



PONTIFICIA UNIVERSIDAD  
CATÓLICA DE CHILE

FACULTAD DE ARQUITECTURA,  
DISEÑO Y ESTUDIOS URBANOS  
ESCUELA DE ARQUITECTURA UC

# **DISEÑO ARQUITECTÓNICO INTEGRAL DESDE LA INERCIA TÉRMICA A LA VIVIENDA**

Una vivienda nueva para el mejoramiento térmico y energético en  
la ciudad de Valdivia

Por  
Paula Macarena Puentes Nazal

Tesis presentada a la facultad de arquitectura de la Pontificia Universidad Católica de Chile para optar al título profesional de Arquitecto y al grado de Magíster 2021 en Arquitectura Sustentable y Energía

Profesores Guía:  
Alejandra Schueftan Y Felipe Encinas

Mayo, 2021  
Santiago de Chile

## **mase**

MAGÍSTER EN ARQUITECTURA  
SUSTENTABLE Y ENERGÍA



PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CHILE  
FACULTAD DE ARQUITECTURA,  
DISEÑO Y ESTUDIOS URBANOS  
ESCUELA DE ARQUITECTURA UC

# DISEÑO ARQUITECTÓNICO INTEGRAL DESDE LA INERCIA TÉRMICA A LA VIVIENDA

Una vivienda nueva para el mejoramiento térmico y energético en la ciudad  
de Valdivia

Por  
Paula Macarena Puentes Nazal

Tesis presentada a la facultad de arquitectura de la Pontificia Universidad Católica de Chile para  
optar al título profesional de Arquitecto y al grado de Magister 2021 en Arquitectura Sustentable  
y Energía

Profesores Guía:  
Alejandra Schueftan Y Felipe Encinas

Mayo, 2021  
Santiago de Chile

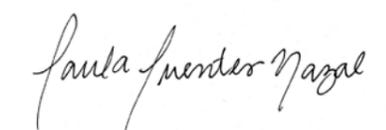
**mase**  
MAGÍSTER EN ARQUITECTURA  
SUSTENTABLE Y ENERGÍA



© 2021, Paula Macarena Puentes Nazal

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo la cita bibliográfica que acredita al trabajo y a su autor

Mayo, 2021

A handwritten signature in black ink, reading "Paula Fuentes Nazal". The signature is written in a cursive style with a large initial 'P' and 'F'.

## **ABSTRACT**

En la región de Los Ríos se presentan una serie de problemáticas de distinto carácter vinculados a la pobreza energética, que repercuten en el bienestar de las personas. La pobreza energética corresponde a la desigualdad en el acceso a energía de alta calidad, considerada así a la que dispone de un suministro estable y no presenta un riesgo a las personas, que enfrentan los hogares para cubrir sus necesidades y lograr desarrollarse adecuadamente en su contexto. En la ciudad de Valdivia, un 95% de las viviendas actuales poseen sistemas de calefacción ineficientes, como lo son la estufa a leña y la de combustión lenta, por lo que el nivel de calidad necesario que requiere el hogar para no encontrarse en condiciones de pobreza energética se ve vulnerado. Tales sistemas tienen una carcasa metálica que no retiene el calor y generan una mala combustión que produce altas emisiones de material particulado al ambiente. Esta combustión se produce debido al grado de control que tiene el usuario sobre el acceso de aire a la estufa, y el gran contenido de humedad en la leña utilizada como combustible, que es más asquible que aquella que cumple con un proceso de secado. Por su parte, las viviendas cuentan con una espacialidad interior que dificulta la distribución de calor homogénea, y están conformadas de una estructura liviana que carece de la suficiente inercia térmica, entendida como la capacidad que tienen los materiales para almacenar el calor proporcionado e ir liberándolo paulatinamente, para mantener una temperatura estable. En la presente tesis se establece una investigación proyectual sobre un nuevo diseño arquitectónico integral para la vivienda valdiviana, que vincula los sistemas de calefacción, estructura y espacialidad en su formulación. La propuesta es desarrollada a partir de la calefacción en función a la inercia térmica, que define las estrategias y criterios a seguir en la construcción de la configuración espacial. A través del estudio en la implementación de tales sistemas en el diseño, se inicia una investigación que traza el camino a la configuración de la nueva vivienda con mejor eficiencia y confort térmico, que considera las formas de habitar propias del lugar, favoreciendo la calidad de vida de las personas.

### **CONCEPTOS CLAVES:**

EFICIENCIA ENERGÉTICA — VIVIENDA — ESTUFA A LEÑA — CONFORT TÉRMICO — INERCIA TÉRMICA

<b>0.</b>	ABSTRACT .....	05
<b>1.</b>	INTRODUCCIÓN .....	08
1.1	La pobreza energetica en el sur de Chile .....	09
1.2	Formulación de la investigación .....	11
1.2.1	Definición del problema .....	11
1.2.2	Pregunta de investigación .....	14
1.2.3	Hipótesis .....	14
1.2.4	Objetivos General .....	14
1.2.5	Objetivos Específicos y Metodología .....	15
<b>2.</b>	MARCO TEORICO: LA EFICIENCIA TERMICA EN LA VIVIENDA .....	16
2.1	Confort Térmico y Diseño Arquitectónico .....	17
2.2	Evolución Sistemas de Calefacción .....	18
2.3	Transición Energética en Valdivia .....	19
2.4	Diseño Integral .....	21
2.5	Inercia Térmica .....	22
<b>3.</b>	ANÁLISIS DE LA VIVIENDA EN LA REGION DE LOS RIOS .....	24
3.1	Brechas del Sistema Térmico en la Vivienda .....	25
3.2	Fenómenos Térmicos .....	28
3.3	Levantamiento Vivienda Referencial .....	29
3.3.1	Análisis Catastro CIVA .....	29

3.3.2	Formas de Vida del Usuario .....	29
3.3.3	Estudio de Mercado Residencial .....	34
<b>4.</b>	IMPLEMENTACIÓN DEL DISEÑO ARQUITECTONICO INTEGRAL .....	36
4.1	Propuesta Nueva Vivienda .....	37
4.2	Sistema Constructivo con Almacenamiento Energía Térmica Integrados .....	38
4.3	Sistema de Calefaccion “Estufa Rocket” .....	41
4.4	Espacialidad Interior de la Vivivenda .....	42
4.5	Emplazamiento Conjunto Habitacional en Valdivia .....	44
<b>5.</b>	DISTRIBUCIÓN Y OSCILACIÓN DE TEMPERATURA EN LA VIVIENDA INTEGRAL .....	50
5.1	Análisis Comparativo de la Vivienda .....	51
5.2	Análisis de Datos .....	52
5.3	Conclusiones .....	55
<b>6.</b>	CONCLUSION .....	56
<b>7.</b>	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	60
<b>8.</b>	ANEXOS .....	65

# INTRODUCCIÓN

## 1.1 LA POBREZA ENEGETICA EN EL SUR DE CHILE

En el sur de Chile, gran parte de los hogares vive bajo condiciones de pobreza energética, entendida como el acceso no equitativo de los hogares a energía de calidad, para cubrir sus necesidades básicas y fundamentales, influyendo de gran manera en el desarrollo social y económico familiar (Calvo et al. 2019). El contexto de pobreza energética en la zona sur del país está ligado fuertemente a la ineficiencia de las viviendas y sus sistemas de calefacción, que sitúa la contaminación atmosférica como una de sus consecuencias de mayor envergadura. Esta repercute negativamente en la de la población, en especial sobre aquellas zonas donde la leña es el principal combustible para la calefacción, como el sector residencial urbano de la Región de Los Ríos.

Los Planes de Descontaminación Atmosférica (PDA) propuestos por el Ministerio del Medio Ambiente son instrumentos de gestión ambiental redactados acorde a cada localidad, que tienen como desafío principal disminuir la alta concentración de MP2,5 (material particulado respirable) presente en varias ciudades del país. Las ciudades con alta concentración de MP2,5 emiten un promedio anual superior a 20 (ug/m3), que equivale al valor máximo de la norma nacional establecida por la Superintendencia del Medio Ambiente (SMA). Valdivia forma parte de este grupo de ciudades, produciendo un promedio trianual de 37 (ug/m3) (Figura 01), siendo declarada zona saturada en el año 2014. Por lo cual, se diseñó un PDA específico para la ciudad, imperativo en la salud y bienestar de la población ante el excesivo nivel de contaminación (MMA 2014, 2019).

**PROMEDIO TRIANUAL DE CONCENTRACIONES DE MATERIAL PATICULADO FINO (MP2.5) EN ESTACIONES DE MONITOREO DEL PAÍS (2016 - 2018)**

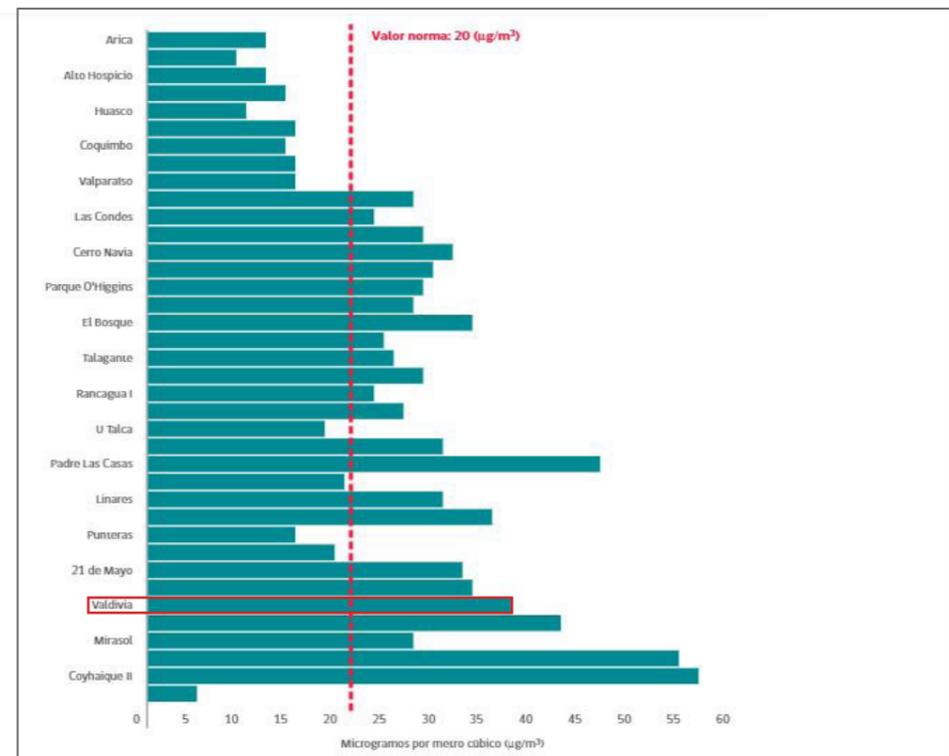


Figura 01: Promedio Trianual MP 2,5 ( 2016-2018 )

Fuente: MMA, en base a datos del SINCA 2018.

Los altos niveles de contaminación atmosférica en Valdivia están asociados al hecho de que la ciudad, junto con ser la más grande de la región con una población de 143 mil habitantes aproximadamente (Demographic Statistics Database, 2017), es el centro de consumo de leña más importante, consumiendo 275 mil metros cúbicos sólidos al año (Reyes, 2017). La primacía de la leña ha perdurado a lo largo de los años gracias a su bajo costo de \$22 por kWh que la convierte en el combustible más barato, seguido por el pellet que con \$44 por kWh tiene el doble del valor de la leña (In — Data SpA, 2019) (Figura 02). Además, en busca del mayor ahorro, la leña utilizada muchas veces presenta altos niveles de humedad, ya que es más asequible que aquella que cuenta con un proceso de secado.

Así, este combustible usado por los ineficientes sistemas de calefacción origina en gran medida la contaminación tanto interior como exterior de las viviendas en la ciudad que, paralelamente, poseen envolventes térmicas livianas con un estado de construcción precario. Estas construcciones son conservadas hasta el día de hoy dado a que el 80% fueron edificadas antes del año 2000 por lo que no fueron ni están obligadas a cumplir con la normativa térmica (Ortega et al. 2016). En conjunto, dicho escenario genera condiciones de pobreza energética en más de un 52% de la población, el cual gasta un 15% de sus ingresos o más en energía que no siempre es de calidad (Schueftan, Sommerhoff, & González 2016).

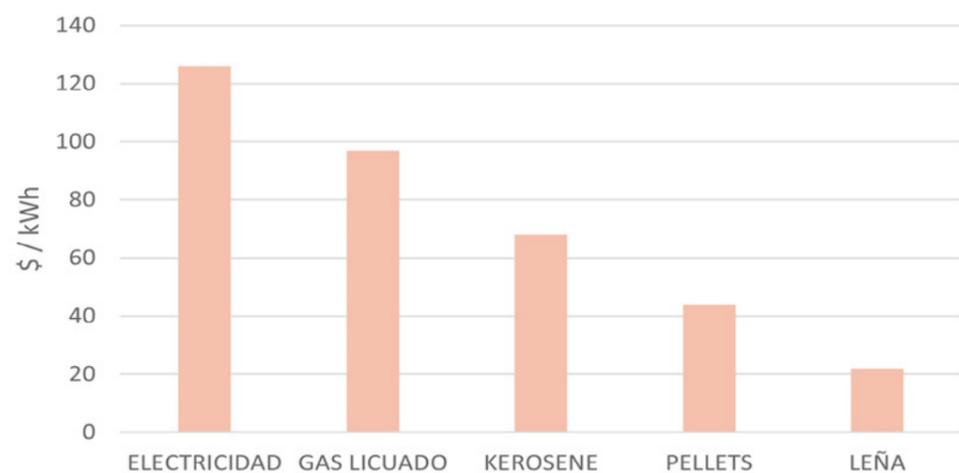


Figura 02: Costos Comparativos Sistemas de Calefacción

Fuente: (In — Data SpA, 2019)

Dentro de los programas que proporciona el PDA, para atender la situación a la que se enfrenta la población, sobresalen 3: el subsidio para el recambio de calefactores, la certificación de la leña y el reacondicionamiento térmico de viviendas. Estos no han tenido el efecto esperado, debido a que teniendo distintos potenciales todos han resultado ser limitados por la sesgada forma de responder al problema, atendiendo por separado los factores que componen una problemática compleja (Ortega et al., 2016). Por lo tanto, la evidente multidimensionalidad de la problemática y su contexto precisa que esta sea abarcada formulando soluciones que contemplen todos sus alcances y dimensiones, sin invisibilizar o ignorar aquellos que presentan dificultades en el proceso.

## 1.2 FORMULACION INVESTIGACION

### DEFINICION DEL PROBLEMA

En el actual y complejo contexto de pobreza energética que se visualiza en La Región del Los Ríos, un factor de crítica influencia es la deficiencia térmica que se presenta en sus viviendas. Con el uso de ineficientes sistemas de calefacción, la temperatura interior de los recintos se ve perjudicada provocando un aumento en la necesidad de calefacción, lo que implica un mayor consumo energético y un alto consumo de leña, generando así una elevada contaminación atmosférica que afecta significativamente el bienestar de las personas. El aumento de la demanda energética en muchas ocasiones esta fuera de las posibilidades económicas de las familias, por lo que se ven sometidas a vivir gran parte del tiempo fuera del rango de confort térmico, por no poder solventar sus gastos.

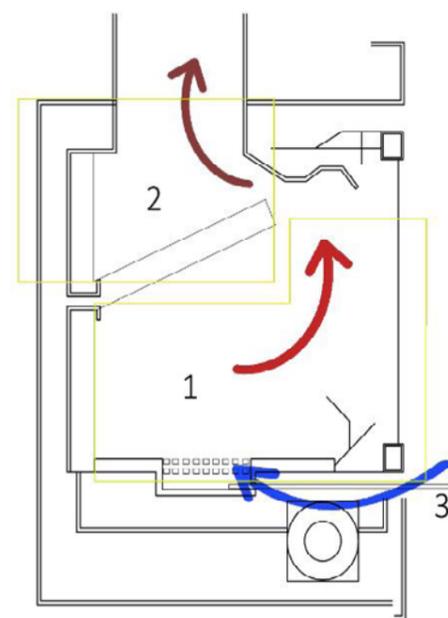
Dentro de los sistemas de calefacción de baja eficiencia presentes en las viviendas, predominan la estufa con templador (57%) y la cocina a leña (39%) (Reyes 2017) (Figura 03). Estos equipos se vinculan con la dependencia económica que existe sobre la leña por ser el combustible más asequible, supeditando su utilización en el 95% de las viviendas en la ciudad de Valdivia (Reyes 2017). Ahora bien, producto de la forma de operar que el usuario efectúa comúnmente sobre el equipo, en el cual el individuo cierra el tiraje del mecanismo limitando la entrada de aire a la cámara primaria produciendo una combustión ineficiente en la cámara secundaria que emite altas cantidades de material particulado, se genera una combustión altamente contaminante (Ortega et al. 2016) (Figura 04). La razón por la que llevan a cabo esta forma de manejo es por las ventajas operativas que ofrece, mejorando la eficiencia global del calefactor junto con una mayor duración de la leña, a la vez que ayuda a disminuir su consumo y la frecuencia del encendido.



Figura 03: Sistemas de Calefacción (Izq.: Cocina a Leña / Dcha.: Estufa con Templador Combustión Lenta) Fuente: (Ortega et al. 2016)

Diversos estudios realizados en Valdivia, como el trabajo llevado a cabo por Shueftan y González en el 2014 y la investigación publicada por el Instituto Forestal (INFOR) en el 2018, manifiestan la relación que existe entre la demanda para calefacción de las viviendas, su tamaño en m<sup>2</sup> y el ingreso socio-económico de las familias. El análisis efectuado sobre 74 viviendas unifamiliares indica que cuando aumenta la superficie de la vivienda de 50 m<sup>2</sup> a 100 m<sup>2</sup>, el consumo promedio disminuye de 270 kWh/m<sup>2</sup>año a 150 kWh/m<sup>2</sup>año (Figura 05).

Similarmente, el estudio del INFOR evidenció que en lo que se refiere a calefacción, el consumo de energía cambia conforme al tamaño de la vivienda, llegando a 14.400 kWh/año en viviendas con superficies entre los 60 a 120 m<sup>2</sup>, en las que habitan generalmente familias de ingresos medios. Este grupo de habitantes establece un enfoque de interés, debido a que aproximadamente un 45% de las viviendas existentes en Valdivia poseen tales dimensiones, y por lo tanto es el grupo que presenta un mayor consumo de leña distribuido en la ciudad (Encinas et al. 2020).



1. Cámara Primaria
2. Cámara Secundaria
3. Tiraje

Figura 04: Corte Estufa a Leña Formulación Propia

Esta problemática mixta, formada por las múltiples dimensiones de la vivienda y la articulación de las deficiencias que cada una de ellas expone, requiere ser abarcada desde una visión holística que los programas públicos hoy en día no logran alcanzar, incluso aquellos programas que destacan como el Plan de Alertas Ambientales y Sanitarias, el Plan de Calefacción Domiciliaria Sustentable, el Programa de Certificación de Leña y el Programa de Rehabilitación Térmica de Viviendas.

En primer lugar, el Plan de Alertas Ambientales y Sanitarias, al no considerar las distintas situaciones económicas existentes en Valdivia, propone prohibir el uso de leña para disminuir las emisiones provocando que las familias que no pueden acceder a otro combustible no cuenten con calefacción. Mientras que, el Plan de Calefacción Domiciliaria Sustentable propone el cambio del calefactor antiguo por uno más eficiente que cumpla con la norma de emisión de material particulado. Pero estos nuevos equipos mantienen el tiraje voluntario en el mecanismo, evidenciando que esta estrategia no toma en consideración el papel del usuario sobre el proceso de combustión, y por lo tanto tiene un efecto difícil de estimar ya que depende del comportamiento humano.

Por otro lado, el Programa de Certificación de Leña aumenta el precio de este combustible al requerir que pase por un proceso de secado aplicado que reduciría su porcentaje de humedad a un 25% para cumplir con el estándar. Esta certificación es de importancia debido a que la leña seca ayuda a disminuir las concentraciones de material particulado producido en su quema, y el clima de la ciudad, por el contrario, ayuda a aumentar su porcentaje de humedad. Sin embargo, este programa es una iniciativa privada no exigida por norma, permitiendo que el usuario tienda a optar por la leña tradicional que no cuenta con certificación ya que es más económica.

Por último, el programa de rehabilitación térmica de viviendas, pese a tener los efectos positivos más significativos, también presenta defectos al no contemplar el desempeño en obra ni el efecto rebote. El programa entrega un subsidio enfocado a los grupos más vulnerables, pero las obras son ejecutadas posteriormente por distintas empresas constructoras privadas que evalúan y priorizan en las intervenciones, desarrollando una ejecución en obra deficiente. Conjuntamente, una vez realizado el reacondicionamiento, no se consigue ahorrar lo proyectado en un inicio ya que, con las mejoras en la envolvente, el usuario tiene la oportunidad de aumentar la temperatura interior de su hogar sin que descienda, produciéndose un efecto rebote en el que el consumo aumenta (Ortega et al., 2016).

De esta manera, estos programas y políticas públicas junto a otras estrategias dividen la problemática y atacan cada inconveniente por separado sin comprender la globalidad de la situación (Figura 06), teniendo un efecto adverso al deseado, aumentando las condiciones que propician la pobreza energética y creando así el desafío que inicia la investigación.

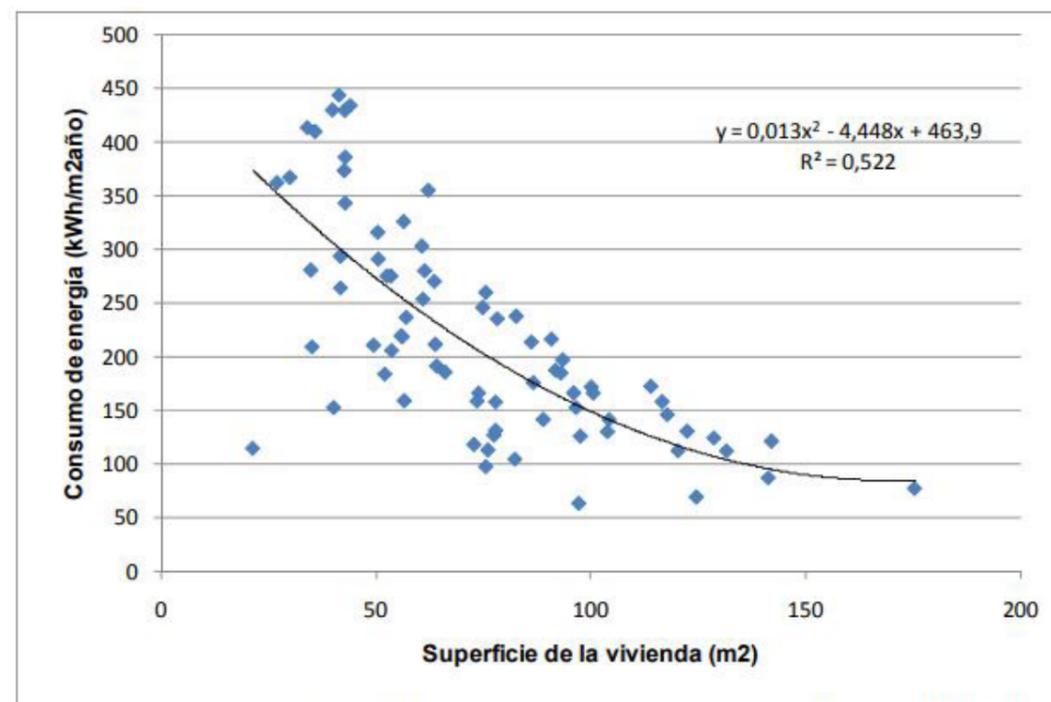


Figura 05: Consumos Específicos 74 Viviendas Unifamiliares

Fuente: (Shueftan & Gonzales, 2014)

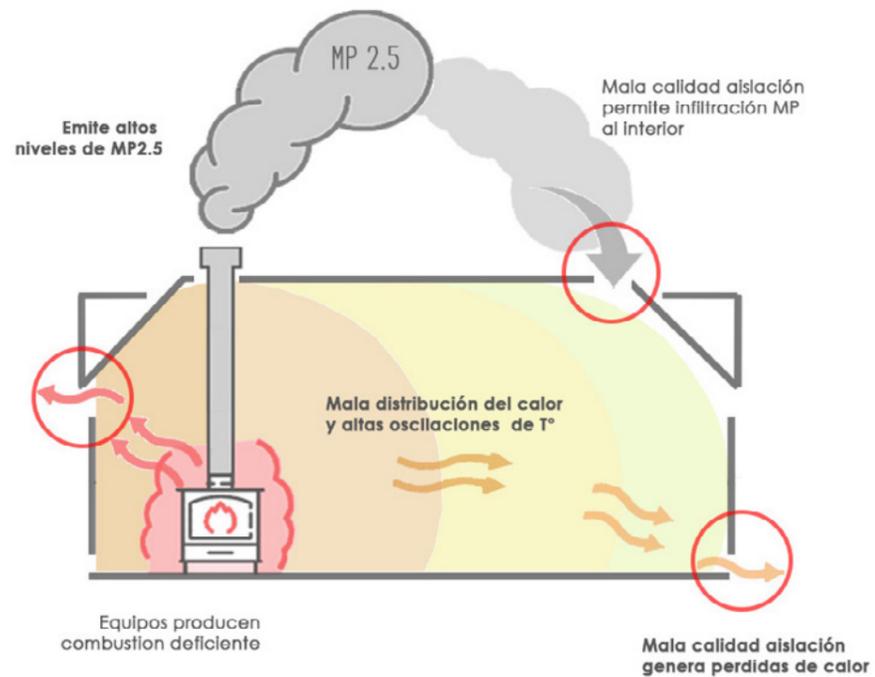


Figura 06: Esquema Problemáticas

Formulación Propia

## PREGUNTA DE INVESTIGACION

¿Cómo responder al ineficiente sistema térmico en las viviendas de la Región de Los Ríos mediante su replanteamiento arquitectónico transversal, para mejorar el habitar del usuario sin someterlo a un estrés económico en el presente contexto de pobreza energética?

## HIPOTESIS

Una nueva vivienda desarrollada a partir de un diseño arquitectónico integral que comprenda la multidimensionalidad de la problemática térmica existente en la región de Los Ríos, configurando su estructura y calefacción en base a la inercia térmica, lograría mejorar el confort térmico y las condiciones de habitabilidad existentes, al igual que disminuir la contaminación atmosférica generada, con el objetivo de reducir la pobreza energética en los hogares.

## OBJETIVO GENERAL

Desarrollar una estrategia de diseño arquitectónico integral, en base a la inercia térmica, que aborde la vivienda y condicione tanto su calefacción como sus espacios, para reducir las emisiones de material particulado y las oscilaciones de temperatura que experimentan las viviendas en la ciudad de Valdivia por culpa del ineficiente sistema de calefacción utilizado actualmente, de manera que se reduzcan las condiciones que favorecen a la pobreza energética.

## OBJETIVOS ESPECIFICOS Y METODOLOGIA

### 1. ANALISIS DE LA VIVIENDA EN LA REGION DE LOS RIOS

Analizar las características de la vivienda en la ciudad de Valdivia relacionadas a su sistema de calefacción e identificar las formas de vida propias del usuario que configuran los patrones de habitabilidad en su interior.

#### - Sistema de Calefacción Actual

Determinación de las brechas presentes en los sistemas de calefacción a través de revisión bibliográfica

#### - Formas de Vida Actuales

Diagnóstico de la habitabilidad de la vivienda mediante entrevista a usuarios y definición tipología referencial, junto con el análisis del catastro de tipologías de vivienda realizado por el Centro de Investigación de la Vivienda Austral (CIVA) de la Universidad Austral de Chile

### 2. VIVIENDA Y EFICIENCIA TERMICA

Definir una estrategia de diseño arquitectónico que aborde el análisis de la vivienda y su sistema de calefacción de manera integral, para resolver las problemáticas detectadas.

#### - Formas de integración a la arquitectura

Revisión y estudio bibliográfico de referentes sobre la relación entre la arquitectura y los mecanismos de calefacción.

#### - Masa Térmica

Elección de referente con masa térmica acorde a las variables estudiadas y análisis de su funcionamiento en base a revisión bibliográfica y estudios de su aplicación.

### 3. DISTRIBUCION Y OSCILACION DE TEMPERATURA EN LA VIVIENDA INTEGRAL

Demostrar la potencialidad del diseño arquitectónico propuesto mediante la evaluación de su incidencia en la distribución de calor y las oscilaciones de temperatura en el interior de la propuesta, en comparación con la vivienda actual.

#### - Distribución del Calor

Comparación de la distribución del calor al interior en la propuesta y en la vivienda actual, mediante sus modelos en el programa DesingBuilder.

#### - Oscilaciones de Temperatura

Comparación entre las oscilaciones de temperatura interior en la propuesta y en la vivienda actual, mediante las mediciones de ambos modelos en el programa DesingBuilder.

## MARCO TEORICO: LA EFICIENCIA TERMICA EN LA VIVIENDA

### 2.1 CONFORT TÉRMICO Y DISEÑO ARQUITECTONICO

El fenómeno de la pobreza energética, definido con anterioridad, se conforma dentro de un marco multidimensional complejo que ha requerido precisar su definición e indicadores de medición para lograr una clasificación adecuada de los hogares, consciente a los diferentes contextos territoriales y socioculturales en los que se puedan encontrar. Esta definición engloba tres criterios de suma importancia: el acceso, la equidad y la calidad (Urquiza et al., 2019) que le otorgan una perspectiva holística al análisis del hogar, destacando lo crucial que sería tener una lectura similar en el diseño de la vivienda desde su proceso de formulación.

En la actualidad, el diseño arquitectónico contempla la importancia del confort térmico desde los inicios de la proyección. Factores como una temperatura estable y una buena distribución del calor al interior del recinto condicionan la sensación térmica de las personas, incidiendo en su calidad de vida (Schueftan & González, 2016). Sin embargo, este componente no ha condicionado la incorporación de los sistemas de calefacción que, por el contrario, suelen ser instalaciones posteriores a las cuales generalmente se les dejan espacios con dimensiones estándares para su ubicación. La adecuada implementación de un sistema de calefacción define el confort térmico y el rendimiento energético de la vivienda (Martinopoulos et al., 2018), por lo que su vinculación al diseño arquitectónico es imperativa y de suma importancia.

La perspectiva integral en el diseño revela su potencialidad al abrir un abanico de posibilidades en la formulación de soluciones energéticas para edificaciones más sustentables. La multidisciplinariedad necesaria en este tipo de diseño puede ser abarcada desde la sustentabilidad, con un enfoque tanto social como tecnológico. Desde el usuario se crean nexos entre los distintos elementos térmicos, estructurales y espaciales del hogar (Figura 07), los cuales se moldean entre sí ya que las prácticas como el consumo de energía en el hogar y la regulación de la temperatura están interrelacionadas (Lorek & Spangenberg, 2019). En este escenario, es imprescindible que el diseño de la vivienda cuente con un grado de adaptabilidad y flexibilidad que permita que la configuración espacial y estructural responda a los requisitos del usuario al combinarse con sus actividades diarias del habitar (De Paris & Lopes, 2018) que se transforman en patrones.

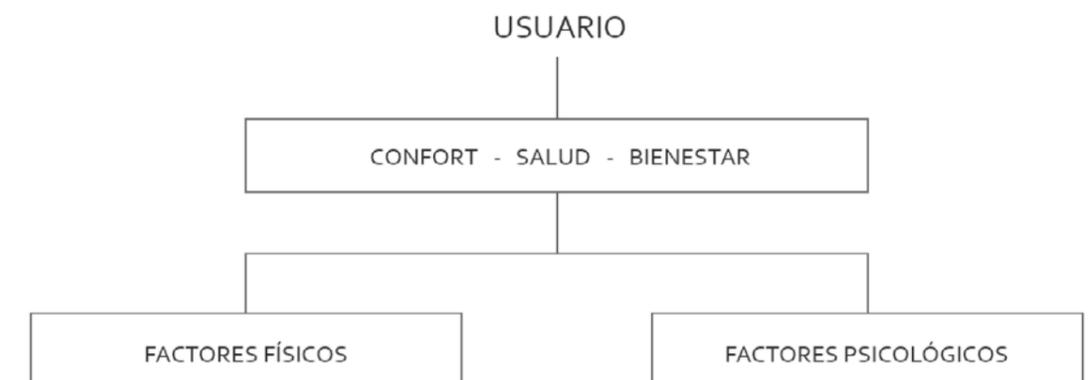


Figura 07

Fuente: Elaboración Propia

Los patrones, al ser la relación entre un contexto determinado, cierto sistema de fuerzas que ocurren repetidas veces en ese contexto, y cierta configuración espacial que permite a esas fuerzas desenlazarse en ese contexto (Mata Botella, 2002), advierten que la configuración de una vivienda debería resolverse teniendo en cuenta las formas de habitarla. La flexibilidad se origina en la correcta implementación de los sistemas que componen la edificación e integra sus diferentes variables desde las de menor hasta las de mayor escala. Así, se refleja en la flexibilidad tecnológica y su relación con las técnicas de construcción e instalaciones permitiéndole adaptarse funcional y/o estructuralmente a las necesidades del usuario, por lo que es fundamental la investigación de las nuevas estrategias que evolucionan desde los materiales, las innovaciones tecnológicas y los métodos de implementación (De Paris & Lopes, 2018).

La creciente conciencia de los problemas ambientales en la arquitectura sostenible logra que el desarrollo de proyectos sustentables evolucione hacia una integración de la arquitectura, la energía y la tecnología, con un enfoque basado en los sistemas y en las mejoras del confort térmico. Este avance, que se desarrolló en torno a una interacción crítica entre la arquitectura y la tecnología, establece especial énfasis en la toma de un enfoque holístico en la arquitectura sostenible sobre los materiales, los sistemas de energía, el confort humano, la respuesta del sitio, etc. (Coma Bassas et al. 2020).

## 2.2 EVOLUCION SISTEMAS DE CALEFACCIÓN

A partir de la interacción entre la arquitectura y la tecnología para proyectar la vivienda moderna, es de suma importancia asumir la presencia de las máquinas y el espacio que estas exigen, para comprender como integrarlas. Durante las últimas décadas, los sistemas de calefacción en la arquitectura sustentable han sido abordados desde diferentes enfoques, siempre atendiendo a la intención de conservar energía, responder al clima, brindar confort y reducir la contaminación.

Los arquitectos Ester C. Bassas, Joanne Patterson y Phillip Jones realizaron “Una revisión sobre la evolución de la arquitectura sustentable” iniciando desde la década del 1950 hasta el 2020 (Figura 08). Esta revisión da a conocer que nuevas tecnologías como la calefacción central, que cuentan con distribución del calor, y el aire acondicionado surgieron en la década de 1960 sin preocupaciones por su posible incidencia en el medio ambiente. Sin embargo, a finales de los 60, aparecieron los conceptos de confort y eficiencia, que generaron un creciente interés en fuentes de energía alternativa en la década del 1970.

La integración arquitectónica tanto en lo formal como lo estético no es considerada, hasta que, en 1980, para medir el rendimiento energético, se empezó con el modelado arquitectónico que resulto en construcciones que responden al clima y tecnologías energéticamente eficientes con diseños a partir de la energía solar, la ventilación natural y la masa térmica para el almacenamiento y estabilidad del calor.

Al mejorar la técnica del modelado y el avance de softwares, que les permitió a los arquitectos e ingenieros reducir el riesgo en el diseño y crear estructuras complejas, el enfoque en 1990 se dirigió hacia una interacción crítica entre la arquitectura y la tecnología en el diseño de elementos constructivos junto con las tecnologías activas y dinámicas. El concepto de la “huella de carbono” apareció en el 2000, en busca de soluciones a los problemas que generan estas emisiones y fortalecan la idea de una arquitectura baja en carbono como un enfoque en el diseño. Así, desde el 2010, se promueve la energía procedente de fuentes renovables y el almacenamiento de energía integrado para alcanzar autosuficiencia (Coma Bassas et al. 2020), instaurando la importancia actual sobre el estudio de estas fuentes de energía, y sus alcances.

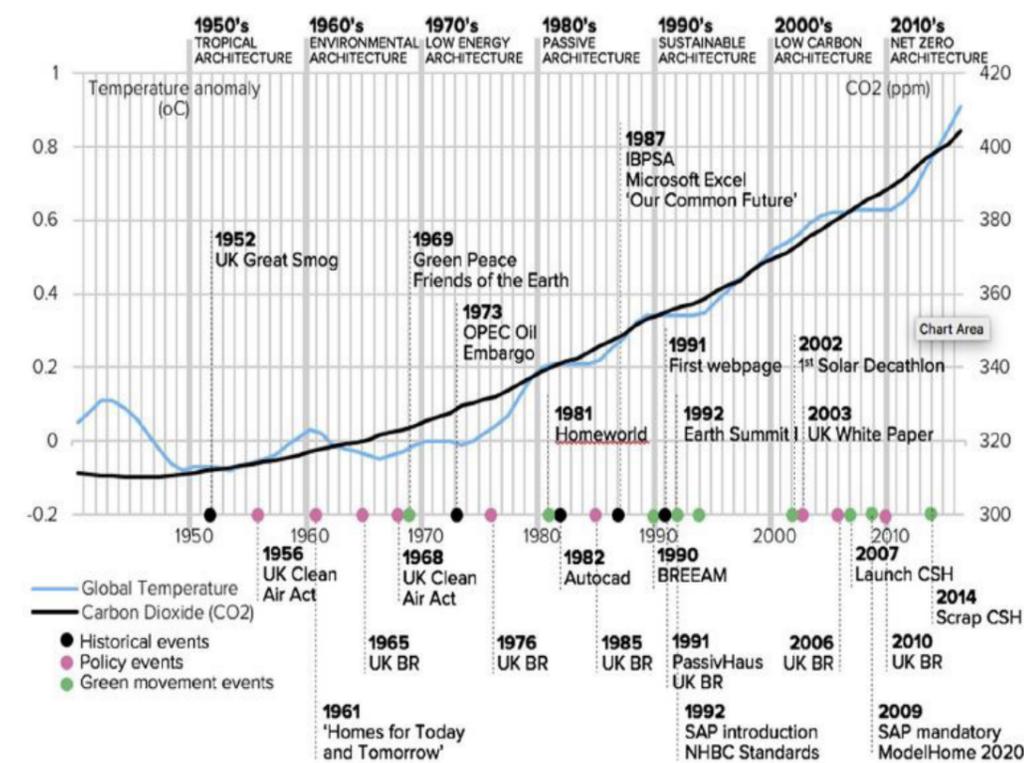


Figura 08: Evolución Histórica de la Arquitectura "Verde"

Fuente: (Coma Bassas et al. 2020)

## 2.3 TRANSICIÓN ENERGETICA EN VALDIVIA

Hoy en día el uso de energías renovables en Chile es alto, concentrándose principalmente en los combustibles provenientes de la madera. Al sur del país, gracias a un clima con inviernos fríos y lluviosos, el consumo de leña está fuertemente arraigado a la cultura y un 95% de los hogares consumen leña para la calefacción y la cocina (Reyes, 2017). A pesar de presentar una gran ventaja sobre otros combustibles gracias a su fácil acceso y bajo costo (Figura 09), las autoridades quieren eliminar la primacía de la leña como combustible ya que comúnmente es empleada con un alto

contenido de humedad en ineficientes equipos de calefacción, como la estufa con templador o la cocina a leña, instalados dentro de viviendas con aislaciones de baja calidad, generando grandes emisiones de MP 2,5 que afecta negativamente la salud y bienestar público (Boso et al. 2020).

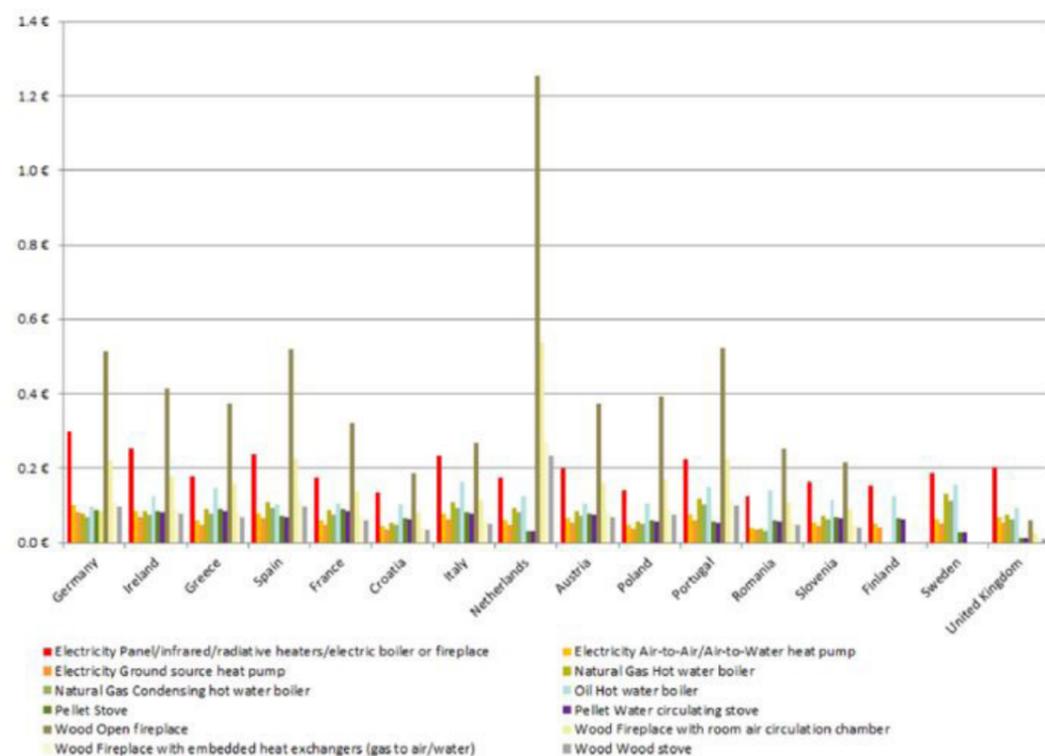


Figura 09: Precios opciones de Calefacción en países de la UE.

Fuente: (Martinopoulos et al. 2018)

Sin embargo, en el contexto de la ciudad de Valdivia, una transición energética que implique sustituir la leña con otros combustibles no derivados de la madera, paradójicamente, aumentaría los niveles de pobreza energética. Primeramente, se elevarían los gastos generales de calefacción, ya que el segundo combustible más barato es el pellet y tiene un costo de \$22 por kWh superior al de la leña, con un costo total de \$44 por kWh. Del mismo modo, el gas licuado tiene un costo de \$97 por kWh sobrepasando al de la leña en \$75 por kWh (In — Data SpA, 2019). Reprimir su uso generaría desenlaces sumamente perjudiciales y de mayor impacto que el estado en que la ciudad se encuentra hoy, debido a que tiene mayores alcances de los que se le atribuyen a primera vista. El cambio de combustible llevaría a una mayor deforestación, ya que los agricultores no tendrían el incentivo económico para mantener los bosques, al igual que a un aumento en el desempleo, al eliminar una gran cadena laboral que surge a partir de este (Reyes et al., 2015). Más aun, causaría que los hogares dupliquen su gasto promedio anual en calefacción (Figura 10), elevando los niveles de pobreza energética del 60% de las viviendas a un 80%, lo que aumentaría la cantidad de población que no puede acceder a una calefacción adecuada y en consecuencia ascendería la tasa de problemas de salud en ella (Reyes et al., 2015).

Tal desenlace, inadvertido cuando se involucra solo un ángulo de aproximación, como el de que la leña es perjudicial ya que produce altos niveles de contaminación, estipula las razones por las que prohibir el uso de la leña como combustible no es una medida conveniente a seguir. En cambio, considerando que el sector residencial de Valdivia depende energéticamente de los combustibles provenientes de la madera, una transición energética que fomente el uso eficiente de la biomasa forestal no enfrentaría tales consecuencias.

Una “escalera de biomasa”, en lugar de una transición energética que se aleje del uso de la leña, es considerada como estrategia en países con políticas forestales y alta disponibilidad de recursos para poder involucrar el desarrollo de sistemas que utilizan este combustible, contribuyendo significativamente a cumplir no solo con necesidades energéticas, sino también en el bienestar humano (Reyes et al., 2015). Esto demuestra nuevamente que el problema de la pobreza energética es uno que abarca múltiples dimensiones y por lo tanto requiere de una perspectiva holística.

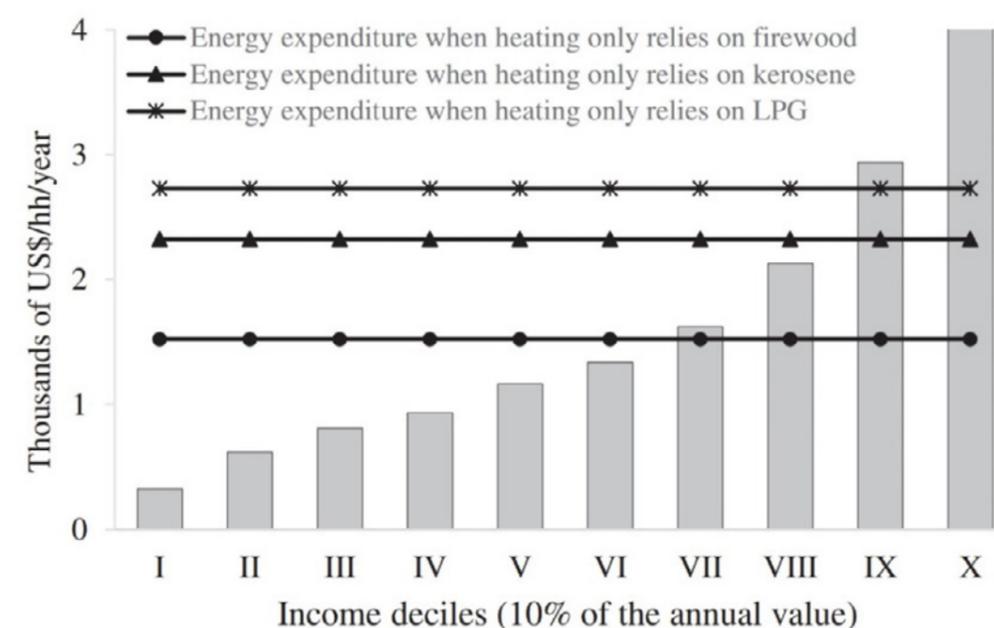


Figura 10: Deciles de ingreso (10% del valor anual)

Fuente: (Reyes et al., 2015)

## 2.4 DISEÑO INTEGRAL

A fin de cambiar las inadecuadas condiciones térmicas actuales mencionadas con anterioridad, la problemática es abordada desde la reformulación del sistema involucrado, para así alcanzar una mayor eficiencia aprovechando el uso de combustibles renovables. El planteamiento de un sistema que tenga en consideración las características mencionadas respecto al mecanismo de calefacción, el combustible, el confort del usuario y su bienestar, la temperatura interior, entre otros,

logrando las necesidades funcionales y de diseño al mismo tiempo que sea efectivo y de bajo costo, es claramente un reto. Es de suma relevancia que la decisión sea basada tanto en criterios de disponibilidad del combustible, costo, instalación e impacto ambiental, como en la incorporación de los parámetros culturales y sociales. Para el buen confort térmico de la vivienda es necesario un diseño arquitectónico integral entre los sistemas, la estructura y la calefacción, que sea consecuente a su contexto.

En el marco propio de las viviendas en Valdivia, la cotidianidad de las familias se desarrolla en su reunión en torno a la estufa a leña, convirtiendo a esta fuente de energía y calor en el centro del habitar. La búsqueda del cambio en la fuente de energía, el uso de combustibles renovables, el ahorro en la energía y la reducción en las oscilaciones drásticas de la temperatura interior, son factores claves a considerar en el diseño de las viviendas. Por esto, desde el planteamiento de la calefacción, la inercia térmica es un concepto que tiene la potencialidad de abarcar todos estos aspectos, teniendo un impacto significativo en el comportamiento termodinámico de un edificio. La inercia térmica adicional de un edificio puede aumentar su comodidad y reducir la demanda energética si se considera siempre los parámetros que influyen en su contribución: propiedades geométricas, patrones de uso y datos climáticos locales (Verbeke & Audenaert, 2018).

## 2.5 INERCIA TERMICA

De esta manera, entre las variadas estrategias existentes para el mejoramiento de la eficiencia en una construcción, y siendo la temperatura interior de un recinto dependiente a la geometría de éste (Kalmár & Kalmár, 2012), se precisan aquellas que reúnen tanto la estructura, la inercia y la calefacción en su accionar. Entendiendo que el calor puede ser producido, transferido y extraído, las posibilidades en su manejo son amplias, permitiéndole a la estructura de una edificación actuar como almacenamiento de energía por medio de su inercia térmica. Estrategia que en proyectos e investigaciones anteriores ha demostrado ser energéticamente eficiente y económicamente factible, teniendo muchos usos en edificios para una fracción mayor de energía renovable, emisiones reducidas y un mayor confort interior respecto a cambios de temperaturas pronunciados (Heier, Bales, & Martin 2015).

El almacenamiento térmico es esencial para muchas formas de energía renovable debido a que les permite a los edificios construidos con altas capacidades térmicas en sus muros, liberar progresivamente grandes cantidades de calor de manera estable atenuando las oscilaciones de temperatura (Martinopoulos et al. 2018). El almacenamiento de energía térmica tiene la capacidad de aumentar la eficiencia energética de un edificio, en especial los tipos de almacenamientos denominados activos, que cuentan con la ayuda activa de bombas o ventiladores para producir la carga y descarga del calor. Este tipo específico de almacenamiento se divide en tres grupos: almacenamiento en el sistema de HVAC (Calefacción, Ventilación y Aire Condicionado), almacenamiento en las inmediaciones del edificio y el almacenamiento en la estructura del edificio. A

este último se le denomina “Thermally Activated Building Systems” (TABS), refiriéndose a sistemas de construcción activados térmicamente, y se configura desde el diseño de elementos constructivos como las paredes, tabiques, el piso o el techo, los cuales distribuyen el calor por medio de aire o agua (Heier et al., 2015). Paralelamente, a estos sistemas también se les puede denominar “Building-Integrated Thermal Energy Storage” o BITES (edificios con sistemas integrados de almacenamiento de energía térmica) termino formulado por Chen, Galal y Athienitis (2014), considerándose activos cuando incorporan un sistema de carga interno a base de aire, agua o eléctrico, y su almacenamiento se lleva a cabo en la estructura del edificio que calienta el interior por radiación y/o convección.

Desde estas dimensiones, el sistema a proyectar es uno que busque la eficiencia energética mediante el uso de masa térmica como pilar estructural y distribuidor de calor, utilizando leña como combustible. La serie de reglas que imparte un sistema térmico de este tipo para su correcto funcionamiento, formaran parte de los criterios que dictaran la distribución espacial de la vivienda estableciendo así su alcance como diseño arquitectónico.

## **ANÁLISIS DE LA VIVIENDA:** EN LA REGION DE LOS RIOS

Para el estudio a realizar, es necesario identificar la situación térmica en la que se inserta la vivienda en Valdivia. La ciudad presenta un clima templado de abundantes precipitaciones, las cuales ocurren incluso en el mes más seco. La temperatura media anual es de 11.9°C, con un promedio de 16.6°C en enero, el mes más cálido, y 7.8°C en julio, el mes más frío (CLIMA-DATA.ORG, n.d.), por lo que la calefacción es un tema clave para asegurar el confort de las personas.

En la actualidad, el sistema de calefacción en estas viviendas presenta una serie de deficiencias específicamente referidas al equipo utilizado, los cuales se componen de una carcasa metálica que no permite aprovechar el calor residual producido por el equipo ya que no posee la suficiente inercia térmica para almacenarlo. Este mecanismo es determinante sobre ciertas brechas de la vivienda Valdiviana, donde la gran parte del día la temperatura interior es menor a 18°C, en especial durante la noche cuando los equipos se apagan (Ortega et al., 2016).

### 3.1 BRECHAS DEL SISTEMA TÉRMICO EN LA VIVIENDA

Considerando la importancia que tiene el sistema térmico sobre el usuario, la caracterización de la calefacción a leña en los hogares de Valdivia identifica los aspectos que se relacionan directamente con la ineficiencia térmica a la que deriva el mecanismo. El estudio de este equipo de calefacción logra establecer 5 categorías de gran influencia en la ineficiencia que engloban al sistema, las cuales consisten en: la ubicación del equipo en la residencia, el modelo del equipo, su periodo de uso, la forma de carga del combustible y el manejo por parte del usuario.

Estas características que expone el sistema de calefacción, clasificadas en 5 categorías, son factores que contribuyen a la ineficiencia térmica de la vivienda (Tabla 01). En Valdivia, gran porcentaje de los sistemas corresponden a equipos de baja eficiencia, siendo un 57% estufas de combustión lenta y un 39% cocinas tradicionales (Schueftan & González, 2016). Estos son operados durante 8 meses del año, de abril a noviembre, con un promedio de uso de 12 horas al día durante las cuales presenta continuos apagados y encendidos ya que el equipo, al no ser automático y no permitir la regulación de la temperatura, es cargado de manera intermitente impidiendo una temperatura estable. La ubicación del equipo generalmente es el living-comedor de la vivienda y por lo tanto es el recinto que alcanza las mayores temperaturas. Mientras que el manejo del usuario incide fuertemente en las emisiones de MP 2.5, ya que este puede regular el tiraje del mecanismo y así determinar el acceso de aire a la cámara de combustión (Figura 11) con la intención de que la leña “dure más”, sin ser conscientes de las consecuencias contaminantes que esta acción implica. A pesar de que se ha hecho progreso en el mejoramiento de los sistemas, con el programa de subsidios para el recambio de equipos tradicionales por otros modernos, la mayoría de estos factores siguen presentándose y permanecen siendo determinantes en la eficiencia térmica.

MANEJO DEL TIRAJE  
(ACCESO DE AIRE A LA COMBUSTIÓN)

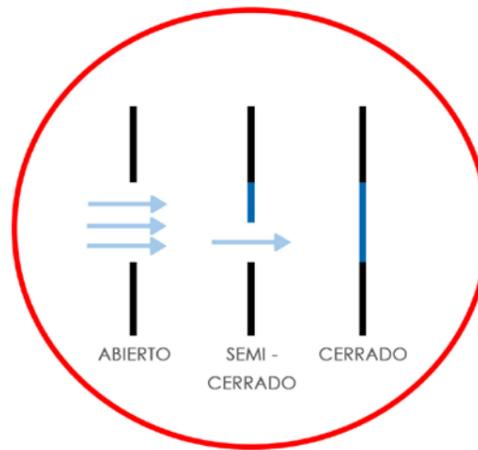
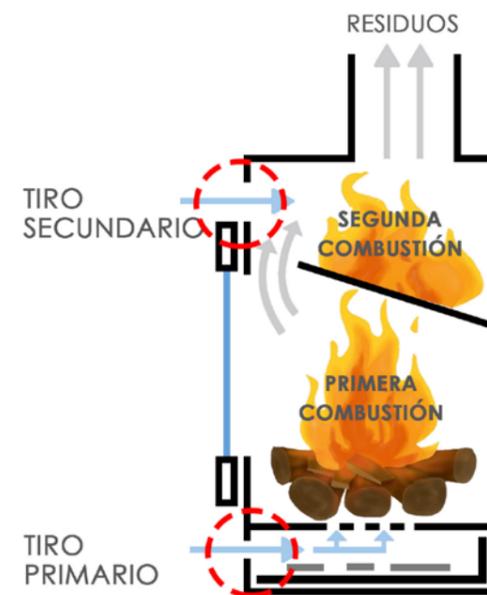


Figura 11: Diagrama Manejo del Usuario en Tiraje Estufa Combustión Lenta



Fuente:ElaboracionPropia

TABLA 01: CARACTERIZACION CALEFACCION A LEÑA

CALEFACCION A LEÑA	
UBICACIÓN	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Normalmente se ubica en el living-comedor de la casa</li> <li>- Temperatura alcanzan valores máximos en el living-comedor, mientras que en los otros recintos la temperatura suele ser menor.</li> </ul>
MODELOS	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Los modelos se asociados al nivel de ingreso, con una mayor incidencia de las estufas modernas en el grupo de ingresos más alto,</li> <li>- Gran porcentaje en Valdivia corresponden a equipos de baja eficiencia</li> <li>- El 57% de los calefactores a leña corresponden a estufas de combustión lenta y el 39% a cocinas tradicionales.</li> <li>- Los convencionales (ningún mecanismo de diseño para reducir las emisiones, siendo dos de las más comunes la cocina chilota y la salamandra) tienen una eficiencia del 45% y son un 56% de los equipos, mientras que la no catalíticas (tienen una segunda cámara de combustión, pequeña, que complementa la cámara principal, siendo la más común la estufa de combustión lenta) tienen una eficiencia del 60% y son un 44% de los equipos.</li> <li>- Los grupos con estufas modernas consumen más leña (un 10% más que el grupo que tienen cocinas a leña tradicionales y un 53% más en comparación con los que usan salamandras).</li> </ul>
PERIODOS DE USO	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Opera generalmente durante 8 meses (abril a noviembre)</li> <li>- Su uso mayoritario es entre las 6 pm, hora en que la gente llega de sus trabajos y enciende el calefactor a leña, y las 2 am. Es este periodo se generan mayores concentraciones de material particulado, especialmente en la primera media hora de funcionamiento.</li> <li>- En promedio las familias valdivianas mantienen el calefactor encendido 12 hrs por día</li> <li>- El 42% de los hogares encienden el calefactor menos de 10 hrs diarias y el 9% permanecen con el calefactor encendido 24 hrs al día en la época invernal.</li> </ul>
CARGAS	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Equipos no son automáticos por lo que se utilizan de manera intermitente, encendiéndose y apagándose a lo largo del día para ahorrar combustible.</li> <li>- El continuo apagado y encendido</li> <li>- Cambios bruscos de temperatura a lo largo del día, asociados con la carga de leña.</li> </ul>
MANEJO DEL USUARIO	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Incide fuertemente en las emisiones de MP2.5, en especial el cierre del tiraje</li> <li>- Habito de cierre del tiraje para que la leña "dure más" es generalizado, especialmente en la noche.</li> <li>- El 68% cierra completamente el tiraje y el 32% lo deja parcialmente cerrado</li> <li>- 54% de los hogares de valdivia que cuentan con una estufa de combustión lenta mantienen el tiraje cerrado durante el día y en el 77% de los casos también de noche.</li> <li>- Ningún modelo permite regular la temperatura</li> </ul>

Formulación Propia, información recopilada informes BES N° 1-3-4-9

### 3.2 FENOMENOS TERMICOS

En virtud de lo anterior, debido a la relación entre la ubicación del equipo en la residencia, el modelo del equipo, su periodo de uso, la forma de carga del combustible y el manejo por parte del usuario, dos grandes fenómenos térmicos se manifiestan perjudicando la salud de los usuarios, estos son la mala distribución del calor interior y las bruscas oscilaciones de temperatura. Por un lado, la mala distribución del calor interior se relaciona directamente con la ubicación del equipo en la vivienda y el hecho de que generalmente es una unidad puntual única. Esto refiere a que el artefacto para este tipo de calefacción consiste solamente en una pieza instalada en un recinto particular de la edificación, lo que conduce a que el calor producido se concentre en la habitación en que se encuentra el equipo, mientras que el resto del calor irradiado es obstaculizado por las paredes y muebles, perdiendo su intensidad al llegar a las demás habitaciones (Figura 12).

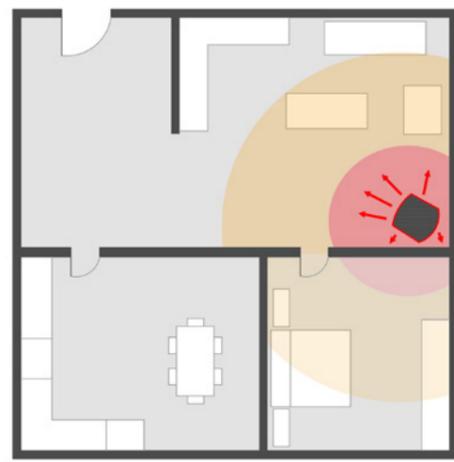


Figura 12: Distribución calor interior  
Formulación Propia

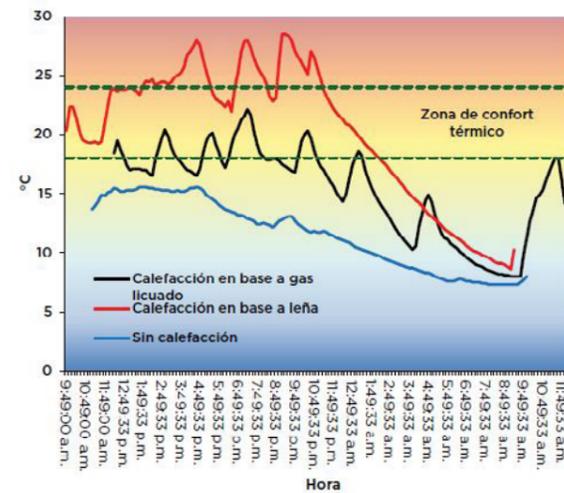


TABLA 02: SINTESIS ENTREVISTAS AL USUARIO

	USUARIOS			
	A	B	C	D
Nº PERSONAS	8	4	5	3
Nº PISOS	2	1	2	2
Nº RECINTOS	Dormitorios: 5 Baños: 3 Cocina Living-Comedor	Dormitorios: 4 Baños: 3 Cocina Living-Comedor	Dormitorios: 4 Baños: 3 Cocina Living-Comedor	Dormitorios: 3 Baños: 3 Cocina Living-Comedor
PRIMER PISO	Cocina Living-Comedor Baños: 1	Cocina Living-Comedor Baños: 3 Dormitorios: 4	Cocina Living-Comedor Baños: 2 Dormitorios: 1	Cocina Living-Comedor Baños: 2 Dormitorios: 1
RECINTO DE MAYOR USO	Living-Comedor	Living-Comedor	Cocina Living-Comedor	Living-Comedor
METODO DE CALEFACCIÓN	Cocina a Leña	Estufa a Leña Cocina a Leña Calefactor eléctrico	Combustión Lenta Cocina a Leña	Combustión Lenta Estufa Pellet Aire Acondicionado
UBICACIÓN MECANISMO	Cocina	Pasillo entre Dorm. Cocina	Living-Comedor Cocina	Living-Comedor Habitaciones
HORA ENCENDIDO	9:30 a. m.	8:00 a. m.	10:30 a. m.	6:00 a. m.
HORA APAGADO	8:00 p. m.	10:00 p. m.	8:00 p. m.	12:00 p. m.
ACTIVIDADES COMPLEMENTARIAS	Cocinar Secar Ropa	Cocinar Secar Ropa	Cocinar Secar Ropa	Cocinar Secar Ropa
CONFORT	Si	Si	Más o Menos	Si
DESCRIPCIÓN VIVIENDA	Caliente (a gusto)	Agradable	Depende del piso de la vivienda	Neutral
OSCILACIONES Tº	Estable, excepto al momento de carga	Estable, excepto al momento de carga	Estable, excepto al momento de carga	Estable, excepto al momento de carga y en las noches sin equipos encendidos
DISTRIBUCION CALOR	Cocina más caliente Calor sube	Baños más fríos que el resto	Mala, distinta por recinto	Buena, por distribución equipos
FRECUENCIA COMPRA LEÑA	Cada 2 Meses	Depende del año	Una vez al año	
ALMACENAMIENTO LEÑA	Patio Techado	Leñera	Leñera Entrada vehículos	Leñera
Nº CARGAS POR DÍA	Cada vez que se apaga	Depende de situación climática	Dos palos de metro al día	Combustiones 3-4 Pellets 1

Formulación Propia

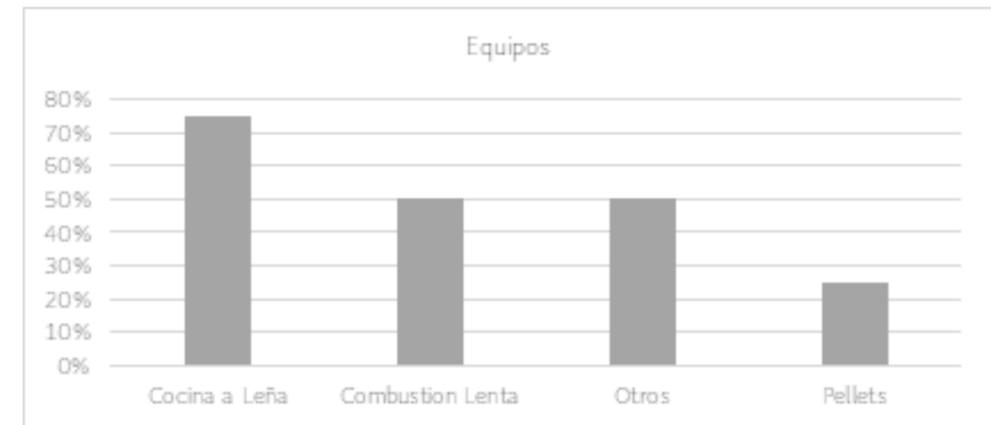


Figura 16: Porcentaje entrevistados que posee el equipo

Formulación Propia

Conforme a las respuestas obtenidas de los 4 ciudadanos (Tabla 02) (Figura 16), se identificaron características comunes que esbozan cierta predisposición generalizada dentro de las viviendas, la que puede ser plasmada para obtener un referente tipológico. El análisis de las entrevistas muestra que un 75% de los entrevistados tiene una vivienda de dos pisos, con cocina a leña y una leñera para el almacenamiento del combustible. Generalmente la configuración de los recintos en el primer piso cuenta con la cocina, el living-comedor, un baño de visitas y el dormitorio principal con un baño privado, mientras que en el segundo se encuentran otros 3 dormitorios y 1 baño común. Así, el referente tipológico de la vivienda actual en Valdivia, entre los 60 m<sup>2</sup> y los 120 m<sup>2</sup>, se compone, en forma sucinta, a partir de dos pisos y cuenta con: cocina, living-comedor, 3 a 4 dormitorios y 3 baños. Esta síntesis espacial se puede traducir en plantas esquemáticas de la vivienda referencial (Figura 17), las cuales aportan como indicadores en el diseño de la nueva vivienda.

Por otro lado, las respuestas de las entrevistas también describieron la manera en que el usuario se relaciona con su vivienda y la calefacción en esta. Como parte del habitar, el calor entregado por la leña no solo se trata de aprovechar para la calefacción del hogar, sino que también para actividades cotidianas como el secado de ropa o calentar agua, y cuando se trata de una cocina a leña se añade el cocinar.

*“Para el calor, cocinar, la utilizo también para secar ropa y hacer pan... Tempera todas las piezas, pero la cocina es la más calentita. Y la temperatura se va para arriba.”*

(Usuario A)

“La estufa también la usamos para colgar ropa para secar. La cocina a leña para cocinar y también la usamos para secar ropa en un colgador armable... Los baños podrían ser los espacios más helados del hogar, el resto es similar.”  
(Usuario B)

“En la cocina a leña cocinamos toda, el pan, la comida, el agua caliente, y se termina de secar la ropa ahí, sobre todo lo que es ropa chica, calcetines, poleras.”  
(Usuario C)

Lo cual deja entrever que es necesario que la fuente de calor se reúna y conecte tanto los recintos de la vivienda como las actividades que se realizan en su interior, considerando que, si adicionalmente esta se utiliza para el secado de ropa, la lavandería debería tener un acceso, al igual que la cocina para cocinar y calentar el agua.

Cabe mencionar que en el momento en que los usuarios entrevistados se refieren al confort térmico de sus viviendas, no demuestra considerar negativos o percibir de manera notoria los fenómenos térmicos mencionados inicialmente (distribución de calor interior y oscilación de temperaturas interiores) generados por las características propias del sistema de calefacción, aun cuando estos afectan negativamente en su salud y bienestar. El usuario C, por ejemplo, califica su vivienda como cómoda a pesar de saber que durante la estación de invierno esta tiene temperaturas de 18 ° C, situándose bajo el rango de confort.

“Cómoda...Estable no más, no es a full po, para llegar a andar a manga corta sin un suéter no po, no puede, es como una temperatura fría no más... 18 grados (le pregunta al hijo) si, hoy por ejemplo esta helada y me tuve que poner suéter.”  
(Usuario C)

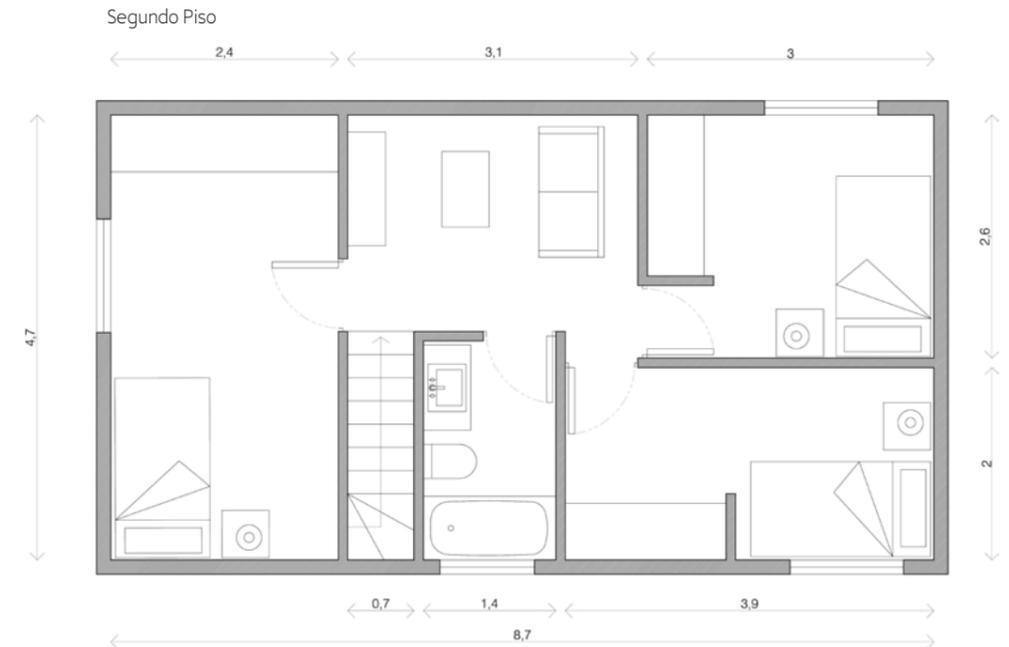


Figura 17: Planimetría Referente Tipológico Vivienda

Formulación Propia

## ESTUDIO DE MERCADO RESIDENCIAL

Como último levantamiento, se realiza un estudio de mercado sobre las viviendas que actualmente están en venta y disponibles para el público objetivo de este estudio. Definiendo los parámetros asequibles de este grupo se hace una selección de las viviendas que rodean los 3500 UF en costo, y que tengan una superficie útil entre 60 a 120 m<sup>2</sup> con las características mencionadas por los propios usuarios en las entrevistas anteriores.

La finalidad de este estudio de mercado, sobre el grupo de viviendas anteriormente definido, es analizar la oferta del sector y evaluar los datos entregados, estableciendo los parámetros de las viviendas ofrecidas actualmente al público objetivo, para las decisiones a tomar al momento de proyectar.



Figura 18: Sectores Viviendas Estudio de Mercado Residencial

Formulación Propia

La disponibilidad de viviendas nuevas en el mercado recae en 9 proyectos ubicados en barrios y sectores perimetrales de Valdivia (Figura 18). Cinco de ellos disponen de viviendas con dos pisos alcanzando entre 70 a 100 m<sup>2</sup> los que contienen 3 dormitorios y 3 baños, y dos de estas cuentan con antejardín y jardín situándose entre los 200 - 250 m<sup>2</sup> de superficie total. (Tabla 03)

TABLA 03: ESTUDIO MERCADO RESIDENCIAL

VIVIENDA	PRECIO	SUP. UTIL (m <sup>2</sup> )	SUP. TOTAL (m <sup>2</sup> )	PISOS	HABITACIONES	ESTADO	OTROS ATRIBUTOS
Reina Isabel	3680 UF	88.3	199.47	2	3 Dormitorios 3 Baños	Nueva	Jardín y Antejardín
Reina Isabel	3680 UF	81.5	256.77	2	3 Dormitorios 3 Baños	Nueva	Jardín y Antejardín
Cond. Silos de Collico	3930 UF	79.29	30.52	2	3 Dormitorios 3 Baños	Nueva	
Cond. Silos de Collico	3930 UF	96.81	53.82	2	3 Dormitorios 3 Baños	Nueva	
Prados de Angachilla	2200 UF	70.95	70.95	2	3 Dormitorios 3 Baños	Nueva	
Villa Galilea	1500 UF	48	48	1	2 Dormitorios 1 Baño	Nueva	
Parque Los Torreones	2938 UF	78	135	2	3 Dormitorios 2 Baños	Usada	
Fuerte Villlocura	3422 UF	61	117	2	3 Dormitorios 1 Baño	Usada	
Barrio Residencial	2766 UF	79	130	1	3 Dormitorios 1 Baño	Usada	
Barrios Bajos	3422 UF	120	120	2	2 Dormitorios 1 Baño	Usada	
Casa Paillao	2973 UF	85	165	2	3 Dormitorios 2 Baños	Usada	

Elaboración Propia

**IMPLEMENTACION:**  
DISEÑO ARQUITECTONICO INTEGRAL

4.1 PROPUESTA NUEVA VIVIENDA

La vinculación entre la arquitectura y el sistema de calefacción de una vivienda, como se mencionó anteriormente, es de suma importancia para el confort térmico y el bienestar del usuario. Tanto los factores físicos como sensibles de una vivienda tienen que estar considerados desde principios del diseño arquitectónico para que este sea integral, considerando todas sus variables, que dan flexibilidad al mismo tiempo que imponen límites.



Figura 18

Formulación Propia

En busca de replicar las articulaciones y relaciones acertadas de la vivienda actual, se inicia una aproximación proyectual en el planteamiento de un próximo desarrollo residencial. Con esta finalidad, la estrategia que tiene la potencialidad de reunir, tanto la calefacción y la estructura como la espacialidad y la habitabilidad de la vivienda, recae en la masa térmica y su almacenamiento de energía, en base a la cual se desarrolla el sistema integral de diseño arquitectónico (Figura 18). La masa térmica tendrá la función de almacenar el calor generado por la combustión de la leña, considerando su primacía sobre otros combustibles, y distribuirlo en el interior alcanzando a todos los recintos que lo precisan. Así, la configuración de la masa requiere de un sistema constructivo que potencie sus capacidades espaciales, térmicas y estructurales, y de una materialidad que gracias a su alta capacidad calórica permita absorber la energía térmica, almacenarla e ir liberándola lentamente durante el día y la noche para que, incluso en los instantes en que no ocurra la combustión de leña, continúe aun la transmisión de calor.

## 4.2 SISTEMA CONSTRUCTIVO CON ALMACENAMIENTO DE ENERGIA TERMICA INTEGRADO

El sistema BITES (edificaciones con sistemas de almacenamiento de energía térmica integrados) creado por el ingeniero Yuxiang Chen, corresponde a la combinación de funciones estructurales y térmicas en un solo sistema, utilizando la estructura del edificio como masa de almacenamiento térmico (Chen 2013). Chen define el procedimiento para la implementación del sistema e identifica parámetros críticos a considerar en el diseño de un BITES; como la capacidad de almacenamiento de energía térmica\* (TES), capacidad de carga/descarga interna\*, capacidad producción térmica\*, entre otros. Este procedimiento incorpora 4 pasos que resultan relevantes en el desarrollo de la actual investigación, primero investigar las condiciones que limitan el almacenamiento térmico, paso que implica el estudio de las condiciones climáticas y las ganancias de calor. Posteriormente, se deciden las estrategias de operación a utilizar que mejoren la eficiencia energética dentro de las condiciones límites ya definidas, para luego diseñar el BITES activo con una respuesta térmica adecuada al caso de estudio. Finalmente se elige un método de control y evaluación que medirá el funcionamiento del sistema.

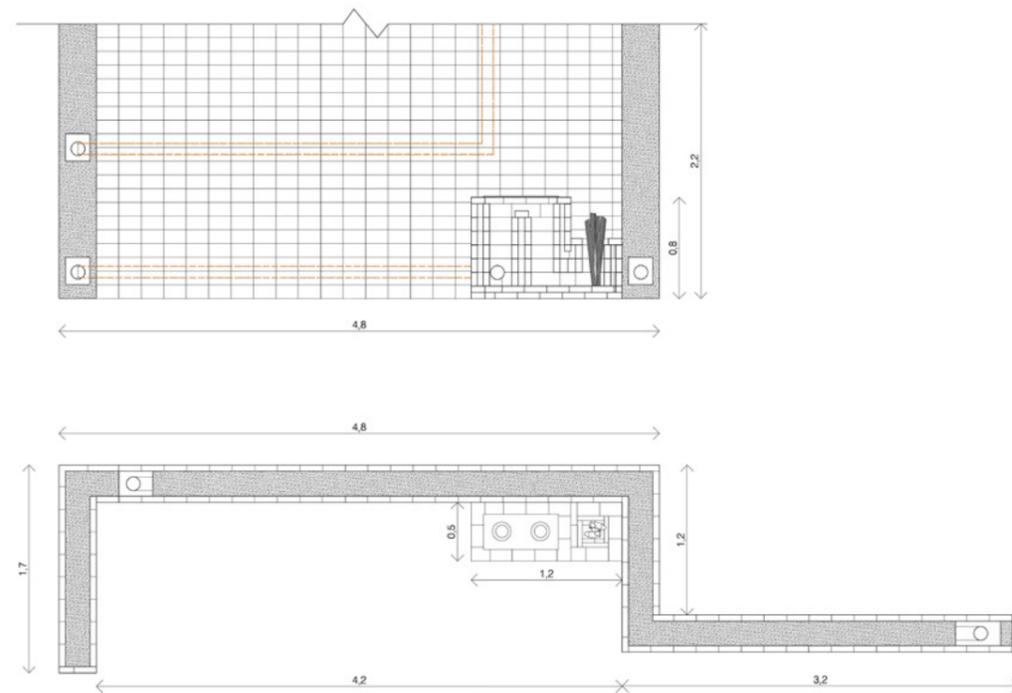


Figura 19: Planta y Corte Masa Térmica Propuesta

Formulación Propia

Como se estableció anteriormente, la ciudad de Valdivia presenta una temperatura media anual de 11,9° C y sus viviendas son ineficientes térmica y energéticamente por lo que se decide actuar en términos del sistema de calefacción y la envolvente. El diseño del BITES en cuestión, tiene como propósito la construcción de una masa térmica que contenga la circulación de aire caliente al interior de su estructura, disponiendo los componentes constructivos de tal manera que permitan la creación de un vacío interior donde se sitúen los canales/ductos de aire (Figura 19 y 20). Con relación al material constructivo adecuado según los requisitos mencionados, los ladrillos tienen una gran inercia térmica y capacidad calorífica, que se traduce en la capacidad de absorber gran cantidad de energía térmica y transmitirla lentamente, por lo que solo requerirían alteraciones menores en cuanto a su forma para lograr una eficiente función térmica y estructural. Al finalizar, como método de control se realizarán simulaciones energéticas del BITES proyectado, que evaluarán su funcionamiento en términos de oscilación de temperatura y distribución del calor interior.

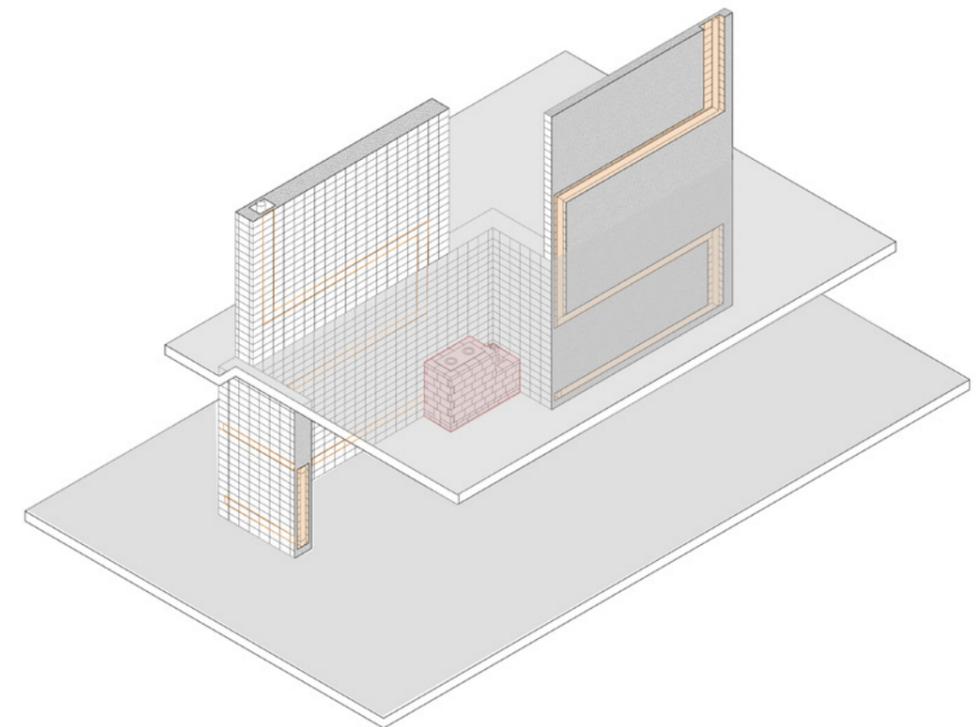


Figura 20: Axonométrica Cortada Masa Térmica Propuesta

Formulación Propia

\*TES: Cantidad de energía térmica que puede ser almacenada por un material. (Chen, 2013)

\*Capacidad Carga y Descarga Térmica: Tasa de intercambio de calor con el fluido de transferencia. (Chen, 2013)

\*Capacidad Producción Térmica: Tasa de intercambio de calor con espacio interior. (Chen, 2013)

En cuanto a las fachadas de la vivienda, se plantea una envolvente continua en el encuentro muro-techo con un sistema constructivo de aislación doble, donde una de las capas aislantes se posiciona por el exterior de la fachada (Figura 21).

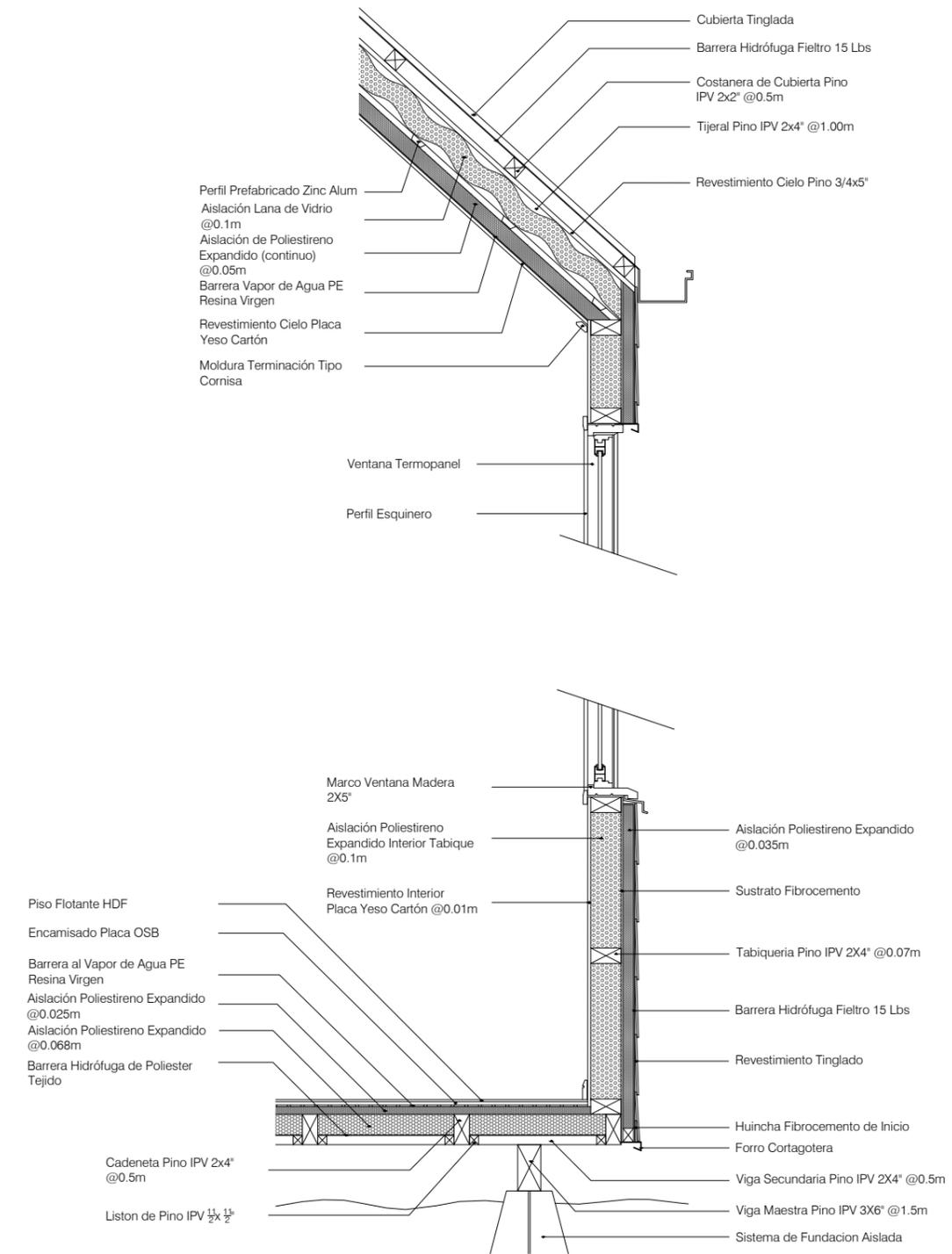


Figura 21: Escantillón Envolvente Sistema Constructivo

Formulación Propia

El espesor de ambas capas aislantes permite cumplir con el estándar de transmitancia térmica\* máxima en muros impuesto por el PDA de  $0,4 \text{ W/m}^2\text{K}$ , alcanzando una transmitancia de  $0,28 \text{ W/m}^2\text{K}$ . De igual manera, el PDA impone una transmitancia para el techo y el piso ventilado, de  $0,28 \text{ W/m}^2\text{K}$  y  $0,50 \text{ W/m}^2\text{K}$  respectivamente, que son acatados por el sistema constructivo propuesto con  $0,24 \text{ W/m}^2\text{K}$  en el techo y  $0,30 \text{ W/m}^2\text{K}$  en el piso ventilado (MMA, 2018).

Así, el método de aislación térmica exterior, junto con la continuidad constructiva de la envolvente, ayuda a evitar los puentes térmicos y permitirá el mantenimiento del calor generado por la masa térmica al interior de la vivienda el mayor tiempo posible, para ser aprovechado minimizando su pérdida.

### 4.3 SISTEMA DE CALEFACCION "ESTUFA ROCKET"

Para el proceso de combustión de leña, se propone conectar la masa térmica a una "Estufa Rocket", también conocida como estufa de inercia térmica, la cual consiste en meter la cámara de combustión secundaria dentro de la estufa. Este mecanismo (Figura 22) logra disminuir las emisiones de  $\text{MP}_{2.5}$ , al atrapar los gases que la combustión primaria genera para que se terminen de quemar a alta temperatura, y luego hacerlos circular a través de una masa térmica que absorbe su calor en tuberías, que pueden llegar a los 20 m de longitud horizontal, siendo expulsados al exterior cuando ya estén fríos. (Evans & Jackson 2007). Esta estufa también permite la cocción de alimentos habilitando la superficie superior del tambor intercambiador de calor para ser utilizada como superficie de cocción. Para evitar que la estufa cause infiltraciones de aire con el interior de la vivienda, su funcionamiento se formula con succión y extracción de aire independiente conectado directamente al exterior, impidiendo la toma del aire interior y la influencia del usuario sobre este.

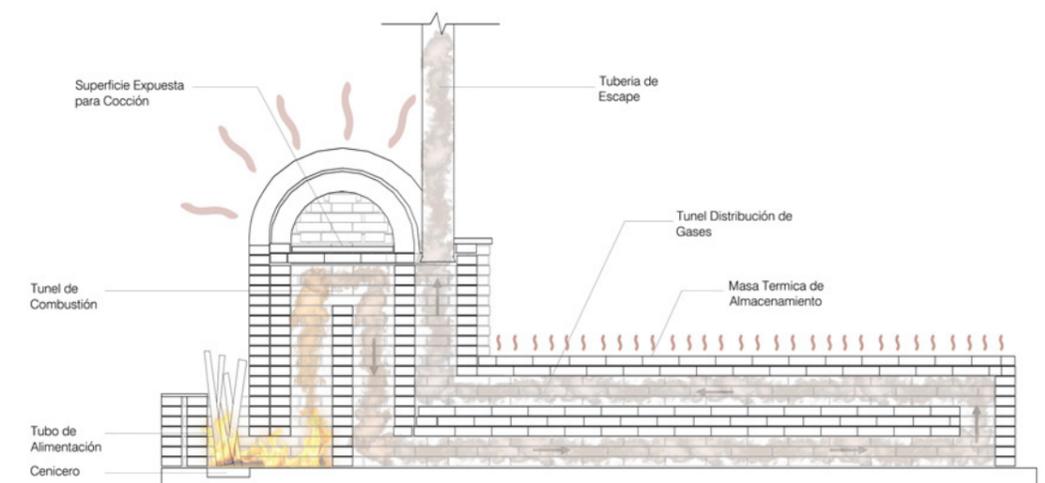


Figura 22: Diagramación Estufa Rocket Tradicional

Formulación Propia

\*Transmitancia Térmica: Flujo de calor que pasa por unidad de superficie del elemento y por grado de diferencia de temperaturas entre los ambientes separados por dicho elemento. (MINVU 2018)

#### 4.4 ESPACIALIDAD INTERIOR DE LA VIVIENDA

El proyecto consiste en el replanteamiento de la vivienda de Valdivia para la creación de una nueva tipología en el mercado inmobiliario que se formule en base a un diseño arquitectónico integral. Este diseño integral, tiene el propósito de considerar y cubrir las múltiples dimensiones de una vivienda como es la habitabilidad, la estructura, la calefacción, el sistema térmico, la espacialidad, entre otras, desde el inicio de su proyección a modo de no encontrarse con aspectos que no hayan sido contemplado por si mismo y en su articulación en conjunto con los demás. En consecuencia, la estrategia desarrollada a partir de la investigación conforma la vivienda en base a un sistema de almacenamiento de energía térmica activa concentrado en un muro estructural de masa térmica que, junto con generar una calefacción estable y bien distribuida, define la distribución y fluidez espacial interior de los recintos junto con su habitabilidad. El muro de masa térmica es el elemento central del sistema que articula la espacialidad de la vivienda generando la distribución interior de las habitaciones y por lo tanto a partir de este se origina la formulación espacial de la vivienda (Figura 24).

Considerando las formas de habitar que el usuario describe en la entrevista realizada, es importante que la fuente de calor permita que en su entorno se establezca el habitar familiar y que recintos como las habitaciones, la cocina, el living-comedor, los baños y el lavadero tengan un directo acceso al calor para realizar sus actividades correspondientes. Haciendo uso de los metros cuadrados estipulados en las secciones anteriores, la configuración de la vivienda inicia desde el primer piso, al cual se accede por un espacio intermedio que permite la transición entre el interior cálido y un exterior comúnmente lluvioso. En este espacio también se incluyen un baño de visitas, el lavadero que cuenta con su conexión al muro térmico para el secado de ropa y la escalera hacia el segundo piso. Al atravesar el espacio intermedio se ingresa al núcleo o “corazón” de la vivienda, el cual unifica la cocina el comedor y el living como el centro de reunión familiar, abarcando uno de los frentes del muro térmico en su totalidad. El otro frente, aparte de relacionarse con el espacio intermedio y el lavadero, se conecta y delimita el dormitorio principal y su baño privado. El segundo piso se compone de un baño y los 2 dormitorios restantes, para alcanzar un total de 3 dormitorios comunes en el mercado inmobiliario, todos con conexión a las secciones del muro térmico que llegan a ambos pisos. (Figura 23)

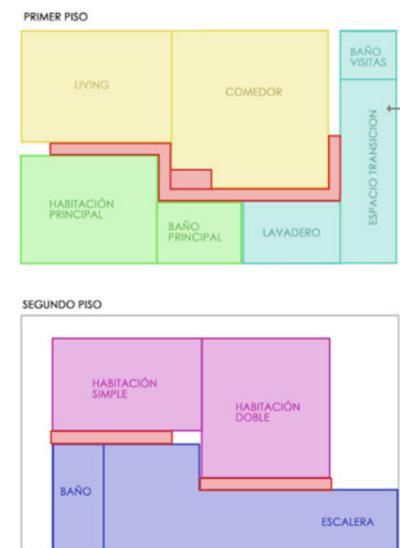


Figura 23: Esquema configuración en planta  
Formulación Propia

El terreno dota a la vivienda con un antejardín, un estacionamiento con leñera que cuenta con una puerta de servicio privada para acceder a la vivienda desde el lavadero, y un jardín con acceso desde el living-comedor (Figura 25). Por su parte, las dimensiones de la vivienda permiten contar con una tasa de infiltración de 0,76 Ach (cambios de volumen de aire por hora) que cumple con el estándar del PDA, y las zonas húmedas se agrupan en un lado para facilitar la conexión de la red de suministros y compartir las instalaciones de saneamiento.

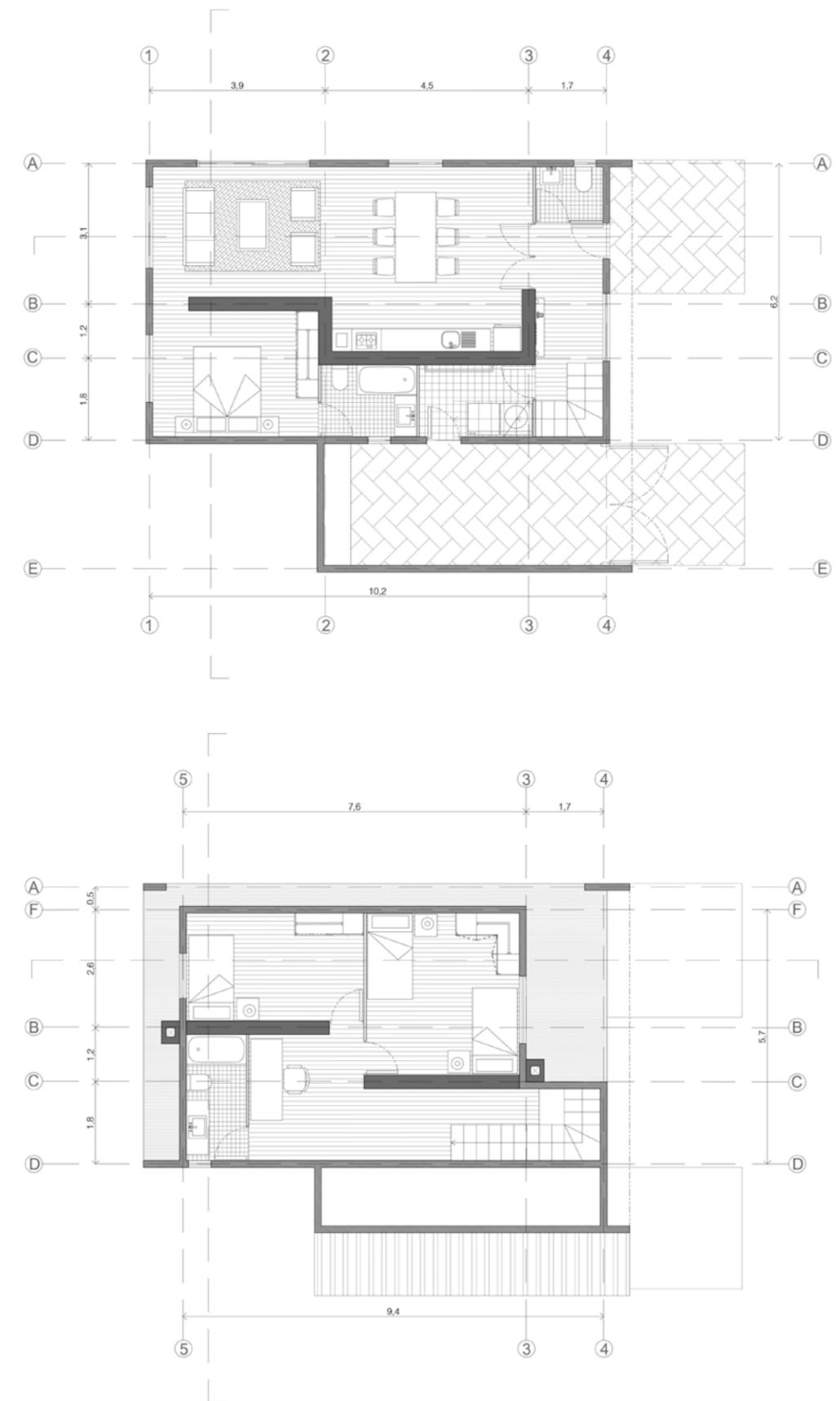


Figura 24: Planimetría Vivienda Propuesta Plantas Primer y Segundo Piso

Formulación Propia

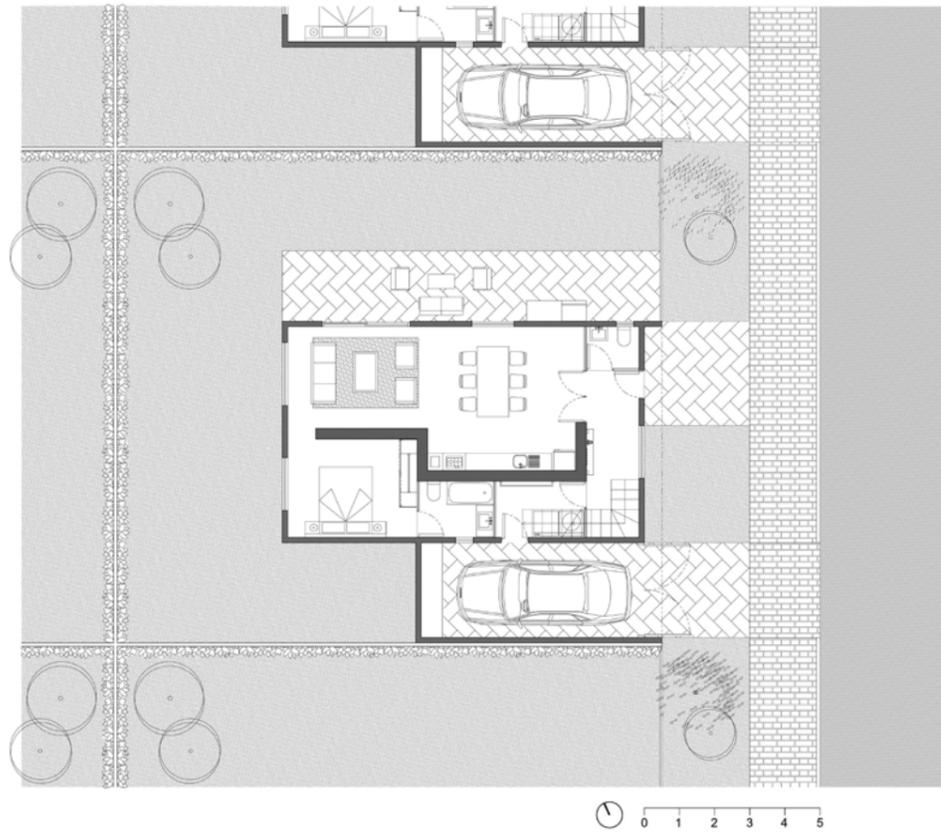


Figura 25: Planimetría Vivienda Propuesta Emplazada en Terreno Formulación Propia

#### 4.4 EMPLAZAMIENTO CONJUNTO HABITACIONAL EN VALDIVIA

El terreno donde la nueva vivienda proyectada se emplazaría alcanza un grado de relevancia distinto ya que, el diseño proyectual en sí, tiene un gran enfoque en la vivienda. Sin embargo, en un contexto como el de la ciudad de Valdivia, con altos niveles de emisiones contaminantes, la ubicación del terreno tiene que ser estratégica de manera que no perjudique si no que ayude a mitigar estos niveles, imponiendo un nuevo modelo inmobiliario. Así, la nueva vivienda se proyectará como una solución a las zonas críticas en las cuales los barrios de estratos socioeconómicos medios presentan un mayor consumo de leña y emisión de material particulado.

Con este fin, se levantaron cinco lecturas distintas sobre la ciudad de Valdivia, estas son sobre: los humedales, los barrios de estratos socioeconómicos medios, las recientes expansiones urbanas, las tipologías más comunes del levantamiento del CIVA y las zonas con un consumo elevado de leña (Figura 26). El cruce de estas lecturas permite identificar respectivamente: las zonas de construcción permitidas, los barrios en donde habita el usuario objetivo, los sectores de expansión en la ciudad junto con las nuevas áreas residenciales, las zonas en la que comúnmente se encuentra la vivienda referencial, y las zonas en estado crítico en la ciudad. De este modo, se logró identificar a El Bosque como un barrio pertinente para el desarrollo.

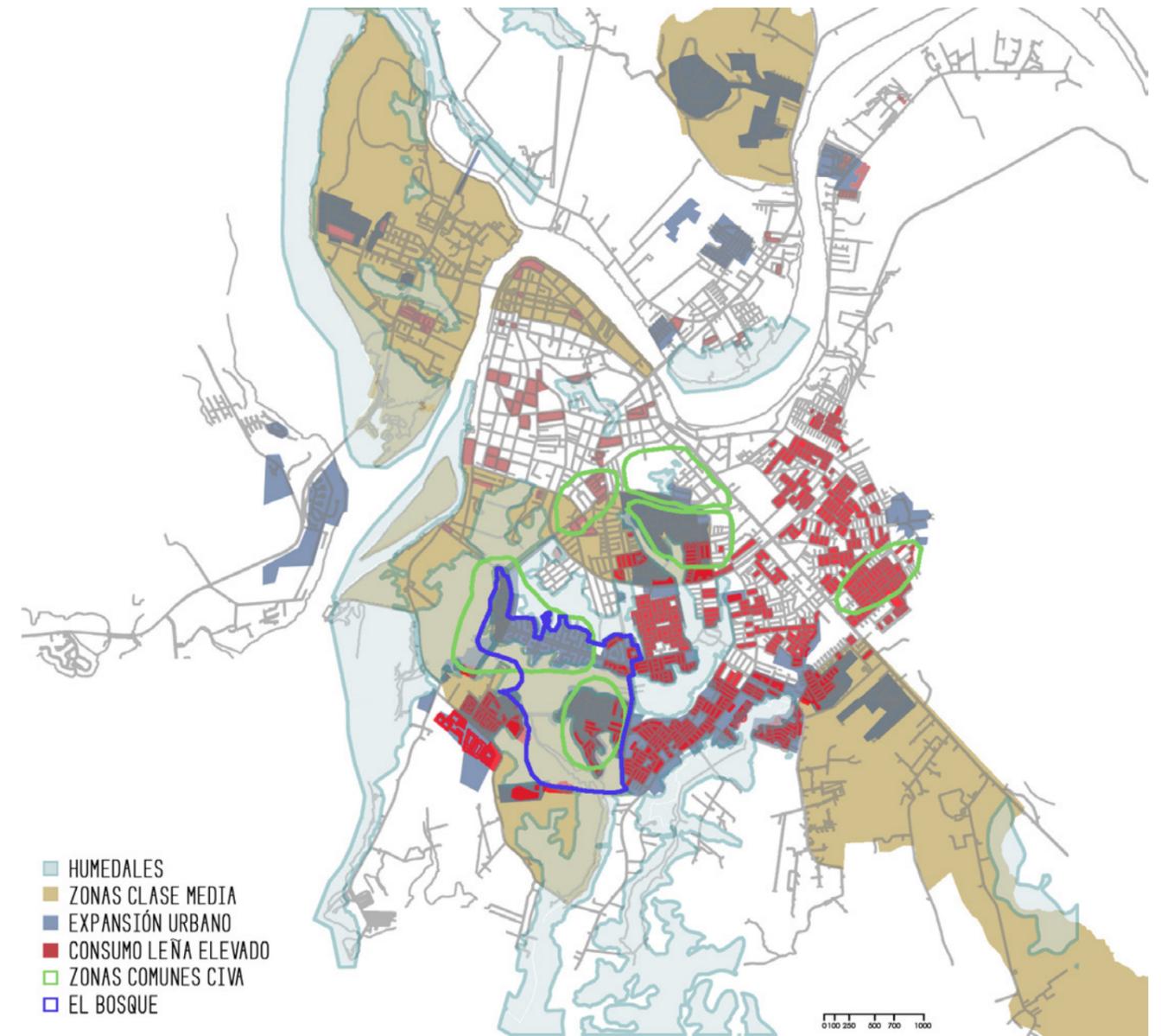


Figura 26: Levantamiento Plano Ciudad de Valdivia

Formulación Propia

## TERRENO BARRIO EL BOSQUE

El Bosque es un barrio en gran parte residencial, el cual se encuentra rodeado por humedales que le otorgan al barrio sus bordes definidos y delimitan su alcance. A partir de la lectura de estos límites, se selecciona un terreno dentro del barrio clasificado como Z-E2 (zona de equipamiento) dentro del Plan Regulador Comunal actual vigente desde el año 2002, y como Z- H2 (zona habitacional densidad media) en el Plan Regulador Comunal propuesto desde el 2007 en espera de aprobación. Ambas clasificaciones permiten la construcción de residencias en la zona.

El terreno se encuentra en el perímetro del barrio, rodeado por el humedal Alivio - Miraflores y el humedal Angachilla – Catrico - Krahrmer. Sin embargo, se diferencia de los bordes establecidos en el resto del barrio al no presentar un límite definido y edificado que distinga a los humedales del terreno edificable. En consecuencia, el conjunto habitacional a proyectar propone realizar una expansión urbana viable, que defina el perímetro edificable al mismo tiempo que el de los humedales mencionados, estableciendo sus bordes a partir de la planificación de nuevas calles que le dan forma y organizan el conjunto (Figura 28).

PDA	ORIENTACION U	% V/S TRANSMITANCIA TERMICA U									
		≤1,2	≤1,6	≤2	≤2,4	≤2,8	≤3,2	≤3,6	≤4	≤4,4	≤5,8
Valdivia	Norte	79%	76%	74%	71%	67%	64%	59%	54%	46%	0%
	O - P	41%	40%	38%	36%	34%	31%	28%	24%	20%	0%
	Sur	28%	26%	24%	21%	19%	16%	13%	8%	0%	0%
	POND	29%	27%	26%	24%	21%	19%	16%	12%	0%	0%

Figura 27: Porcentaje máximo de superficie de ventanas según orientación y valor U.

Fuente: (MMA, 2019)

En cuanto a la disposición de las viviendas en el terreno, se busca la optimización de sus ganancias solares. Las ventanas de termo panel propuestas, con una transmitancia térmica de 3.30 W/ m<sup>2</sup>°K, rige la orientación de las fachadas de la vivienda para acatar con el porcentaje máximo de superficie de ventanas según orientación y valor U, propuesto el PDA (MMA, 2019) (Figura 27). De esta manera, las dos fachadas con mayor porcentaje de superficie de ventana, ambas de un 16%, se orientan lo más posible al norte procurando mantener el orden y la regularidad con las otras viviendas, al igual que con la manzana (Figura 29).



Figura 28: Levantamiento Terreno — Calles Propuestas

Formulación Propia



Figura 29: Conjunto Habitacional Propuesto

Formulación propia

## DISTRIBUCION Y OSCILACION DE T°: EN LA VIVIENDA INTEGRAL

### 5.1 ANALISIS COMPARATIVO DE LA VIVIENDA

Con el objetivo de analizar el avance de la vivienda propuesta en comparación con la vivienda actual en la ciudad de Valdivia, se evalúan sus desempeños en torno a los dos fenómenos térmicos ya descritos, la mala distribución del calor interior y las oscilaciones bruscas de temperatura a lo largo del día. Esto permitirá evaluar el diseño arquitectónico integral, proyectado en una vivienda situada en Valdivia, en cuanto a eficiencia y repercusión.

El análisis para determinar el desempeño térmico de la propuesta se genera a través de simulaciones en el software Desing Builder, especializado en la simulación energética de los edificios, tanto en la vivienda actual como en la propuesta. La evaluación se desarrolló con el modelado de cada caso (actual y propuesta), con sus sistemas de calefacción correspondientes, definiendo sus parámetros dentro del programa para obtener el comportamiento de la vivienda en sí al igual que la condición de cada recinto.

#### Parámetros Comunes:

- Ubicación y Clima: Weather Template Valdivia
- Tipo de ocupación: Espacios Residenciales

#### Parámetros Vivienda Actual:

- Sistema Constructivo: Vivienda de madera tradicional con aislación térmica de baja calidad, simulando modelo de vivienda común informe CIVA.  
Valor U sobre el valor estandar estandar propuesto por el PDA (0,40 W/m<sup>2</sup>°K) pero cumpliendo con el valor U de la normativa termica actual (1,6 W/m<sup>2</sup>°K) (MINVU 2021).
- Calefacción: Sistema unitario de calor, estufa de biomasa
- Recintos: Habitaciones de la vivienda,  
Primer piso = 5 / Segundo piso = 5

#### Parámetros Vivienda Propuesta:

- Sistema Constructivo: Envoltente exterior de madera con doble aislación térmica (1 capa aislante exterior) dentro de los valores de la normativa.  
Valor U: 0,28 (W/m<sup>2</sup>°K), cumple con el valor del PDA y la normativa térmica actual  
Muro masa térmica de ladrillo refractario
- Calefacción: Sistema Estufa - Masa térmica con biomasa
- Recintos: Espacio semicontinuo seccionado de acuerdo con los frentes de la masa térmica que definen dos recintos a evaluar por nivel.

## 5.2 ANALISIS DE DATOS

Una vez modelados los casos, se realizaron las simulaciones del programa en cuanto a las oscilaciones de temperatura dentro de la vivienda y la distribución de calor respecto a cada recinto.

### SIMULACIÓN OSCILACIÓN DE TEMPERATURA

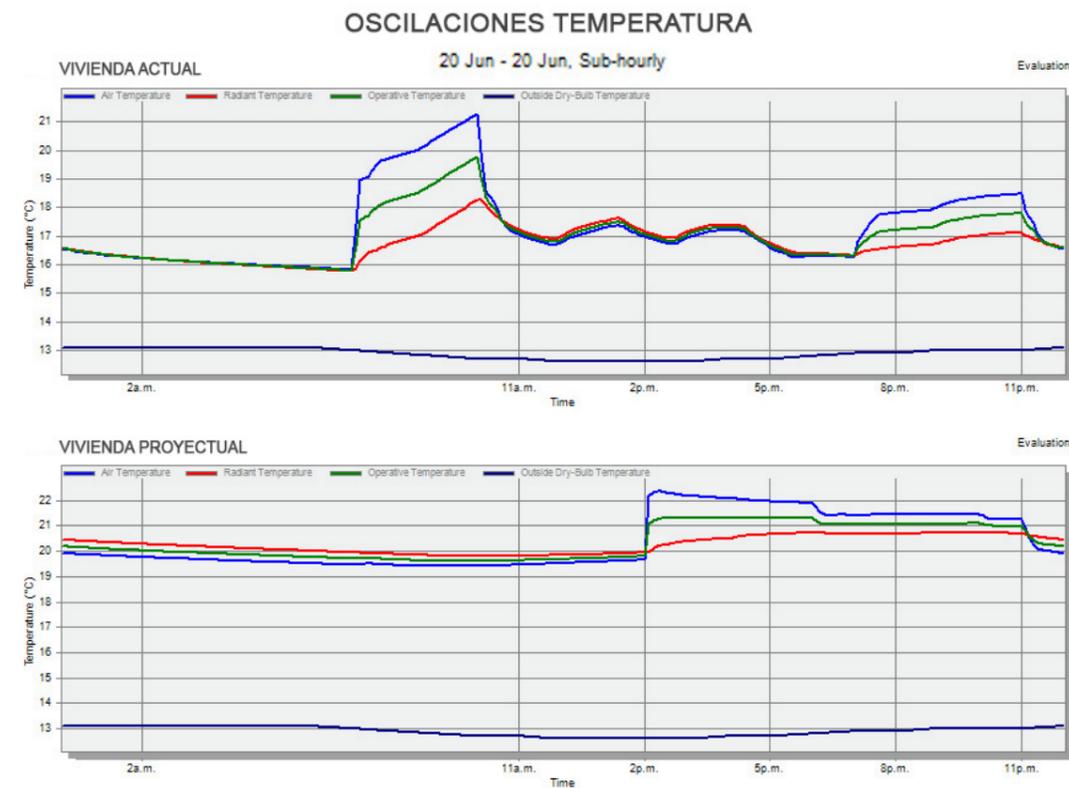


Figura 30: Simulación Oscilaciones de Temperatura

Formulación Desing Builder

Los resultados de la vivienda actual presentan un rango de temperatura que se encuentra entre los 15 y los 21 grados Celsius aproximadamente. Entre las 8 a.m. y las 10 a.m. la temperatura operativa sube desde los 15° a los 20°, entre las 10 a.m. y las 11 a.m. desciende hasta los 17° grados para luego mantenerse entre 16° y 18° grados (variando la temperatura) hasta las 2:00 a.m., cuando empieza a descender hasta los 15° grados a las 8 a.m. (Figura 30)

En cambio, la vivienda proyectual con la masa térmica propuesta presento un rango de temperatura situado entre los 19° y los 22° Celsius aproximadamente. A las 2 p.m. la temperatura operativa se elevó desde los 20° hasta los 21° para mantenerse hasta las 11 p.m., cuando desciende a los 20° hasta las 2 a.m. y luego hasta los 19°, sosteniendo esa temperatura hasta las 2 p.m. (Figura 30).

### SIMULACIÓN OSCILACIÓN DE TEMPERATURA

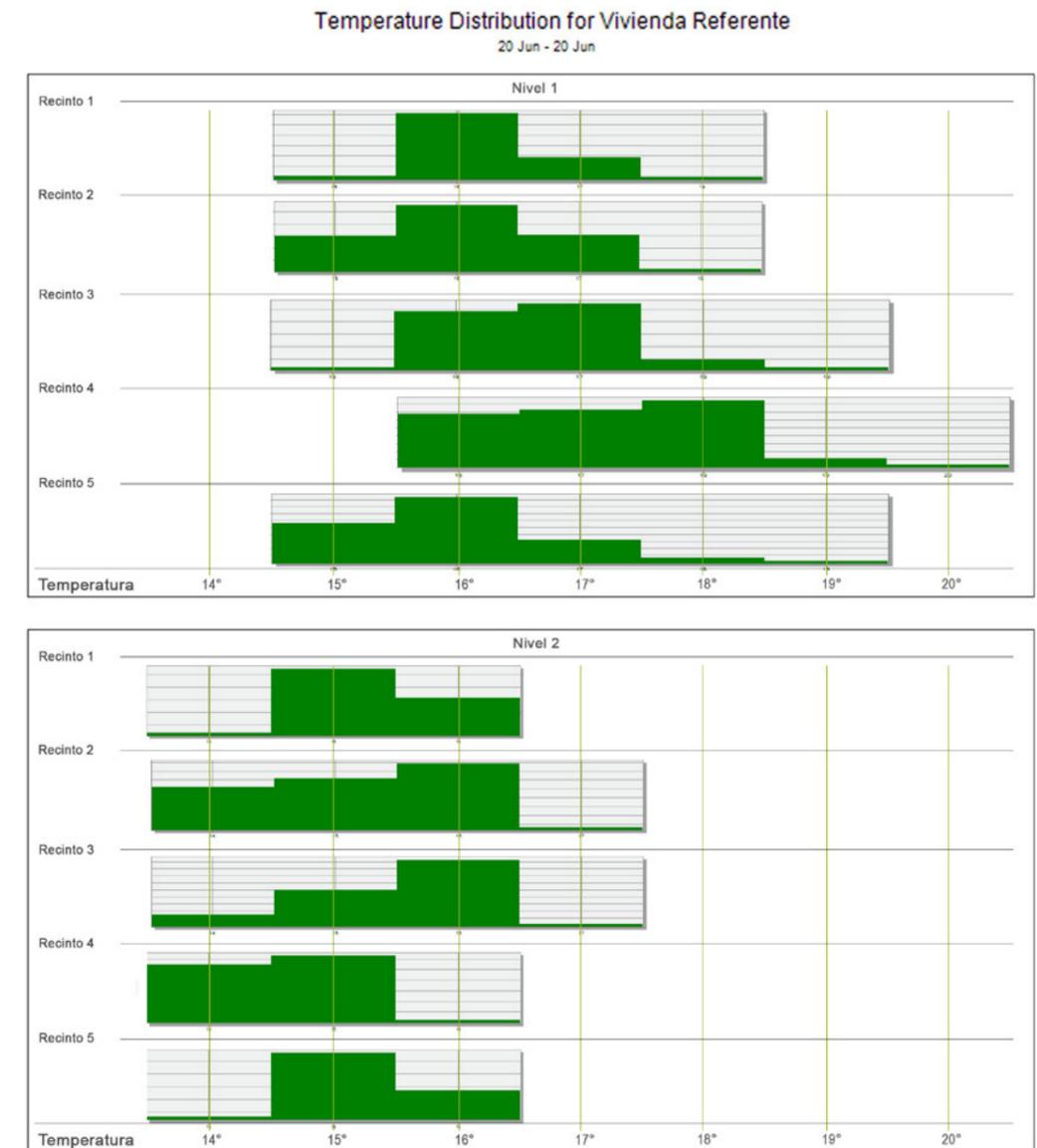


Figura 31: Simulación Distribución de Temperatura Vivienda Actual

Formulación Propia, Resultados Gráficos Desing Builder

En cuanto a la distribución del calor, la vivienda actual se compone de 2 pisos cada uno con 5 recintos, los cuales son los evaluados en las simulaciones. En el primer piso, el recinto 1 y 2 tienen temperaturas entre los 14° Celsius a los 18°, mientras que en el recinto 3 y 5 se presentan temperaturas entre los 14° a los 19°. El recinto 4, en el cual se sitúa la fuente de calor puntual, las temperaturas se encuentran entre los 15 y los 20 grados. Así, en el segundo piso de la vivienda, el recinto 1, 4 y 5 presentan temperaturas entre los 14° y los 16°, mientras que los recintos 2 y 3 aumentan el rango en un grado encontrándose entre los 14 y los 17 grados. (Figura 31)

### 5.3 CONCLUSIONES

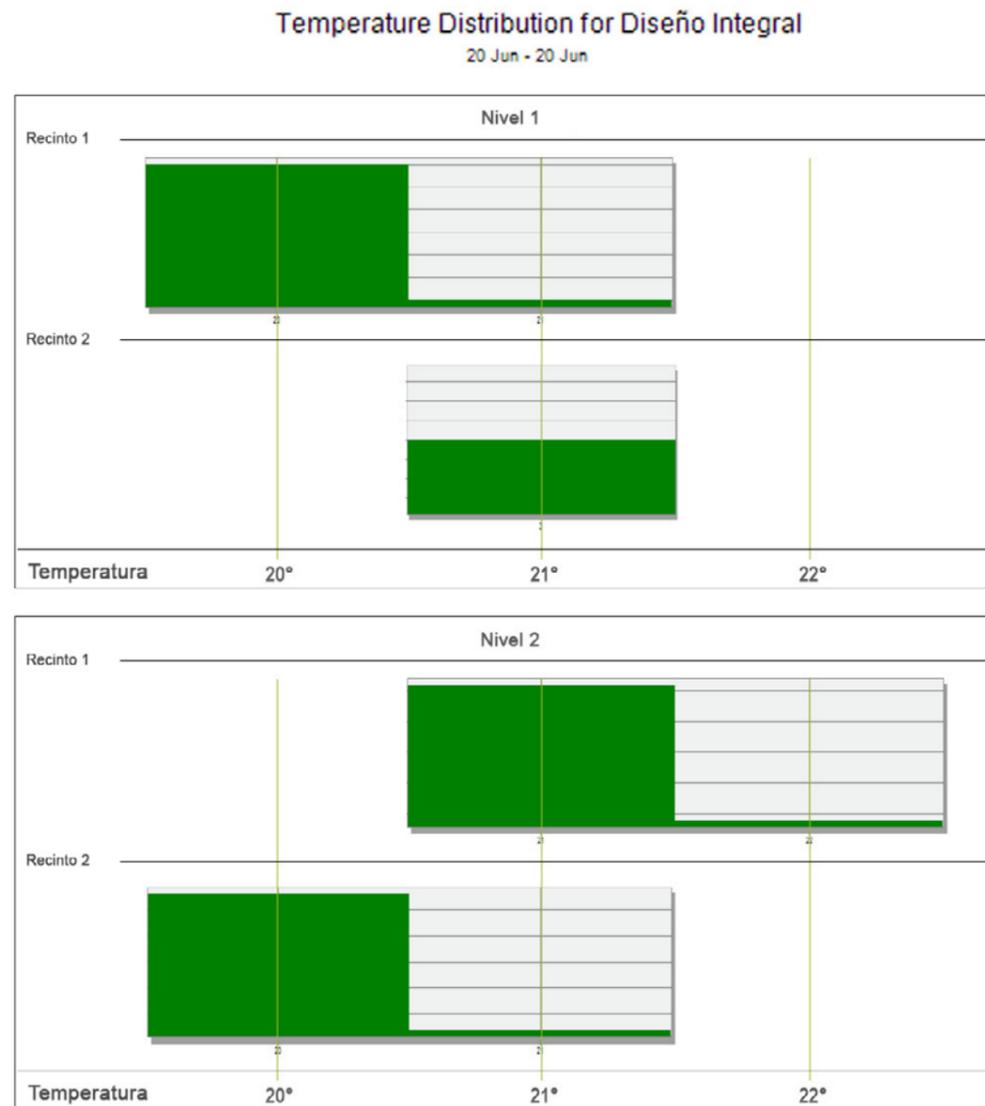


Figura 32: Simulación Distribución de Temperatura Vivienda Propuesta Formulación Propia, Resultados Gráficos Desing Builder

Por otro lado, la vivienda propuesta plantea una nueva disposición interior creada por el muro de masa térmica, que genera un espacio semicontinuo seccionado en dos zonas principales de acuerdo con cada frente del muro, por piso. Estas zonas son las consideradas como recintos para la simulación. En el primer piso, el recinto 1 presenta temperaturas entre los 20 y 21 grados Celsius, mientras que el recinto 2 se mantiene en 21° constante. Finalmente, en el segundo piso, el recinto 1 muestra temperaturas entre los 21° y los 22° Celsius, y el recinto 2 entre los 20° y los 21°. (Figura 32)

Al analizar los resultados obtenidos de las simulaciones en la vivienda actual, la oscilación de temperatura interior se produce en un amplio rango de grados Celsius, aproximadamente 6, con su valor más bajo siendo 15 grados y el más alto 21 grados. Los cambios de temperatura que se producen exponen subidas y bajadas drásticas, como se ve a las 8 a.m. cuando asciende desde los 15 a los 19 grados, permaneciendo aun así siempre bajo la temperatura de confort para el usuario. En lo que respecta a la distribución de calor interior de la vivienda actual, esta expone una diferencia de temperatura entre recintos de 4 grados, donde algunos recintos pueden presentar 15 grados Celsius al mismo momento en que otros están en los 19 grados. Asimismo, un recinto en sí puede variar su temperatura en 5 grados, como se demuestra en el recinto 5 del nivel 1 con temperaturas desde los 15 a los 19 grados.

Por el contrario, la vivienda proyectada exhibe mejores condiciones que la actual en cuanto a ambos ámbitos. De partida, se puede observar que las temperaturas operativas generales son mayores, alcanzando el rango de confort para los usuarios. Además, las oscilaciones de temperatura al interior se presentan entre los 19 y los 22 grados Celsius, disminuyendo el rango del caso anterior en 3 grados y remediando los bruscos cambios de temperatura. En lo que concierne a la distribución de calor interior de la vivienda proyectada, esta logra disminuir la diferencia de grados entre recintos a 3 grados, sin embargo, dentro de un mismo recinto, la temperatura oscila 2 grados máximo, como se puede observar en el recinto 1 del primer nivel donde cambia entre los 20 y los 21 grados. El único caso distinto es el recinto 2 del mismo nivel que no cambia de temperatura, manteniéndose siempre en 21 grados Celsius. Adicionalmente, a diferencia de la vivienda actual, este diseño consigue que el calor y la temperatura sea similar en ambos niveles de la vivienda.

## CONCLUSION:

Esta investigación se desarrolló dentro del contexto de pobreza energética en la Región de Los Ríos, a modo de enfrentar la problemática que se detecta en la ciudad de Valdivia, en la cual la ineficiencia térmica presente en las viviendas, genera bajas temperaturas interiores y grandes emisiones de material particulado contaminante al ambiente. El revestimiento metálico y la baja eficiencia de los equipos de calefacción, junto con la mala calidad de aislación en la estructura liviana de las viviendas, son factores de la deficiencia del sistema térmico que dificultan la preservación del calor interior y evitan el almacenamiento del calor residual. Esta problemática, que aumenta las condiciones de pobreza energética del usuario, origina dos fenómenos térmicos al interior de la vivienda que perjudican su bienestar, las bruscas oscilaciones en la temperatura y una distribución de calor no homogénea en las distintas habitaciones.

La discusión sobre la pobreza energética comprende una multidimensionalidad fundamental en la resolución de sus problemáticas y como deberían tratarse. Por esta razón, se realizó un levantamiento desde recientes estudios térmicos, constructivos e inmobiliarios de las viviendas actuales pertenecientes a los grupos de estratos socioeconómicos medios en Valdivia, las cuales son un 45% de sus residencias, en conjunto con la investigación de la perspectiva del habitante y el contexto de la ciudad. Al ser consciente de las condiciones del lugar y lo que es factible para la ciudad y sus habitantes, se evitan las soluciones genéricas que pueden causar efectos adversos sometiendo al usuario a un estrés económico y aumentando el índice de la pobreza energética.

De esta manera, la aproximación proyectual desarrolla un diseño arquitectónico integral entre los sistemas, la estructura y la calefacción, para una nueva vivienda consecuente con su contexto que se inserta en el mercado inmobiliario en respuesta a la problemática en cuestión. Este diseño basado en el principio de la inercia térmica consta, en términos simples, de un muro estructural de masa térmica que determina la espacialidad interior e integra la calefacción del hogar, la cual se produce a partir de una estufa de inercia térmica que ayuda a disminuir las emisiones contaminantes. La masa térmica permite el almacenamiento del calor y su liberación paulatina atenuando las oscilaciones bruscas de temperatura, al mismo tiempo que su configuración como muro definidor de la espacialidad interior, logra que se conecte a todos los recintos necesarios para obtener una buena distribución del calor. El interior de la vivienda se plantea con el fin de conservar y fortalecer las formas de habitar propias del ciudadano valdiviano, donde los espacios de reunión familiar se establecen en torno a la fuente de calor como centro del hogar.

De acuerdo con las simulaciones llevadas a cabo para evaluar el desempeño de la vivienda actual en comparación a la vivienda propuesta, los resultados de estas exponen las mejorías que el diseño integral en base la inercia térmica logra alcanzar con respecto a la distribución del calor y el mantenimiento de una temperatura estable. Si bien ambos fenómenos no son eliminados en su totalidad, la notable mejoría también permite que la temperatura interior en la vivienda proyectada ascienda y se sitúe dentro del rango de confort necesario para el habitar del usuario.

En conclusión, se demuestra que la estrategia de un diseño arquitectónico integral es de suma importancia al momento de proyectar, y la idea de una solución genérica que dicta una pauta de acción común, a pesar de los diversos escenarios que se puedan presentar, no es factible para responder a la multidimensionalidad permanente en toda arquitectura. Así al enfrentarse a la problemática de la ciudad de Valdivia con el diseño integral propuesto, que en este caso en particular consiste en el replanteamiento de la vivienda en base a la inercia térmica, se logra conjugar los factores involucrados para crear una respuesta viable al momento de afrontar la pobreza energética existente en la ciudad.



Imagen Conjunto Habitacional

Formulación propia

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS:

Amigo, C., Calvo, R., Cortés, A., & Urquiza, A. (2019). "Pobreza Energética. El Acceso Desigual a Energía de Calidad Como Barrera Para El Desarrollo En Chile." *Policy Paper* 3:59.

Barría, R.M. (2012). Contaminación área intradomiciliaria por material particulado fino (MP2,5) e incidencia de infección respiratoria aguda en los primeros 6 meses de vida. Tesis de doctorado, Facultad de Medicina, Universidad de Chile.

Boso, Á., Garrido, J., Álvarez, B., Oltra, C., Hofflinger, Á., & Gálvez, G. (2020). "Narratives of Resistance to Technological Change: Drawing Lessons for Urban Energy Transitions in Southern Chile." *Energy Research and Social Science* 65 (Octubre 2019).

Calvo, R., Amigo, C., Billi, M., Cortés, A., Mendoza, P., Tapia, R., Urquieta, M., & Urquiza, A. (2019). Acceso Equitativo a Energía de Calidad En Chile: Hacia Un Indicador Territorializado y Tridimensional de Pobreza Energética.

Chen, Y. (2013). "Methodology for Design and Operation of Active Building- Integrated Thermal Energy Storage Systems." (Septiembre).

Chen, Y., Galal, E., & Athienitis, A. (2014). "Design and Operation Methodology for Active Building-Integrated Thermal Energy Storage Systems." *Energy and Buildings* 84:575–85.

Chen, Y., Galal, E., & Athienitis, A. (2016). "Integrating Hollow-Core Masonry Walls and Precast Concrete Slabs into Building Space Heating and Cooling." *Journal of Building Engineering* 5:277–87.

CIVA. (2012). Informe Final: Evaluación técnica y económica de viviendas más incidentes en demanda térmica en el radio urbano de la ciudad de Valdivia. Valdivia, Chile: Universidad de Chile.

CLIMA-DATA.ORG. n.d. "Valdivia Clima." Valdivia Clima. Retrieved September 30, 2020 (<https://es.climate-data.org/americas-del-sur/chile/xiv-region-de-los-rios/valdivia-5063/>).

Coma Bassas, E., Patterson, J., & Jones, P. (2020). "A Review of the Evolution of Green Residential Architecture." *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 125 (Abril):109796.

Demographic Statistics Database. (2017). Recuperado 23 de noviembre de 2020, de UNData A World of Information website: <http://data.un.org/Data.aspx?d=POP&f=tableCode:240>

Encinas, F., Truffello, R., Urquiza, A., & Valdés, M. (2020). "COVID-19, Pobreza Energética y Contaminación: Rede Niendo La Vulnerabilidad En El Centro-Sur de Chile." CIPER 1–16.

Evans, I., & Jackson, L. (2007). "Estufas Rocket de Masa Estufas de Alta Eficiencia Para Autoconstruir (y Acurrucarse)." *Energy Procedia* 132:39–44.

Fadejev, J., Simson, R., Kurnitski, J., & Bomberg, M. (2017). "Thermal Mass and Energy Recovery Utilization for Peak Load Reduction." *Energy Procedia* 132:39–44.

Franco, J. T. (2018). "¿Qué es EIFS o cómo diseñar un sistema de aislación térmica exterior?". Plataforma Arquitectura. Accedido el 20 Oct 2020. <<https://www.plataformaarquitectura.cl/cl/893327/que-es-eifs-o-como-disenar-un-sistema-de-aislacion-termica-exterior>> ISSN 0719-8914

Heier, J., Bales, C., & Martin, V. (2015). "Combining Thermal Energy Storage with Buildings - A Review." *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 42:1305–25.

In — Data SpA, C. (2019). "Informe Final Uso de la Energía Hogares Chile 2018". Diciembre 2019, 334. [https://energia.gob.cl/sites/default/files/documentos/informe\\_final\\_caracterizacion\\_residencial\\_2018.pdf](https://energia.gob.cl/sites/default/files/documentos/informe_final_caracterizacion_residencial_2018.pdf)

Kalmár, F., & Kalmár, T. (2012). "Interrelation between Mean Radiant Temperature and Room Geometry." *Energy and Buildings* 55:414–21.

Lorek, S, & Spangenberg, J. (2019). "Energy Sufficiency through Social Innovation in Housing." *Energy Policy* 126(June 2018):287–94.

Martinopoulos, G., Papakostas, K., & Papadopoulos, A. (2018). "A Comparative Review of Heating Systems in EU Countries, Based on Efficiency and Fuel Cost." *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 90(March):687–99.

Mata Botella, E. (2002). "El Análisis Gráfico de La Casa".

MINVU. (2021). "Decreto 47. Ordenanza General de la Ley General de Urbanismo y Construcciones" Gobierno de Chile.

MMA. (2014). "Planes de Descontaminación Atmosférica. Estrategia 2014-2018." Gobierno de Chile Santiago:1–10.

MMA. (2016). "Establece Plan De Descontaminación Atmosférica Para La Comuna De Valdivia." *Legislación Chilena* 42.

MMA. (2018). "Establece Plan De Descontaminación Atmosférica Para La Comuna De Valdivia." Gobierno de Chile.

MMA. (2019). "Calidad del Aire, Quinto Reporte del Estado del Medio Ambiente." SINIA. Gobierno de Chile.

MMA. (2019). "Estándares de Eficiencia Energética de las Zonas con Planes de Descontaminación Atmosférica, para viviendas nuevas y existentes, PDA Valdivia" Gobierno de Chile.

Ortega, V., Reyes, R., Schueftan, A., González, A., & Rojas, F. (2016). "Contaminación Atmosférica: Atacando El Síntoma, No La Enfermedad." *Bes* 3:24.

Ortega, V., Schueftan, A., González, A., & Reyes, R. (2015). "FRÍO, VIVIENDA Y CONTAMINACIÓN: Problemas y Oportunidades Derivados de La Mala Aislación."

De Paris, S., & Lopes, N. (2018). "Housing Flexibility Problem: Review of Recent Limitations and Solutions." *Frontiers of Architectural Research* 7(1):80–91.

Reyes, R., Schueftan, A., & Ruíz, C. (2018). "De Pobreza De Energía En El Sur De Chile:"

Reyes, R. (2017). "Consumo de Combustibles Derivados de La Madera y Transición Energética En La Región de Los Ríos, Periodo 1991-2014." *Informes Técnicos BES, Bosques - Energía - Sociedad*, Enero 2017. Observatorio de Los Combustibles Derivados de La Madera OCDM. Instituto Forestal, Chile. N° 6.:20.

Reyes, R., Nelson, H., Navarro, F., & Retes, C. (2015). "The Firewood Dilemma: Human Health in a Broader Context of Well-Being in Chile." *Energy for Sustainable Development* 28:75–87.

Reyes, R., Nelson, H., Navarro, F., & Retes, C. (2015). El dilema de la leña, ¿cómo reducir la contaminación del aire sin incrementar el costo en calefacción? *Revista Energy for Sustainable Development*, 28, 75–87.

Reyes, R., Nelson, H., & Zerriffi, H. (2017). Bosques energía sociedad. Leña ¿causa o consecuencia? Factores subyacentes de la producción de leña en el sur de Chile. *Informes Técnicos BES, Bosques - Energía - Sociedad*, N° 7, 18.

Schueftan, A., & González, A. (2013). "Reduction of Firewood Consumption by Households in South-Central Chile Associated with Energy Efficiency Programs." *Energy Policy* 63:823–32.

Shueftan, A., & Gonzales, A. (2014). Calefacción en el sector residencial de Valdivia, Chile: Análisis de una encuesta en 2025 hogares. *Avances En Energías Renovables y Medio Ambiente*, 18, 9–16.

Shueftan, A., & Gonzales, A. (2016). Mejorar la eficiencia térmica y el control de la contaminación atmosférica en ciudades con alto consumo de leña: estudio de caso en Valdivia. En: *Boletín BES, Bosques - Energía - Sociedad*, Año 2. N° 4. Abril 2016. Observatorio de Los Combustibles Derivado de La Madera ODCM. Instituto Forestal, Chile, N° 4, 24.

Schueftan, A., Sommerhoff, J., & González, A. (2016). "Demanda de Leña y Políticas de Energía En El Centro - Sur de Chile." 5:20.

Schumack, M. (2016). "A Computational Model for a Rocket Mass Heater." *Applied Thermal Engineering* 93:763–78.

Urquiza, A., Amigo, A., Billi, M., Calvo, R., Labraña, J., Oyarzún, T., & Valencia, F. (2019). "Quality as a Hidden Dimension of Energy Poverty in Middle-Development Countries. Literature Review and Case Study from Chile." *Energy and Buildings* 204.

Verbeke, S., & Audenaert, A. (2018). "Thermal Inertia in Buildings: A Review of Impacts across Climate and Building Use." *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 82(September 2017):2300–2318.

## **ANEXOS:**

## ENTREVISTA

### USUARIO:

1) ¿Cuántas personas viven en su vivienda? ¿Cuál es el parentesco entre ellas?

### VIVIENDA:

2) ¿Que habitaciones componen su vivienda? ¿Como se distribuyen en el hogar?

3) ¿En qué consiste la rutina habitual en el hogar? ¿En qué habitación/es permanecen y a qué horas?

### CALEFACCION:

4) ¿Qué método de calefacción utiliza? (ej. cocina a leña, combustión lenta, etc.)

5) ¿En cuál habitación se ubica el equipo?

6) ¿A qué hora prende la calefacción? ¿A qué hora la apaga?

7) ¿El calor entregado por el equipo es utilizado en otra actividad a parte de la calefacción? (cocinar, secar ropa, etc.)

8) ¿Se siente cómodo/a con la temperatura de su vivienda?

9) ¿Cómo definiría su vivienda en invierno? (fría, calurosa, neutral) ¿Y en verano?

10) ¿Percibe cambios bruscos en la temperatura interior durante el día? ¿A qué hora?

11) ¿Siente una temperatura similar en todas sus habitaciones?

### LEÑA

12) ¿Con qué frecuencia compra leña y cuanta? ¿Dónde la almacena?

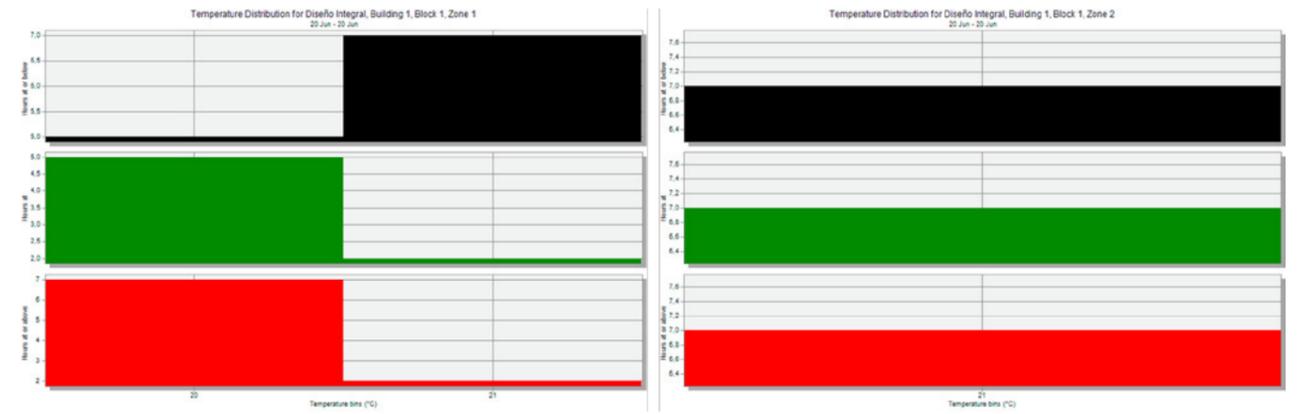
13) ¿Cuantas veces carga el equipo?





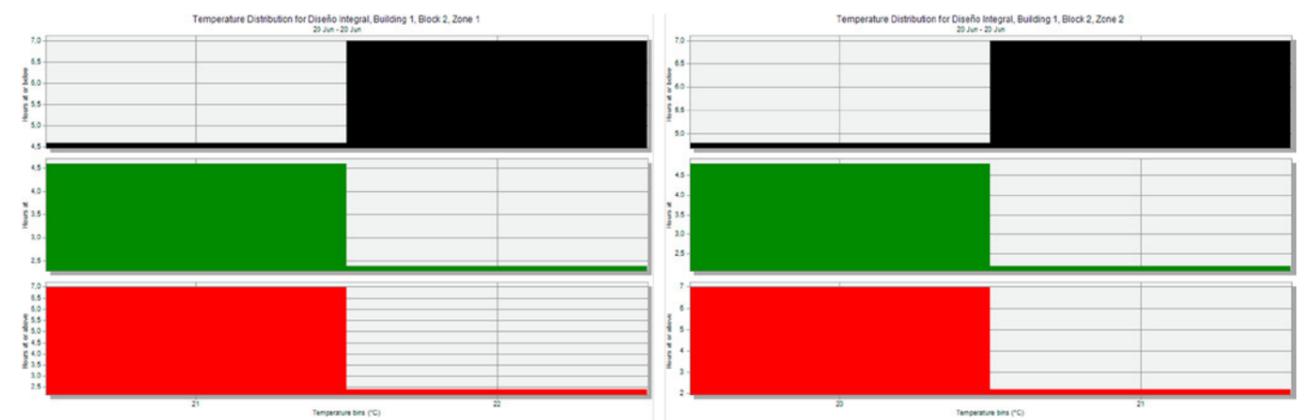
Anexo 3: Simulaciones Distribución de Calor por Recinto - Vivienda Actual / Segundo Nivel

Formulación Desing Builder



Anexo 4: Simulaciones Distribución de Calor por Recinto - Vivienda Proyectual / Primer Nivel

Formulación Desing Builder



Anexo 5: Simulaciones Distribución de Calor por Recinto - Vivienda Proyectual / Segundo Nivel

Formulación Desing Builder

© 2021, Paula Macarena Puentes Nazal

Tesis para optar al título de Arquitecto y al grado de Magíster 2021  
en Arquitectura Sustentable y Energía