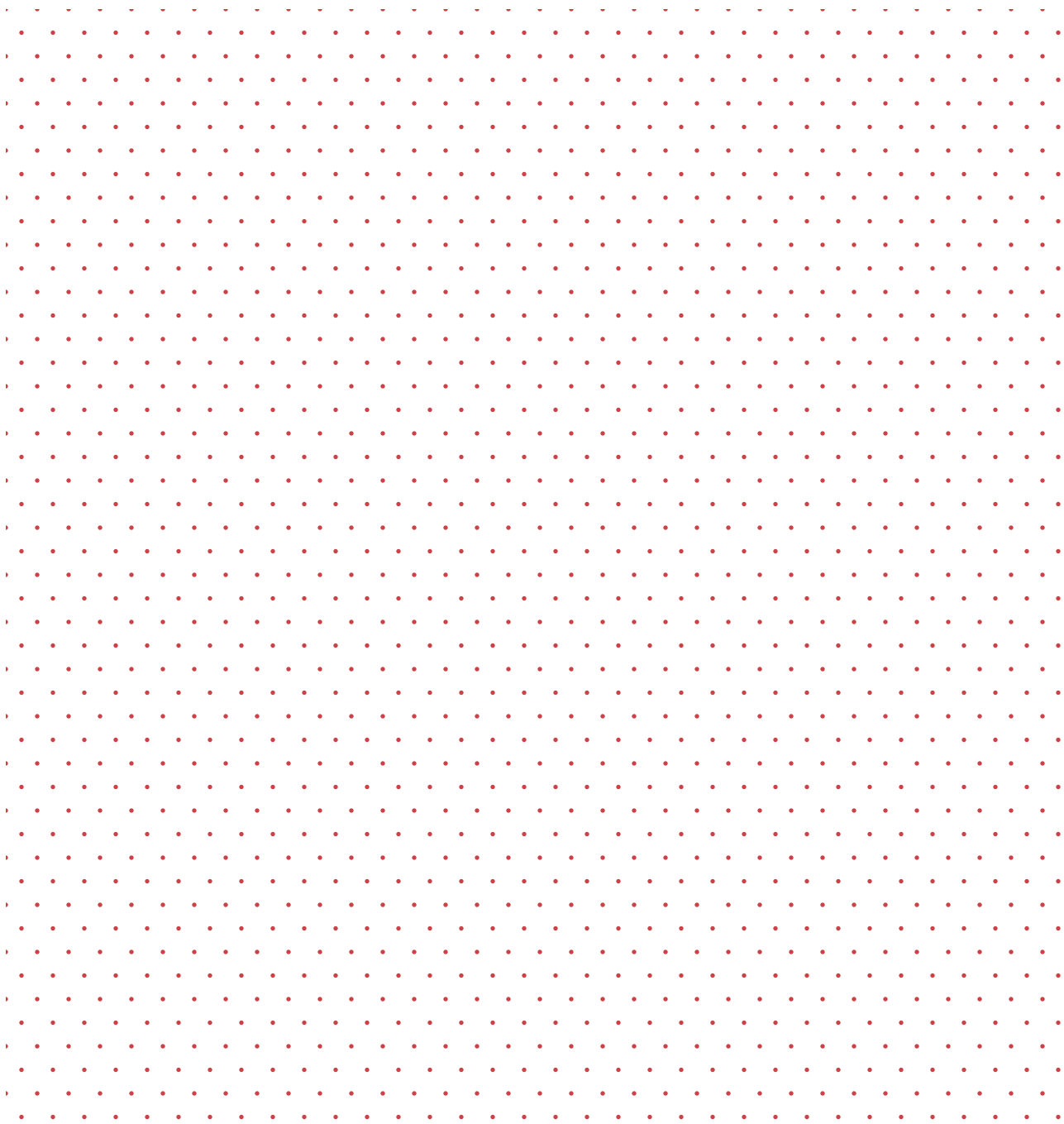
A lo largo de este proceso confirmé una idea que cambió mi forma de entender la arquitectura: la construcción industrializada modular 3D, entendida dentro de los Métodos Modernos de Construcción categoría 1, no es una promesa futura, sino una realidad que ya está transformando la vivienda en Chile. Su valor no se reduce solo a la rapidez o la repetibilidad, sino también a la capacidad de asegurar calidad, precisión y habitabilidad desde la planta, antes incluso de que el edificio exista. Trabajar con módulos de acero me permitió dimensionar cuánto aporta un proceso controlado: durabilidad, servicialidad, menor postventa y una coherencia que muchas veces es difícil de lograr en obra tradicional.

Sin embargo, trabajar con construcción modular 3D también evidenció sus desafíos concretos. El acero es altamente conductor y obliga a tratar la envolvente con atención rigurosa: continuidad térmica, hermeticidad, control higrotérmico y diseño de encuentros. A esto se suma un factor decisivo: la logística. La disponibilidad de espacio para montaje, las maniobras, las rutas de transporte y las tolerancias de izaje condicionan

decisiones arquitectónicas que deben definirse desde el primer día. No son desventajas que invaliden el sistema, pero sí variables que exigen un nivel de anticipación y coordinación mayor que la construcción tradicional.

Entendí, entonces, que proyectar con sistemas industrializados no es aplicar una técnica nueva sobre una lógica antigua: implica pensar la arquitectura desde otra estructura mental. Y aquí la experiencia con la CVS fue clave. El diseño integrado, definir metas ambientales y de desempeño desde el inicio y alinear arquitectura, ingeniería, clima, fábrica y montaje, no solo mejora el proyecto, es indispensable para que la modularidad funcione.

Este trabajo me hizo crecer como arquitecta. Aprendí muchísimo, pero también descubrí cuánto más quiero profundizar en industrialización, sustentabilidad y desempeño real. Y confirmé que este es el camino en el que quiero seguir: porque siento que es un ámbito donde puedo seguir desarrollándome con una base sólida y un propósito claro.



5 REFERENCIAS

Dirección Meteorológica de Chile (MeteoChile). (2024). *Base de datos climatológicos y meteorológicos de estaciones nacionales*. Gobierno de Chile.

Meteoblue AG. (2024). *Climate Data and Weather Models [Datos meteorológicos]*.

Marsh, A. (2024). *Climate Analysis Tools [Software]*. AndrewMarsh.com.

Liggett, R., & Milne, M. (2021). *Climate Consultant 6.0 [Software]*. UCLA Energy Design Tools.

Ministerio de Vivienda y Urbanismo (MINVU). (2024). *Zonificación térmica de Chile: Clasificación oficial para la Reglamentación Térmica 2025*. Gobierno de Chile.

Ministerio de Vivienda y Urbanismo (MINVU). (2024). *Reglamentación Térmica 2025: Exigencias para la envolvente térmica, hermeticidad e infiltración de aire*. Gobierno de Chile.

Ministerio de Vivienda y Urbanismo (MINVU). (2023). *Reglamentación Térmica de la Vivienda: Manual de Aplicación*. Gobierno de Chile.

Centro Tecnológico para la Innovación en la Construcción (CTEC) & Cámara Chilena de la Construcción (CChC). (2024). *Guía de Métodos Modernos de Construcción (MMC)*. Santiago, Chile.

Chile. Ministerio de Vivienda y Urbanismo, & Bustamante, W. (2009). *Manual de diseño y construcción sustentable para la vivienda social en Chile*. Gobierno de Chile.

Ministerio de Vivienda y Urbanismo (MINVU). (2021). *Certificación de Vivienda Sustentable (CVS): Guía de criterios y requisitos*. Gobierno de Chile.

Instituto Nacional de Normalización (INN). (2021). NCh 853:2021. *Acondicionamiento térmico – Envolvente térmica de edificios – Requisitos y verificación*. Santiago, Chile.

Ministerio de Vivienda y Urbanismo (MINVU). (2020). *Zonificación térmica de Chile: Guía de apoyo para el diseño y construcción de viviendas*. Gobierno de Chile.

Instituto Nacional de Normalización (INN). (2015). *NCh 2794 Of.2015. Eficiencia energética – Infiltración de aire en viviendas – Métodos de medición. Santiago, Chile.*

Instituto Nacional de Normalización (INN). (2019). *NCh 1079:2019. Acondicionamiento térmico – Envoltura térmica de edificios – Hermeticidad al aire – Requisitos y métodos de ensayo. Santiago, Chile.*

HTflux. (2024). *HTflux Thermal Simulation Software [Software]. HTflux GmbH.*

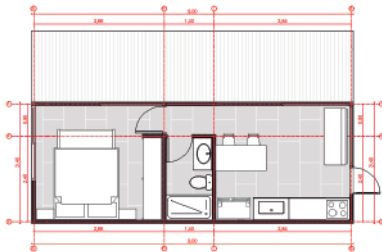
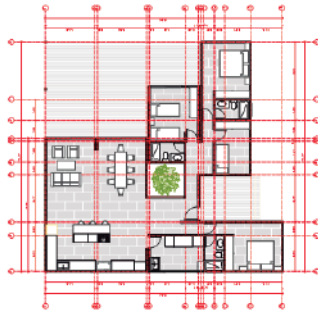
Universidad del Bío-Bío. (2017). *Guía de hermeticidad para viviendas en Chile. Grupo de Investigación en Acondicionamiento Térmico (GIAT). Concepción, Chile.*

Pérez, J., & De la Barrera, F. (2021). *Rol de la vegetación en el control del microclima urbano y en la adaptación a los efectos del cambio climático en un barrio de San Pedro de la Paz, Chile. URBE. Arquitectura, Ciudad y Territorio*

6 ANEXOS

FICHA 01 AVANCE NUMERO 01 MES DE MARZO AÑO 2025

ANTONIA GRASSET



Cabaña Modular / Casa 5 Modulos

Durante el mes de Marzo y principios de Abril, se realizó el desarrollo y definición de dos proyectos modulares prefabricados: una cabaña de un módulo y una vivienda conformada por cinco módulos ensamblados, ambos diseñados bajo los parámetros constructivos y técnicos de la empresa ATCO SABINCO, utilizando estructura metálica en Metalcon y pilares de acero.

En el caso de la cabaña modular, de 3,4 x 9 metros, se completó el diseño arquitectónico preliminar, resolviendo su distribución interior, envolvente térmica y estrategia de iluminación y ventilación natural.

Respecto a la vivienda de cinco módulos, se desarrolló una propuesta flexible de planta, alcanzando un total de 150 m². Esta fue adaptada progresivamente según requerimientos funcionales y de habitabilidad, considerando circulaciones eficientes, conexiones entre módulos, y estrategias pasivas para mejorar el confort térmico. Se revisaron alternativas de configuración para optimizar la orientación solar y la integración con el terreno.

El enfoque modular responde a la necesidad de reducir tiempos de construcción en obra, mejorar el control de calidad en fábrica, reducir costos, y asegurar la replicabilidad de los diseños.

Durante este mes, el proceso de diseño y ajuste de ambos proyectos me permitió comprender con mayor profundidad las implicancias reales del diseño modular dentro de un sistema constructivo industrializado. Aprendí a tomar decisiones proyectuales considerando no solo criterios estéticos o funcionales, sino también restricciones de fabricación, transporte y montaje, que inciden directamente en el resultado final. Además, trabajar con un módulo base replicable evidenció la importancia de la planificación espacial desde una lógica sistemática.



Paseo Nativa Malalcahuello

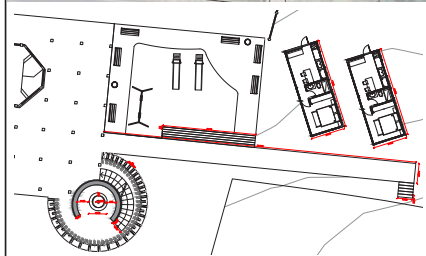
Durante el mes de Abril se ha trabajado en un proyecto emplazado en Malalcahuello, Region de la Araucania. Consta de 2 terrenos colindantes, de 0,5 ha cada uno, en ambos existen edificaciones existentes, un restaurante y un lodge. La propuesta es diseñar un espacio de conexión, el volumen principal, "el volcán", que cumple una función de estancia y punto articulador, ya que a este volcán se le integra una escalera interior que conecta directamente con la terraza del restaurante. También se diseña una pasarela, zona de juegos y cabañas pilotos.



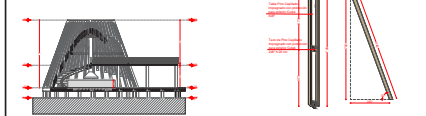
El "volcán" es diseñado a partir de una modulación en base a estructuras de madera, pletinas metálicas y vigas de acero, lo que permite una construcción eficiente, sólida y expresiva, capaz de soportar las condiciones climáticas de Malalcahuello.



Emplazamiento

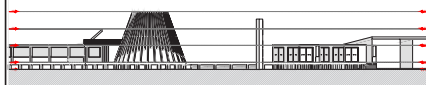


Planta Nivel 1



Corte

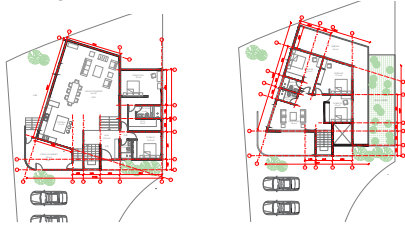
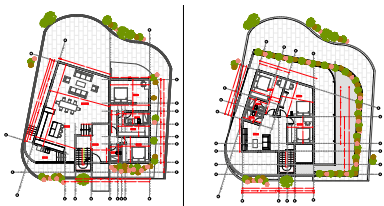
Detalle Modulos



Elevación Sur

Como principales conclusiones, se destaca la importancia de emplear sistemas constructivos mixtos que combinen eficiencia, estética y factibilidad en el entorno cordillerano. La estructura del "volcán" no solo responde a una lógica funcional, sino también simbólica, reinterpretando de manera arquitectónica la geografía volcánica local.

Durante este mes, ha sido significativo comprender la importancia de tomar decisiones de diseño que no solo respondan a criterios estéticos o funcionales, sino que también dialoguen con el territorio y su identidad. El trabajo con sistemas modulares y materiales mixtos, permitió explorar soluciones constructivas viables para un entorno de alta exigencia climática como Malalcahuello. Además, la relevancia de mantener un equilibrio entre innovación, contexto y habitabilidad.

PLANTAS ARQUITECTURA
VERSIÓN 1PLANTAS ARQUITECTURA
VERSIÓN 2

RENDERS



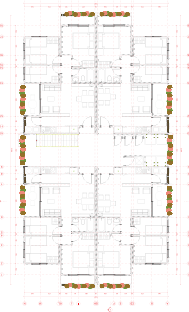
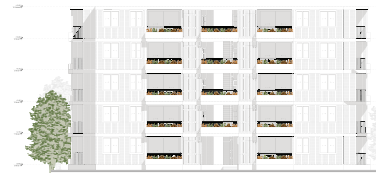
Casa Matanzas

Durante el mes de mayo inicié el desarrollo del proyecto de la vivienda unifamiliar en Matanzas, avanzando en la elaboración de las primeras propuestas de planta a partir de los referentes entregados por los clientes y las características del terreno de 1.456 m² con pendiente y vistas hacia el mar. El trabajo consistió en explorar distintas configuraciones espaciales, jerarquías programáticas y modos de apertura hacia el paisaje, ajustando las alternativas junto al jefe de oficina para lograr mayor claridad funcional y una relación coherente con la forma de habitar que los clientes buscaban.

Las decisiones proyectuales se justificaron principalmente por dos factores: la necesidad de interpretar adecuadamente los referentes y expectativas del mandante, y el cumplimiento de la normativa local, especialmente en aspectos como ocupación del suelo, retranqueos y alturas máximas. Estas condicionantes permitieron fundamentar la distribución interior, la organización de accesos y la relación entre espacios públicos y privados de la vivienda. Posteriormente, se desarrollaron los primeros renders con el objetivo de evaluar orientación, iluminación natural y percepción volumétrica, lo que facilitó tomar decisiones más informadas sobre cómo se vivirían los espacios.

Como conclusión del mes, el proceso permitió establecer una base inicial del proyecto, entendiendo que el diseño debía equilibrar deseos del cliente, normativa y condiciones ambientales del borde costero. Mayo finalizó con mayor claridad proyectual, una propuesta preliminar coherente y una comprensión más consciente de cómo el lugar y la experiencia cotidiana del habitar orientan las decisiones arquitectónicas.

Este mes aprendí lo importante que es escuchar al cliente y traducir sus referentes en decisiones espaciales reales. Trabajar las primeras plantas me hizo entender mejor la relación entre vistas, recorridos y forma de habitar. Los renders me ayudaron a visualizar la propuesta y anticipar sensaciones. Este mes me dio seguridad, criterio inicial y una comprensión más sensible del diseño como experiencia y no solo como dibujo.

PLANTA
VERSIÓN 1PLANTA
VERSIÓN 2PLANTA
VERSIÓN 3PLANTA
VERSIÓN 4

RENDERS

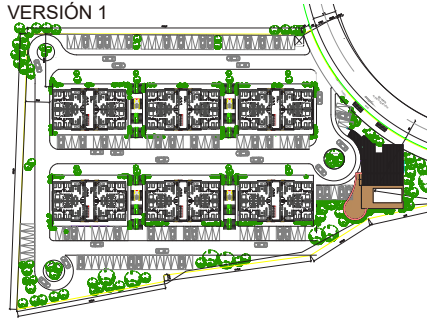
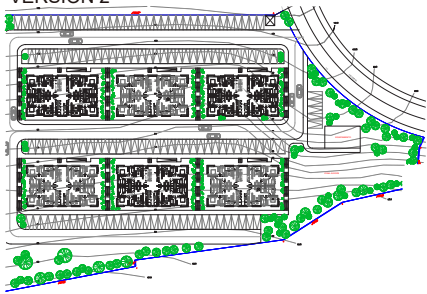
**Edificio Industrializado**

Durante el mes de junio inicié las primeras iteraciones para un edificio industrializado tipo, enfocando el trabajo en la definición de una tipología compatible con la construcción modular. El avance del mes consistió en la búsqueda y análisis de referentes que respondieran a lógicas de repetición, eficiencia espacial y orden estructural, lo que permitió establecer criterios iniciales para circulaciones, núcleos, distribución interior y proporciones habitables. A partir de esta base desarrollé las primeras alternativas de planta, ajustando dimensiones y relaciones programáticas junto al jefe de oficina.

Las decisiones proyectuales se justificaron en función de dos ejes principales: la necesidad de que el diseño se adaptara al sistema modular, y el cumplimiento de la normativa chilena respecto a superficies mínimas, ventilación, accesibilidad y organización funcional. Esto permitió fundamentar cada ajuste no solo desde lo formal, sino desde la viabilidad técnica y regulatoria del edificio. El proceso también evidenció la importancia de pensar la arquitectura desde la modulación, entendiendo cómo las dimensiones del sistema condicionan recorridos, estructuración y coherencia espacial.

Como conclusión del mes, el trabajo permitió establecer las bases del diseño del edificio industrializado, comprendiendo que su desarrollo requiere precisión, síntesis y una coordinación temprana entre normativa, habitabilidad y lógica constructiva. Junio cerró con una propuesta inicial que abrió camino para etapas posteriores, con mayor claridad proyectual y una comprensión más profunda del diseño como sistema integrado.

Este mes me enfrenté por primera vez al diseño de un edificio industrializado, trabajando desde la modulación y la normativa chilena. Buscar referentes compatibles me hizo comprender cómo dimensiones, circulaciones y núcleos responden a una lógica más precisa y coordinada. Desarrollar las primeras plantas me obligó a justificar decisiones y pensar la arquitectura como sistema. Sentí que avancé en rigor, claridad proyectual y capacidad para equilibrar eficiencia, habitabilidad y coherencia técnica.

PLANTA MASTERPLAN
VERSIÓN 1PLANTA MASTERPLAN
VERSIÓN 2

RENDERS



Conjunto Habitacional Industrializado en Ovalle

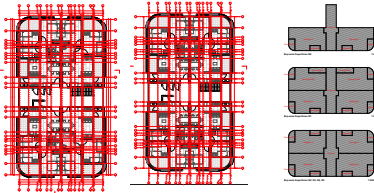
Durante el mes de julio comencé a trabajar directamente en el proyecto del conjunto habitacional industrializado en Ovalle, iniciando con la revisión y actualización del masterplan existente. Aunque este había sido desarrollado años atrás, su ajuste se volvió necesario para responder a la normativa vigente, mejorar la eficiencia de circulaciones y establecer relaciones más claras entre espacios públicos, accesos y áreas comunes. Esta etapa se trabajó en conjunto con el equipo completo de la oficina, lo que permitió contrastar criterios y justificar decisiones desde lo funcional, lo normativo y lo urbano.

Con una base mejorada del masterplan, avancé en el modelado 3D del terreno y del proyecto, lo que permitió comprender con precisión las pendientes, cotas y condiciones reales de implantación. Esta información fundamentó la adaptación de las plantas del edificio industrializado, ajustándolas a orientaciones, accesos y conexiones internas del conjunto. En paralelo, se comenzó a estudiar la propuesta de fachada de manera inicial, explorando proporciones, ritmo y volumetría general. En esta etapa también comenzaron a integrarse estrategias bioclimáticas, considerando control solar, ventilación, asoleamiento y confort ambiental, entendiendo que estas decisiones mejorarían la habitabilidad cotidiana de los futuros residentes.

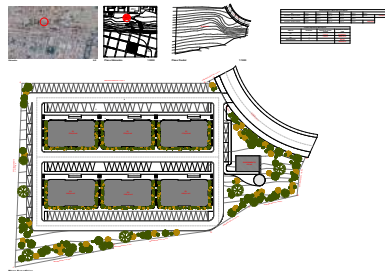
Como principales conclusiones del mes, se consolidó una propuesta más coherente entre normativa, territorio, sistema industrializado y diseño arquitectónico. El proceso evidenció que el proyecto debe abordarse de manera integrada, donde las decisiones de masterplan, plantas, fachadas preliminares y clima no se desarrollan por separado, sino como partes de un mismo sistema que evoluciona y se coordina progresivamente.

Este mes sentí un salto importante al trabajar directamente en el conjunto de Ovalle. Mejorar el masterplan me enseñó a tomar decisiones considerando normativa, implantación y relación con el espacio público. El modelado del terreno y la adaptación de plantas me mostró cómo todo se articula. Incorporar fachadas y estrategias bioclimáticas amplió mi mirada y me hizo entender el proyecto como un todo. Fue un mes de aprendizaje colectivo y crecimiento profesional real.

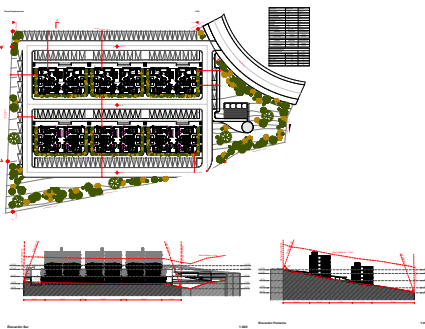
PLANTAS EDIFICIO



PLANTA UBICACIÓN Y SUPERFICIES



PLANTA EMPLAZAMIENTO Y NORMATIVA



RENDERS



Conjunto Habitacional Industrializado en Ovalle

Durante el mes de agosto se finalizó el afinamiento de las plantas del edificio industrializado, ajustándolas a partir del diseño de la fachada. En esta etapa se integraron las curvas al proyecto, incorporándolas como elemento distintivo y coherente con el sello de la oficina Biourban. Este cambio requirió revisar proporciones y encuentros para asegurar que la modulación, la habitabilidad y el sistema constructivo permanecieran compatibles con la geometría curvada. En paralelo, se trabajaron estrategias bioclimáticas vinculadas a orientación, control solar, ventilación cruzada y calidad ambiental interior, integrándolas al diseño para mejorar confort y desempeño sin alterar la lógica modular.

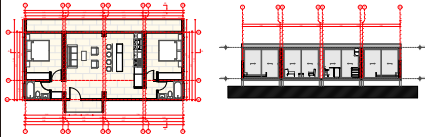
Las decisiones se justificaron en función de tres criterios principales: reforzar identidad arquitectónica mediante el lenguaje curvo característico de la oficina, mejorar la lectura volumétrica del conjunto y asegurar que tanto la adaptación formal como las estrategias bioclimáticas no comprometieran la eficiencia del sistema industrializado ni el cumplimiento normativo. Una vez consolidada esta actualización del proyecto, se inició el desarrollo del anteproyecto para su presentación en la Dirección de Obras Municipales (DOM), recopilando información regulatoria, ajustando planos y preparando la documentación requerida para su revisión.

Como conclusiones del mes, me permitió consolidar una versión del proyecto que integra diseño, modulación, expresión arquitectónica y criterios bioclimáticos de manera coherente. El proceso evidenció que la incorporación de las curvas no solo aportó identidad, sino que también enriqueció la relación entre fachada, organización interna y habitabilidad. Además, el inicio del anteproyecto marcó el paso hacia una etapa más formal y técnica, donde el proyecto comienza a vincularse con los procedimientos y exigencias municipales, abriendo camino para su validación y desarrollo futuro.

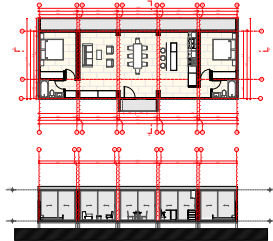
En esta etapa sentí que el proyecto alcanzó un nivel más concreto y articulado. Afinar las plantas a partir de la fachada y sumar las curvas me hizo comprender cómo la identidad arquitectónica transforma la distribución y la experiencia interior. Integrar estrategias bioclimáticas fortaleció mi capacidad de proyectar con conciencia del clima y el confort. Además, iniciar el anteproyecto para la DOM me acercó al proceso real de tramitación y me dio mayor seguridad profesional.

FICHA 07 AVANCE NUMERO 01 MES DE SEPTIEMBRE AÑO 2025 ANTONIA GRASSET

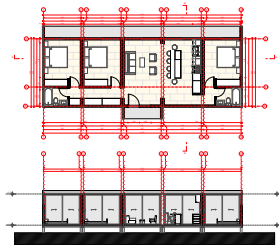
CABAÑA TIPO 1 2D2B 4 MODULOS



CABAÑA TIPO 2 2D2B 5 MODULOS



CABAÑA TIPO 3 3D2B 5 MODULOS



RENDERS



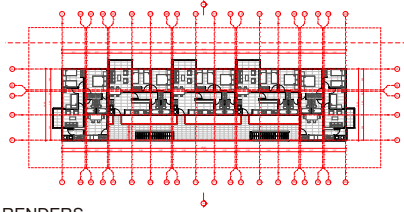
Cabañas Modulares

Durante el mes de septiembre trabajé en el diseño de cabañas modulares, desarrollando tres tipologías distintas: una de 2 dormitorios y 2 baños en 4 módulos, otra de 2 dormitorios y 2 baños en 5 módulos y una tercera de 3 dormitorios y 2 baños también en 5 módulos. El avance del mes se centró en definir el proyecto a partir de módulos funcionales preestablecidos: módulo de pieza + baño, módulo de cocina, módulo de pieza + pasillo, módulo de acceso + living o acceso + comedor, y módulo de estar. Esta lógica permitió organizar las plantas en torno a combinaciones claras y repetibles, facilitando el orden espacial y la eficiencia en superficie.

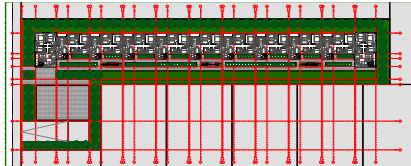
Las decisiones proyectuales se justificaron en función de la necesidad de trabajar con una modulación definida y compatible con la construcción industrializada, asegurando continuidad estructural, simplificación de uniones y repetición productiva. También se revisaron criterios estructurales preliminares para verificar que las configuraciones propuestas mantuvieran estabilidad, coherencia de apoyos y factibilidad de montaje. La comparación entre tipologías permitió evaluar cuál combinación de módulos ofrecía mejor habitabilidad, relación entre espacios y claridad programática según el número de dormitorios y tamaño deseado.

Como conclusiones del mes, septiembre permitió consolidar una metodología de diseño basada en módulos funcionales, demostrando que pequeñas variaciones en la combinación generan resultados espaciales significativamente distintos. El trabajo evidenció que la arquitectura modular requiere precisión, consistencia y criterio para equilibrar habitabilidad, repetición y eficiencia productiva. El cierre del mes dejó tres propuestas claras, comparables y fundamentadas, listas para avanzar hacia etapas de ajuste, representación y evaluación posterior.

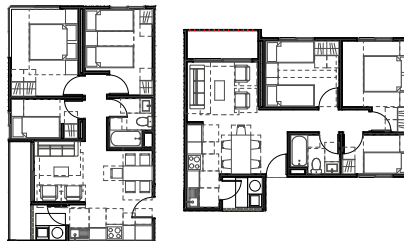
En esta etapa pude profundizar en el diseño modular trabajando con cabañas a partir de combinaciones de módulos definidos. Explorar tres tipologías me ayudó a entender cómo pequeñas variaciones generan distribuciones y formas de habitar distintas. Revisar la estructura y la compatibilidad constructiva me dio más criterio para proyectar con realismo. Sentí que fortalecí mi capacidad de ordenar programas, pensar en eficiencia y diseñar desde la lógica productiva del sistema.

EDIFICIO LA FLORIDA
PLANTA TIPO

RENDERS

EDIFICIO CONCHALI
PLANTA TIPO

TIPOLOGIAS



Edificios Industrializado La Florida y Conchalí

Durante octubre trabajé en dos nuevos edificios industrializados que ya contaban con clientes, lo que cambió bastante la dinámica del proceso. Uno de los proyectos estaba ubicado en La Florida y el otro en Conchalí, cada uno con contextos y necesidades distintas. Mi trabajo se centró en el desarrollo de las plantas, avanzando en varias iteraciones junto a otro arquitecto del equipo, probando configuraciones, ajustando recintos y buscando la mejor manera de compatibilizar las expectativas del cliente con la modulación del sistema.

Las decisiones que fuimos tomando se justificaron tanto por la normativa de cada comuna, que condicionó accesos, distancias y alturas, como por la necesidad de mantener una planta eficiente, clara y fácilmente reproducible dentro del sistema industrializado. Cada iteración permitió afinar circulaciones, mejorar la relación entre espacios y asegurar que las soluciones fueran viables en términos estructurales y productivos.

Como conclusión, octubre fue un mes que amplió mi experiencia en tipologías modularizadas y me enseñó a adaptarme a diferentes contextos urbanos sin perder coherencia técnica o espacial. Trabajar con clientes reales y en equipo me ayudó a tomar decisiones con mayor seguridad y a entender mejor cómo se equilibra lo que se desea, lo que se puede y lo que la normativa permite. Cerré el mes con dos propuestas sólidas, claras y listas para seguir avanzando.

En esta etapa pude trabajar con mayor cercanía al encargo real, diseñando edificios industrializados para clientes específicos. Las iteraciones de planta junto a otro arquitecto me enseñaron a escuchar, comparar alternativas y justificar cada decisión desde la normativa, la modulación y la habitabilidad. Adaptarme a dos contextos distintos también fortaleció mi criterio proyectual. Siento que este mes me dio seguridad para enfrentar proyectos más complejos y trabajar con mayor claridad y confianza.

UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA

DEPARTAMENTO DE ARQUITECTO

SANTIAGO DE CHILE - CHILE



UNIVERSIDAD TECNICA
FEDERICO SANTA MARIA

**EVALUACIÓN DE REQUERIMIENTOS TÉRMICOS, INTEGRACIÓN DE
ESTRATEGIAS BIOCLIMÁTICAS Y DESAFÍOS NORMATIVOS EN LA VIVIENDA
SOCIAL INDUSTRIALIZADA EN ACERO EN LA REGIÓN DE COQUIMBO**

Autor: Antonia Catalina Grasset Pérez

Memoria de titulación para optar al título de Arquitecta

Prof. Referente: Belén Jimenez

28 de Noviembre de 2025