

UNIVERSIDAD TECNICA FEDERICO SANTA MARIA
SEDE CONCEPCION
“REY BALDUINO DE BELGICA”

**EVALUACIÓN Y MEJORA DEL CONFORT EN UNA VIVIENDA SOCIAL UBICADA EN LA
COMUNA DE YUNGAY**

Adrian Enrique Silva Soto

2026

**UNIVERSIDAD TECNICA FEDERICO SANTA MARIA
SEDE CONCEPCION
“REY BALDUINO DE BELGICA”**

**EVALUACIÓN Y MEJORA DEL CONFORT EN UNA VIVIENDA SOCIAL UBICADA EN LA
COMUNA DE YUNGAY**

**TRABAJO PARA OPTAR AL TITULO PROFESIONAL DE
INGENIERO CONSTRUCTOR**

Alumno: Adrian Enrique Silva Soto

Profesor Guía: Cristopher Pérez M.

2026



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 y mejora del confort de una vivienda social ubicada en la comuna de Yungay Nombre del candidato(a): Adrian Enrique Silva Soto

Carrera / Grado: Ingeniería en construcción

Campus: Sede Concepcion Departamento: Construcción y Prevención de riesgo

2.- VALIDACIÓN DEL PROFESOR GUÍA/DIRECTOR DE TESIS

Yo, CRISTOPHER PEREZ MARIN, en mi calidad de profesor(a) guía/director(a) 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: 13-03-2026

Firma:

Estudiante o Candidato(a):

Fecha: 11-03-2026

Firma:

1 INDICE

1	INDICE	4
2	INDICE ILUSTRACIONES	5
3	INDICE TABLAS	5
4	Agradecimientos.....	6
5	Resumen	7
6	Abstract	8
7	Glosario	9
8	Introducción.....	11
9	Planteamiento del problema	12
10	Objetivo general:	14
11	Objetivos específicos:.....	14
12	Marco normativo	15
13	Marco teórico	18
14	Metodología	19
14.1	Diagnóstico de condiciones térmicas.	19
14.2	Desarrollo de propuestas de mejoramiento	21
14.3	Evaluación económica de las soluciones	21
15	Capítulo 1: Diagnóstico de condiciones térmicas	23
15.1	Diagnóstico de la vivienda existente.....	24
15.2	Despliegue experimental y zonas de medición	24
16	Capítulo 2: Desarrollo de propuestas de mejoramiento	36
16.1	Propuesta de mejoramiento térmico.....	37
16.1.1	Consideraciones generales de la propuesta	37
16.1.2	Mejoramiento térmico de muros	37
16.1.3	Mejora térmica del cielo.....	44
16.1.4	Mejoramiento de Ventanas.....	47
17	Capítulo 3: Evaluación económica de las soluciones.....	53
17.1	Metodología de estimación de costos	54
18	Conclusiones	64
19	Referencias	65

2 INDICE ILUSTRACIONES

1.1.1.1	Ilustración 9 instrumento medidor HOBO MX CO2 logger.....	25
13.2.1.5	Ilustración 10 ubicación satelital de vivienda.....	32
13.2.1.6	Ilustración 11 matriz 3X3	33
14.1.2.1	Ilustración 12 detalle de la solución 1.2.G.C1.5(LOSCAT_E13_2025_DITEC-MINVU-2025) 41	
14.1.3.1	Ilustración 13 Detalle de la mejora en el cielo 1.1.G.A.1.1(LOSCAT_E13_2025_DITEC-MINVU-2025).....	45

3 INDICE TABLAS

15.1.2.2	Tabla 4 transmitancia térmica de muro con la solución integrada.....	42
15.1.2.3	Tabla 5 Valores U de muros sin mejora integrada.....	43
15.1.3.2	Tabla 6 Cálculo de transmitancia térmica del complejo de cielo en condición mejorada	46
16.1.1.1	Tabla 7 APU Retiro de revestimiento existente	55
16.1.1.2	Tabla 8 APU Retiro de ventanas existentes	56
16.1.1.3	Tabla 9 APU Construcción de tabique estructural de madera	56
16.1.1.4	Tabla 10 APU Instalación de OSB 8mm	57
16.1.1.5	Tabla 11 APU Instalación de OSB 9,5mm	57
16.1.1.6	Tabla 12 APU Instalación de papel fieltro.....	58
16.1.1.7	Tabla 13 APU Instalación de revestimiento exterior de fibrocemento	58
16.1.1.8	Tabla 14 APU Instalación de aislación térmica (poliestireno expandido).....	59
16.1.1.9	Tabla 15 APU Instalación de aislación térmica (lana mineral).....	59
16.1.1.10	Tabla 16 APU Instalación de nueva ventana con doble vidrio hermético (DVH).....	60
16.1.1.11	Tabla 17 APU Instalación de celosía de ventilación tipo Chicago.....	60
16.1.1.12	Tabla 18 presupuesto en base a los APUs	62

4 Agradecimientos

Quisiera expresar mi más profundo y sincero agradecimiento a todas las personas e instituciones que estuvieron presentes a lo largo de este proceso de formación profesional. Cada una de ellas, de distintas maneras, contribuyó a que este camino fuera posible y a que hoy pueda culminar una etapa tan importante de mi vida.

En primer lugar, agradezco al Departamento de Construcción de la Universidad Técnica Federico Santa María, por el ambiente académico, el apoyo constante y la formación entregada durante estos años. Asimismo, quiero reconocer a todo el equipo humano que forma parte del departamento, quienes con su cercanía, disposición y compromiso logran crear un espacio donde los estudiantes no solo se forman como profesionales, sino también como personas, generando un ambiente que muchas veces se siente como un verdadero hogar.

Agradezco especialmente al profesor Christopher Marín Pérez, por su guía, orientación y disposición durante el desarrollo de esta memoria de título. Su acompañamiento y conocimientos fueron fundamentales para llevar adelante este trabajo, así como para fortalecer mi formación durante esta etapa final del proceso académico.

Del mismo modo, agradezco a la Universidad Técnica Federico Santa María, particularmente a la sede Concepción, por brindarme la oportunidad de desarrollarme en un entorno académico que destaca no solo por su exigencia y calidad, sino también por el ambiente humano y cercano que caracteriza a su comunidad universitaria.

Finalmente, quiero expresar un agradecimiento profundo a mi familia, amigos y compañeros, quienes estuvieron presentes durante todo este proceso, compartiendo momentos que quedarán para siempre y brindándome su apoyo incondicional. En especial, agradezco a mi madre y a mis tíos Mario y Margarita, quienes fueron un pilar fundamental en este camino, entregándome fuerza, apoyo y motivación en los momentos más difíciles, recordándome siempre la importancia de no rendirme y seguir adelante.

Asimismo, agradezco a mis amigos y compañeros, con quienes a lo largo de estos años se fue construyendo un lazo de amistad y fraternidad que trascendió lo

académico, convirtiéndose en parte fundamental de esta etapa de mi vida.

A todos ellos, muchas gracias por acompañarme en este camino.

5 Resumen

El presente trabajo tiene como objetivo evaluar y mejorar el desempeño térmico y ambiental de una vivienda social ubicada en la comuna de Yungay, Región de Ñuble, correspondiente a la Zona Térmica F según la Reglamentación Térmica vigente en Chile. A pesar de ser una vivienda de reciente construcción, los habitantes reportan problemas de confort térmico y calidad del aire interior, lo que sugiere deficiencias en el comportamiento de la envolvente y en las condiciones de ventilación.

La metodología considera el levantamiento de las características constructivas de la vivienda, el análisis de su emplazamiento climático y mediciones in situ de variables ambientales interiores. Para ello se realizaron registros continuos de temperatura del aire y concentración de dióxido de carbono (CO₂) mediante sensores instalados en recintos representativos como dormitorios y living-comedor. Adicionalmente, se evaluó el desempeño térmico de los elementos de la envolvente mediante cálculos de transmitancia térmica y análisis de asoleamiento.

Los resultados evidencian fluctuaciones térmicas importantes, episodios de sobrecalentamiento en recintos con orientación norte y concentraciones elevadas de CO₂ asociadas a ventilación natural insuficiente. A partir de este diagnóstico se desarrolló una propuesta de mejoramiento que considera aumento de aislación térmica en muros y cielo, reemplazo de ventanas por sistemas de doble acristalamiento hermético e incorporación de ventilación pasiva mediante aireadores. Finalmente, se realizó una evaluación económica que permite estimar la factibilidad de implementar estas mejoras en viviendas sociales de características similares.

6 Abstract

This study aims to evaluate and improve the thermal and environmental performance of a social housing unit located in the Yungay commune, Ñuble Region, which corresponds to Thermal Zone F according to the current Thermal Regulations in Chile. Despite being a recently constructed house, the residents report problems with thermal comfort and indoor air quality, suggesting deficiencies in the building envelope and ventilation conditions.

The methodology includes documenting the building's construction characteristics, analyzing its climatic location, and taking in-situ measurements of indoor environmental variables. Continuous air temperature and carbon dioxide (CO₂) concentration readings were taken using sensors installed in representative rooms such as bedrooms and the living/dining room. Additionally, the thermal performance of the building envelope elements was evaluated through thermal transmittance calculations and solar heat gain analysis.

The results show significant temperature fluctuations, episodes of overheating in north-facing rooms, and high CO₂ concentrations associated with insufficient natural ventilation. Based on this diagnosis, an improvement proposal was developed that includes increased thermal insulation in walls and ceilings, replacement of windows with airtight double-glazed systems, and the incorporation of passive ventilation through air vents. Finally, an economic evaluation was conducted to estimate the feasibility of implementing these improvements in social housing with similar characteristics.

7 Glosario

- **Aislamiento térmico:**

Conjunto de materiales o sistemas constructivos destinados a reducir la transferencia de calor entre el interior y el exterior de una edificación, mejorando el comportamiento térmico de la envolvente y contribuyendo al confort interior.

Fuente: NCh 1079:2008 – Aislamiento térmico en edificios.

- **Asoleamiento:**

Exposición directa de una superficie o recinto a la radiación solar durante un determinado periodo del día o del año, condición que influye en las ganancias térmicas y en el comportamiento energético de una edificación.

Fuente: Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones (OGUC), Art. 2.6.

- **Aireador pasivo:**

Dispositivo de ventilación instalado en muros o ventanas que permite el ingreso controlado de aire exterior al interior de un recinto, contribuyendo a la renovación del aire y al mejoramiento de la calidad ambiental interior.

Fuente: Manual de Ventilación Residencial – MINVU.

- **Calidad del aire interior (CAI):**

Condición del aire presente en espacios interiores respecto a la concentración de contaminantes, dióxido de carbono, humedad y temperatura, factores que influyen directamente en la salud, bienestar y confort de los ocupantes.

Fuente: NCh 3307:2015 – Ventilación en edificios.

- **Confort térmico:**

Condición en la cual las personas experimentan satisfacción con el ambiente térmico interior, determinada por variables como temperatura del aire, humedad relativa, velocidad del aire y condiciones de ventilación.

Fuente: NCh 3307:2015 – Ventilación en edificios.

- **Dióxido de carbono (CO₂):**

Gas presente de forma natural en el aire que, en espacios interiores, se utiliza como indicador indirecto de la calidad del aire y de la eficiencia de ventilación, ya que su concentración aumenta en recintos ocupados con ventilación insuficiente.

Fuente: NCh 3307:2015 – Ventilación en edificios.

- Doble Acristalamiento Hermético (DVH):

Sistema de acristalamiento compuesto por dos láminas de vidrio separadas por una cámara de aire o gas sellada herméticamente, destinado a mejorar el aislamiento térmico y acústico de las ventanas.

Fuente: Listado Térmico de Ventanas – MINVU / DITEC.

- Envoltente térmica:

Conjunto de elementos constructivos que separan el ambiente interior de una edificación del exterior, tales como muros, techumbres, pisos ventilados y ventanas, a través de los cuales se produce la transferencia de calor.

Fuente: NCh 1079:2008 – Aislamiento térmico en edificios.

- Ganancia térmica:

Incremento de energía térmica al interior de un recinto producto de la radiación solar, la ocupación humana o el funcionamiento de equipos, lo que puede provocar un aumento de la temperatura interior.

Fuente: Manual de Diseño Bioclimático para Viviendas – MINVU.

- Pérdida térmica:

Transferencia de calor desde el interior hacia el exterior de una edificación a través de la envoltente térmica, fenómeno que ocurre principalmente durante periodos de bajas temperaturas.

Fuente: NCh 1079:2008 – Aislamiento térmico en edificios.

- Puente térmico:

Zona localizada de la envoltente de un edificio donde la resistencia térmica es menor que en el resto del elemento, debido a discontinuidades constructivas o a la presencia de materiales de mayor conductividad térmica.

Fuente: NCh 853:2013 – Acondicionamiento térmico.

- Radiación solar:

Energía emitida por el sol que incide sobre la superficie terrestre y que puede generar ganancias térmicas en edificaciones dependiendo de su orientación, diseño y exposición.

Fuente: Manual de Diseño Bioclimático para Viviendas – MINVU.

- Resistencia térmica (R):

Capacidad de un material o elemento constructivo para oponerse al flujo de calor,

determinada por la relación entre el espesor del material y su conductividad térmica.
Fuente: NCh 789:2008 – Determinación de propiedades térmicas.

- Transmitancia térmica (U):

Cantidad de calor que atraviesa un elemento constructivo por unidad de superficie y por diferencia de temperatura entre sus caras, expresada en W/m^2K . Un menor valor indica mejor comportamiento térmico del elemento.

Fuente: NCh 789:2008 – Determinación de propiedades térmicas.

- Ventilación natural:

Proceso de renovación del aire interior mediante la circulación de aire exterior a través de aberturas, infiltraciones o dispositivos pasivos, sin el uso de sistemas mecánicos.

Fuente: NCh 3307:2015 – Ventilación en edificios.

- Ventilación pasiva:

Sistema de ventilación que utiliza diferencias naturales de presión o temperatura para permitir la renovación del aire interior sin el uso de equipos mecánicos.

Fuente: Manual de Ventilación Residencial – MINVU.

- Zona térmica:

Clasificación climática del territorio nacional utilizada para establecer exigencias de aislamiento térmico en edificaciones según las condiciones climáticas predominantes.

Fuente: OGUC, Artículo 4.1.10 – Reglamentación Térmica.

8 Introducción

La comuna de Yungay, ubicada en la Región de Ñuble, se caracteriza por un clima templado cálido con estaciones marcadas. En este entorno climático, el confort térmico adquiere especial relevancia, particularmente en esta vivienda social que, por sus limitaciones presupuestarias y constructivas, suele presentar deficiencias en su desempeño térmico.

La vivienda objeto de estudio fue construida hace dos años como parte de un

programa habitacional social. Se trata de una casa de dos pisos, con un dormitorio, cocina, comedor y baño en el primer nivel, y dos dormitorios en el segundo. La calefacción se realiza mediante una estufa a leña, y cuenta con ventilaciones pasivas en los recintos principales: dormitorios, baño, cocina y comedor. A pesar de su reciente construcción, los habitantes reportan problemas persistentes de confort térmico, lo que plantea interrogantes sobre la efectividad de las soluciones arquitectónicas y técnicas implementadas.

En este contexto, se propone una evaluación integral del comportamiento ambiental de la vivienda, el objetivo es identificar las causas de los problemas de confort y proponer estrategias de mejora que sean viables técnica y económicamente dentro del marco de la vivienda social.

9 Planteamiento del problema

A pesar de los avances normativos en materia de eficiencia energética y diseño bioclimático en Chile —como la implementación progresiva de la Norma Chilena NCh 1079 sobre aislamiento térmico y la incorporación de criterios de eficiencia energética en la Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones (OGUC)—, numerosas viviendas sociales continúan presentando deficiencias significativas en términos de confort térmico y calidad del aire interior, especialmente en zonas rurales y semiurbanas del centro-sur del país.

Estudios como el desarrollado por la Sociedad de Cooperación Técnica Alemana (GTZ) en conjunto con el Programa País de Eficiencia Energética (PPEE) y el Instituto de la Construcción han evidenciado que muchas viviendas sociales en ciudades como Chillán, Temuco y Coyhaique no logran mantener condiciones térmicas adecuadas durante el invierno, incluso cuando cumplen con los estándares mínimos de construcción. Asimismo, investigaciones como la de Espinosa y Cortés (2015), publicada en la Revista INVI, destacan que la

percepción de disconfort térmico por parte de los habitantes es persistente, y que existe una brecha entre el diseño teórico y el desempeño real de las soluciones constructivas aplicadas.

Esta brecha se agrava en contextos rurales o semiurbanos como el de Yungay, Región de Ñuble, donde la falta de estudios específicos que evalúen el comportamiento ambiental de viviendas sociales limita la posibilidad de generar soluciones contextualizadas y efectivas. En este sentido, la vivienda objeto de estudio —construida y entregada en el año 2023, equipada con ventilaciones pasivas y calefacción tradicional a leña— constituye un caso representativo de esta problemática: a pesar de su reciente construcción, no logra mantener condiciones adecuadas de confort térmico ni de calidad del aire interior, afectando directamente el bienestar de sus ocupantes.

Esta situación no solo compromete la habitabilidad, sino que también genera impactos negativos en la salud, el gasto energético familiar y el medio ambiente, debido al uso ineficiente de sistemas de calefacción y a la acumulación de contaminantes interiores como el CO₂. La ausencia de ventilación efectiva, especialmente en dormitorios y zonas húmedas, puede derivar en condiciones de insalubridad, contraviniendo los estándares establecidos por ASHRAE 55, ISO 7730 y la NCh 3307 sobre ventilación natural.

Por estas razones, esta investigación no se limita a diagnosticar el problema, sino que busca contribuir al desarrollo de estrategias de mejora técnica y económicamente viables, que puedan ser replicadas en viviendas de similares características, promoviendo así una vivienda social más digna, saludable y eficiente. La metodología propuesta —basada en mediciones in situ, simulaciones computacionales y análisis normativo— permitirá identificar con precisión las causas del disconfort y proponer soluciones fundamentadas, con un enfoque riguroso y contextualizado.

Contexto normativo ambiental en la Región de Ñuble: cobertura del PDA y su relación con Yungay

Actualmente, la Región de Ñuble cuenta con un Plan de Prevención y Descontaminación Atmosférica (PPDA) vigente, establecido mediante el Decreto

Supremo N°48/2016 del Ministerio del Medio Ambiente. Este plan se aplica exclusivamente a las comunas de Chillán y Chillán Viejo, y tiene como objetivo principal reducir las concentraciones de material particulado fino (MP2.5), principalmente derivadas del uso residencial de leña. Entre sus medidas destacan la gestión de episodios críticos, el recambio de calefactores y la mejora de la eficiencia térmica en viviendas nuevas y existentes.

Sin embargo, la comuna de Yungay no se encuentra actualmente bajo la jurisdicción de este PPDA, por lo que no está sujeta a sus exigencias específicas en cuanto a estándares mínimos de eficiencia térmica o restricciones en el uso de combustibles sólidos. Esto implica que, en el contexto actual, no existe un instrumento normativo ambiental regional que regule directamente las condiciones de habitabilidad o emisiones residenciales en Yungay.

Cabe señalar que el Ministerio del Medio Ambiente ha anunciado el desarrollo de un nuevo Plan de Descontaminación Atmosférica para la Región de Ñuble, el cual busca ampliar la cobertura territorial a un conjunto de 13 comunas. Aunque aún no se ha publicado el listado oficial, este nuevo instrumento podría incluir a Yungay, lo que modificaría sustancialmente el marco normativo aplicable a las viviendas sociales en dicha comuna, incorporando exigencias en eficiencia térmica, control de emisiones y uso de artefactos de calefacción.

10 Objetivo general:

Desarrollar una propuesta de solución integral a los problemas de desempeño ambiental de una vivienda social ubicada en la comuna de Yungay, Región de Ñuble, a través de datos reales y simulaciones con software, para mejorar las condiciones de habitabilidad del inmueble.

11 Objetivos específicos:

1. Diagnosticar las condiciones térmicas y de ventilación actuales de la vivienda en estudio.
2. Proponer soluciones de acondicionamiento térmico y de ventilación, que puedan ser incorporadas en la vivienda en estudio.

3. Evaluar económicamente las soluciones propuestas, para la vivienda en estudio ubicada en la comuna de Yungay.

12 Marco normativo

El presente estudio se fundamenta exclusivamente en normativa chilena vigente, considerando que los estándares internacionales de confort térmico y calidad ambiental han sido incorporados y adaptados al contexto nacional a través de la Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones (OGUC), las Normas Chilenas (NCh) y los documentos técnicos emitidos por el Ministerio de Vivienda y Urbanismo (MINVU).

Dado que la vivienda en estudio corresponde a una vivienda social ubicada en la comuna de Yungay, Región de Ñuble, se adoptan como referencia las exigencias establecidas para la zona térmica correspondiente, según la Reglamentación Térmica vigente.

- Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones (OGUC)

La Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones constituye el marco legal que regula las condiciones mínimas de habitabilidad y desempeño térmico de las edificaciones en Chile.

En particular, el Artículo 4.1.10 establece la Reglamentación Térmica de la envolvente, definiendo:

Valores máximos de transmitancia térmica (U) para muros, techumbres y pisos ventilados.

Requisitos para ventanas y puertas vidriadas, incluyendo límites de superficie vidriada según orientación.

Exigencias diferenciadas según zona climática.

En el caso de la Zona Térmica F, donde se emplaza la vivienda analizada, las exigencias son más estrictas debido a las condiciones climáticas predominantes. Esta reglamentación constituye el principal respaldo normativo para la evaluación del desempeño térmico de muros y ventanas en el presente estudio.

- NCh 1079 – Aislamiento térmico en edificios

La Norma Chilena NCh 1079 establece los procedimientos para el cálculo de la resistencia térmica (R) y transmitancia térmica (U) de elementos constructivos.

Esta norma permite:

Determinar el desempeño térmico de los muros existentes.

Calcular la transmitancia térmica ponderada de sistemas compuestos.

Verificar el cumplimiento de las exigencias establecidas en la OGUC.

En esta investigación, la NCh 1079 se utiliza para evaluar el comportamiento térmico de los muros originales y de la solución de mejoramiento adoptada (tipología 1.2.G.C1.5 del listado oficial MINVU).

- NCh 3307 – Ventilación natural en edificaciones

La NCh 3307 regula las condiciones mínimas de ventilación natural en recintos habitables, estableciendo criterios para asegurar una adecuada renovación de aire interior.

Su aplicación en el presente estudio permite:

Evaluar las condiciones de ventilación en dormitorios y espacios comunes.

Analizar la concentración de CO₂ medida in situ.

Justificar la necesidad de mejoras en los sistemas de ventilación pasiva.

Esta norma constituye el respaldo técnico para el análisis de calidad del aire interior desarrollado en la investigación.

- Normas Técnicas MINVU – Habitabilidad y control de humedad

El Ministerio de Vivienda y Urbanismo ha desarrollado Normas Técnicas específicas para viviendas sociales, entre ellas:

NTM 011/1, relacionada con condiciones de habitabilidad.

NTM 011/2, que establece rangos recomendados de humedad relativa interior (40–60%).

Estas normas complementan la reglamentación térmica, orientando la evaluación del confort interior y la prevención de patologías constructivas asociadas a condensación y humedad excesiva.

En el presente estudio, estas disposiciones permiten contextualizar los resultados obtenidos en las mediciones de temperatura y humedad relativa.

- Listado Oficial de Soluciones Constructivas (LOSCAT – MINVU/DITEC)

El Listado Oficial de Soluciones Constructivas para Acondicionamiento Térmico, emitido por la División Técnica de Estudio y Fomento Habitacional (DITEC) del MINVU, constituye un instrumento técnico que reúne soluciones constructivas validadas para el mejoramiento térmico de viviendas.

En esta investigación se adopta la tipología 1.2.G.C1.5: “Muro entramado de madera 2"x3" con listoneado 2"x3" y poliestireno expandido”, la cual corresponde a una solución oficial aplicable a mejoramientos de viviendas existentes.

La incorporación de esta tipología asegura que la propuesta técnica desarrollada se encuentra alineada con los criterios institucionales vigentes para intervenciones térmicas en vivienda social.

- Instrumentos ambientales regionales

Si bien la comuna de Yungay no se encuentra actualmente bajo un Plan de Descontaminación Atmosférica vigente, la Región de Ñuble cuenta con antecedentes normativos en materia de calidad del aire que inciden indirectamente en la eficiencia energética y el uso de sistemas de calefacción.

Este contexto refuerza la pertinencia de desarrollar estrategias de mejoramiento térmico que reduzcan la demanda energética y mejoren las condiciones de habitabilidad.

13 Marco teórico

a) Confort térmico:

Condición en la que las personas experimentan un ambiente interior aceptable según los parámetros de temperatura, humedad relativa y ventilación definidos por la NCh 3307:2015, que establece las condiciones necesarias de ventilación y niveles interiores adecuados para mantener confort.

b) Envoltente térmica:

Conjunto de elementos que separan el ambiente interior calefaccionado del exterior, tales como muros, techumbres, pisos ventilados y ventanas, regulados por la NCh 1079:2008.

c) Puente térmico:

Sector de la envoltente donde existe una disminución de la resistencia térmica debido a una discontinuidad constructiva o a la presencia de un material más conductivo, tal como lo establece la NCh 853:2013.

d) Asoleamiento:

Exposición directa de superficies a radiación solar, regulada por la OGUC (Art. 2.6), que determina condiciones mínimas de asoleamiento para asegurar habitabilidad y control térmico pasivo.

e) Sombreamiento:

Condición producida por elementos naturales o constructivos que bloquean o reducen la radiación solar directa sobre superficies de la envoltente, con el objetivo de controlar las ganancias térmicas y mejorar el confort interior. Su aplicación forma parte de las estrategias de diseño pasivo para el control del asoleamiento y la eficiencia energética de la edificación.

f) Calidad del aire interior (CAI):

Condición del aire interior respecto a la concentración de CO₂, humedad y contaminantes, definida por las exigencias de ventilación y renovación de aire establecidas en la NCh 3307:2015 y los rangos de humedad y salubridad del aire exigidos por la NTM 011/2 (MINVU).

g) Transmitancia térmica (U):

Cantidad de calor que atraviesa un elemento por unidad de superficie y diferencia de temperatura, según la definición de la NCh 789:2008, donde un menor valor U corresponde a una mejor aislación térmica.

h) Resistencia térmica (R):

Oposición al flujo de calor de un material, determinada por la relación entre su espesor y su conductividad térmica, según la NCh 789:2008.

i) Aislamiento térmico:

Conjunto de materiales o sistemas que reducen la transferencia de calor en los elementos de la envolvente, según los espesores y conductividades exigidos por la NCh 1079:2008 para cada zona térmica.

14 Metodología

14.1 Diagnóstico de condiciones térmicas.

En esta primera etapa se realizará un diagnóstico integral del comportamiento térmico y de ventilación de la vivienda, con el objetivo de identificar las principales deficiencias de la envolvente y de la calidad del aire interior.

Para ello se desarrollarán las siguientes actividades:

Levantamiento técnico de la vivienda

Se realizará la caracterización constructiva de la vivienda, identificando los materiales, espesores y configuraciones de los principales elementos de la envolvente térmica, tales como muros, techumbre y ventanas.

Esta información permitirá determinar las propiedades térmicas de los elementos constructivos y establecer una base técnica para el análisis posterior.

Evaluación normativa de la envolvente

A partir de las características constructivas levantadas, se calculará la transmitancia térmica de los principales elementos de la envolvente, incluyendo muros, techumbre y ventanas, utilizando los procedimientos establecidos en la NCh 1079 y NCh 789.

Posteriormente, los resultados obtenidos se compararán con las exigencias de la Reglamentación Térmica vigente, contenida en el Artículo 4.1.10 de la Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones (OGUC).

Mediciones in situ de variables ambientales

Con el objetivo de evaluar las condiciones reales de confort térmico y calidad del aire interior, se realizará un monitoreo ambiental en recintos representativos de la vivienda.

Las variables para registrar serán:

- Temperatura del aire interior (°C)
- Concentración de dióxido de carbono (CO₂ ppm)

Para ello se utilizará el equipo HOBO MX CO₂/Temp/RH Data Logger, el cual permitirá realizar registros continuos de las variables ambientales durante el periodo de monitoreo.

Los sensores se instalarán en recintos relevantes de la vivienda, tales como dormitorios y living-comedor, considerando su importancia en términos de ocupación y permanencia de los habitantes.

Análisis de asoleamiento de la vivienda

Se realizará un análisis de asoleamiento de la vivienda, considerando su orientación y su relación con el entorno inmediato.

Para ello se utilizará la herramienta Sun Path, mediante la cual se analizará la trayectoria solar en distintas fechas representativas del año, permitiendo identificar la incidencia de radiación solar sobre las fachadas y recintos de la vivienda.

Este análisis permitirá comprender la influencia de la radiación solar en las variaciones de temperatura interior registradas durante el monitoreo.

Análisis del desempeño térmico y ambiental

Finalmente, los resultados obtenidos del levantamiento constructivo, las mediciones ambientales y el análisis de asoleamiento serán integrados para evaluar el desempeño

térmico y ambiental de la vivienda.

Este análisis permitirá identificar las principales deficiencias de la envolvente térmica, los sistemas de ventilación natural y las condiciones de habitabilidad interior.

14.2 Desarrollo de propuestas de mejoramiento

A partir de los resultados obtenidos en el diagnóstico, se desarrollarán propuestas de intervención orientadas a mejorar el desempeño térmico y la calidad del aire interior de la vivienda.

Las estrategias de mejoramiento se enfocarán en los principales elementos de la envolvente, considerando:

Mejoramiento térmico de muros perimetrales mediante incorporación de aislación adicional basada en soluciones constructivas del listado oficial del MINVU.

Mejoramiento del aislamiento térmico en el cielo de la vivienda mediante aumento del espesor de aislación térmica.

Reemplazo de ventanas existentes por sistemas con doble acristalamiento hermético (DVH) de mayor eficiencia energética.

Adicionalmente, se evaluará la incorporación de sistemas de ventilación pasiva, mediante la instalación de aireadores en muros exteriores de recintos habitables, con el objetivo de mejorar la renovación de aire interior.

Para cada una de las soluciones propuestas se realizará la verificación de su desempeño térmico, mediante cálculos de transmitancia térmica conforme a los procedimientos establecidos en las normas chilenas aplicables.

14.3 Evaluación económica de las soluciones

En la última etapa se desarrollará una evaluación económica de las mejoras propuestas, con el objetivo de determinar su factibilidad de implementación.

Para ello se elaborarán análisis de precios unitarios (APU) para cada una de las partidas constructivas necesarias para ejecutar las intervenciones planteadas.

Los análisis considerarán los siguientes componentes:

- Materiales
- Mano de obra
- Herramientas y equipos
- Leyes sociales

A partir de estos análisis se elaborará un presupuesto total de la intervención, permitiendo estimar el costo de implementación de las mejoras propuestas y evaluar su viabilidad en viviendas sociales de características similares.

15 Capítulo 1: Diagnóstico de condiciones térmicas

15.1 Diagnóstico de la vivienda existente

Con el objetivo de evaluar el desempeño térmico de la vivienda en estudio, se desarrolló un diagnóstico integral que considera la caracterización constructiva de la envolvente, el análisis de las condiciones climáticas del emplazamiento y la medición in situ de variables ambientales interiores.

La vivienda se encuentra ubicada en la comuna de Yungay, Región de Ñuble, correspondiente a la Zona Térmica F según la Reglamentación Térmica vigente. Esta condición climática implica mayores exigencias en términos de aislación y control de pérdidas térmicas, especialmente durante el periodo invernal.

15.2 Despliegue experimental y zonas de medición

Para el levantamiento de variables ambientales críticas se desarrolló un despliegue experimental al interior de la vivienda, considerando recintos representativos del uso habitacional.

Se definieron las siguientes zonas de monitoreo:

Zona social – Living comedor

Evaluación de condiciones de confort térmico en el principal recinto de uso diurno y familiar.

Zona privada – Dormitorio segundo piso

Monitoreo en recinto con orientación norte, expuesto a mayores niveles de ganancia térmica solar.

Zona privada – Dormitorio primer piso

Registro de variables ambientales en recinto de orientación norte, representativo de condiciones térmicas en espacios de descanso.

Variables ambientales medidas

Durante el periodo de monitoreo se registraron de manera continua los siguientes parámetros:

Temperatura de aire (°C): Registro de temperatura de bulbo seco interior.

Calidad del aire (CO₂ ppm): Medición de concentración de dióxido de carbono para evaluar condiciones de ventilación y renovación de aire.

Metodología de instrumentación

Para la medición de variables ambientales se utilizó el equipo HOBO MX CO₂/Temp/RH Data Logger, el cual permite el registro continuo de parámetros críticos de confort interior.

Especificaciones técnicas del equipo

CO₂: Rango 0 – 5.000 ppm
Precisión: ±50 ppm ±5%

Temperatura: 0° a 50°C
Precisión: ±0,21°C

Humedad relativa: 1% a 90%
Precisión: ±2%

1.1.1.1 Ilustración 1 instrumento medidor HOBO MX CO₂ logger



Resultados del monitoreo ambiental interior

En función de la metodología de instrumentación previamente descrita, se procedió al análisis de los datos obtenidos durante el periodo de monitoreo, considerando las variables de temperatura del aire y concentración de dióxido de carbono (CO₂) en los recintos definidos como zonas críticas de estudio.

Temperaturas interiores

En los siguientes gráficos están los datos capturados desde el día 02-10-2015 hasta 15-11-2025 los cuales fueron analizados y comparados

Mediciones de temperatura en lugares objetivo

Según la OMS las temperaturas recomendables son 18°C como mínimo y 28°C como máximo, ya que temperaturas fuera de estos rangos pueden traer problemas de salud a los habitantes de las viviendas.

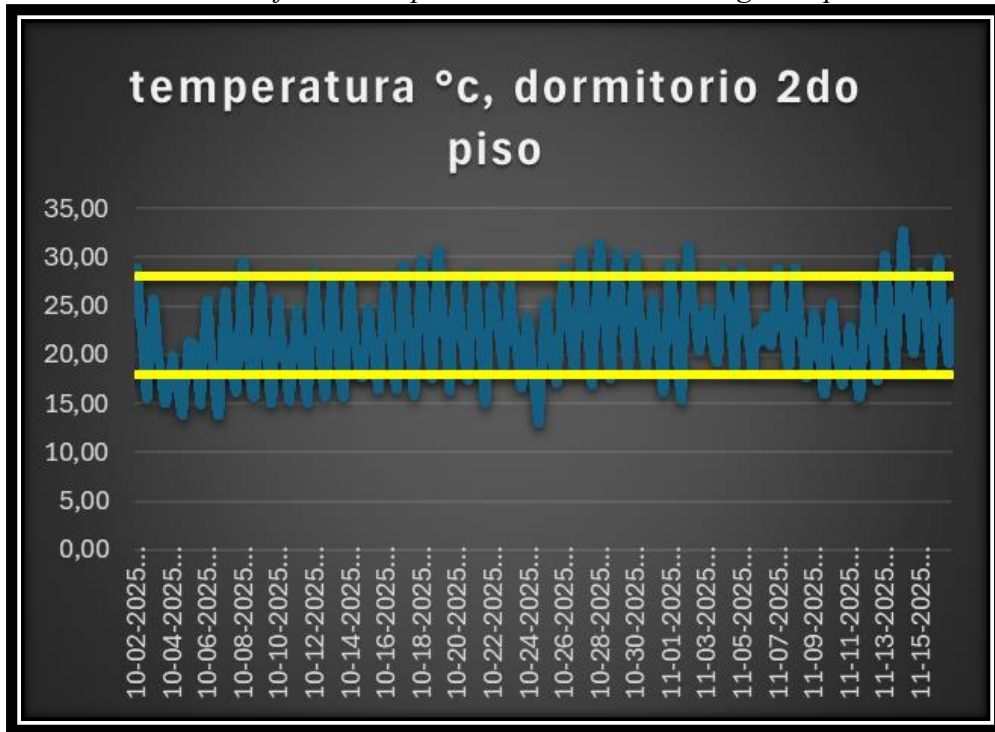
En el caso del dormitorio se puede apreciar un sobre calentamiento llegando a más de 32°C lo cual según la OMS esto es peligroso para la salud para los habitantes.

En el caso del living-comedor en la mayoría del tiempo se mantiene dentro de los parámetros, pero tiene algunos peak de temperatura llegando a los 30°C lo cual podría traer consecuencias a la salud según la OMS.

Los resultados se presentan a continuación mediante gráficos de registro continuo, correspondientes a los lugares medidos de la vivienda, ambos con orientación norte y expuestos a mayores condiciones de ganancia térmica y ocupación prolongada.

La selección de estos recintos responde a su relevancia dentro del análisis de confort térmico, al tratarse de espacios de permanencia nocturna y descanso, donde las condiciones ambientales interiores inciden directamente en la habitabilidad de la vivienda.

15.2.1.1 Gráfico 1 Temperatura – Dormitorio segundo piso

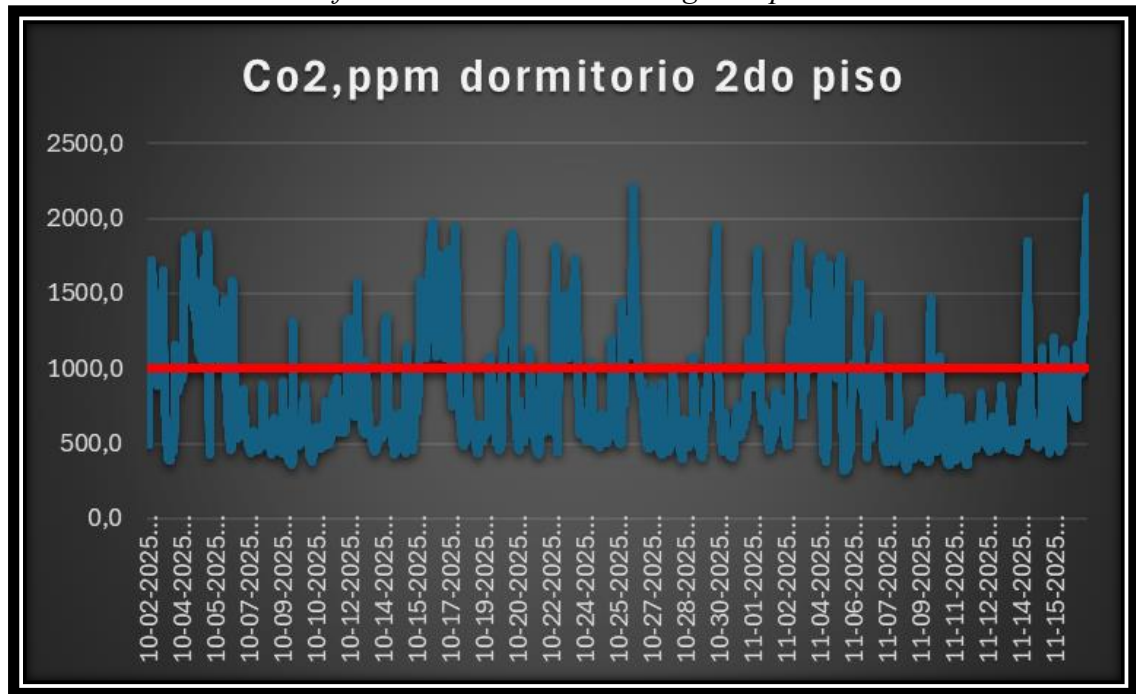


El monitoreo térmico en el dormitorio del segundo piso presenta variaciones más acentuadas en comparación con el recinto del primer nivel, registrándose mayores amplitudes térmicas entre periodos diurnos y nocturnos.

Durante el día se observan incrementos de temperatura asociados a la orientación norte y a la exposición directa a radiación solar, mientras que en horarios nocturnos se producen descensos significativos, evidenciando pérdidas térmicas por la envolvente.

Estas fluctuaciones indican una baja inercia térmica del sistema constructivo liviano, situación coherente con soluciones de entramado de madera sin aislación complementaria, evaluables bajo los criterios de transmitancia establecidos en la NCh 1079.

15.2.1.2 Gráfico 2 CO₂ – Dormitorio segundo piso

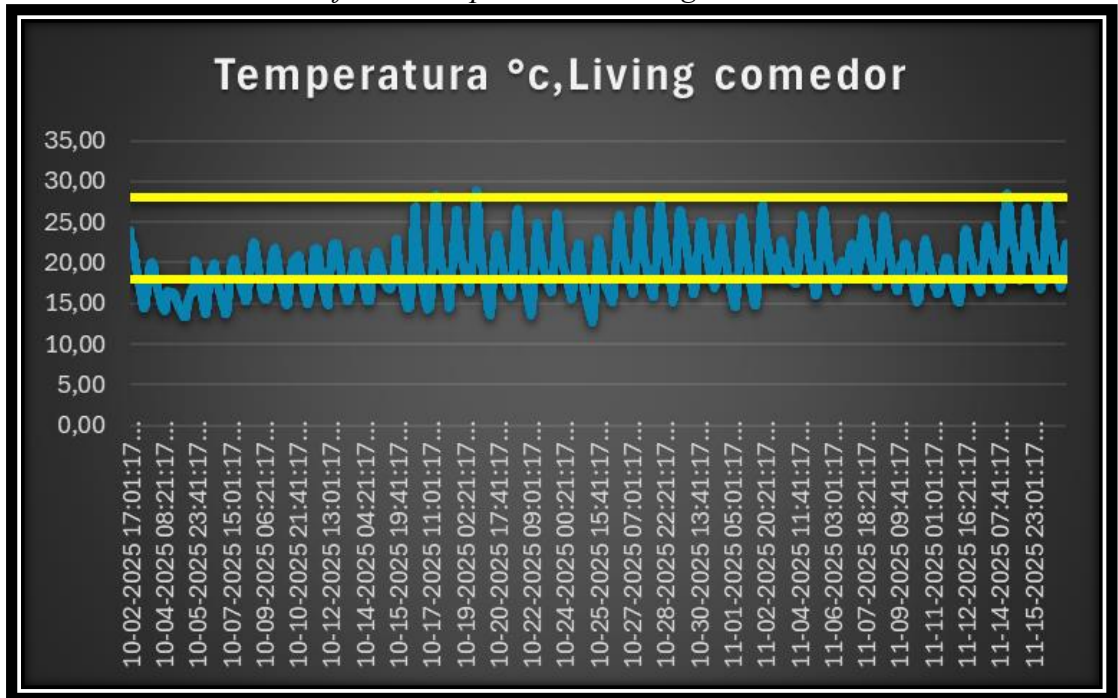


En el dormitorio del segundo piso se observan concentraciones de CO₂ similares o superiores a las registradas en el primer nivel, particularmente durante horarios nocturnos, donde la ventilación natural es limitada.

La acumulación de CO₂ en estos periodos evidencia una baja tasa de renovación de aire, situación que incide directamente en el confort interior y en la calidad ambiental del recinto.

Según los criterios establecidos en la NCh 3307, niveles elevados de CO₂ indican insuficiencia de ventilación, justificando la incorporación de estrategias pasivas de renovación de aire como parte de las mejoras propuestas.

15.2.1.3 Gráfico 3 Temperatura – Living-comedor

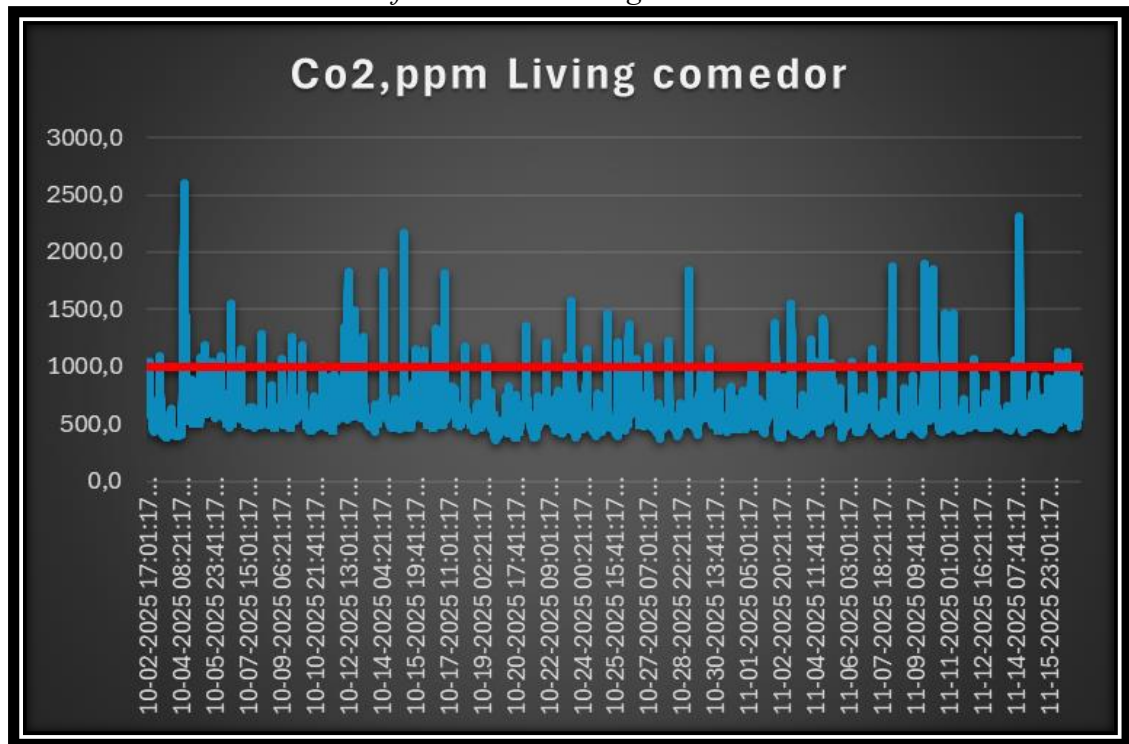


El registro de temperatura interior correspondiente al living-comedor del primer piso evidencia fluctuaciones térmicas a lo largo del periodo de monitoreo, observándose descensos de temperatura durante horarios nocturnos y primeras horas de la mañana, condiciones asociadas a pérdidas térmicas de la envolvente.

Estos valores se sitúan en rangos inferiores a los considerados confortables para recintos habitables, lo cual permite inferir un desempeño térmico insuficiente del cerramiento vertical y de los elementos vidriados presentes en el recinto.

Esta condición se relaciona con lo establecido en la Reglamentación Térmica contenida en la OGUC, la cual exige condiciones de aislación adecuadas para mantener el confort interior en zonas térmicas frías como la Zona F.

15.2.1.4 Gráfico 4 CO₂ – Living-comedor



Los registros de concentración de dióxido de carbono (CO₂) en el living-comedor del primer piso evidencian incrementos durante periodos de ocupación prolongada, superando en determinados momentos los niveles recomendados para espacios habitables.

Esta condición refleja deficiencias en la renovación de aire interior, asociadas a sistemas de ventilación natural insuficientes, especialmente en recintos cerrados durante periodos nocturnos.

De acuerdo con la NCh 3307, los niveles de CO₂ constituyen un indicador de calidad del aire interior y de eficiencia en la ventilación, por lo que los valores observados permiten inferir condiciones de habitabilidad subóptimas.

Análisis de causas de acumulación de CO₂

Los niveles elevados de concentración de dióxido de carbono registrados durante el monitoreo se asocian principalmente a condiciones de ventilación natural insuficiente en los recintos evaluados.

Los dormitorios monitoreados corresponden a espacios de uso nocturno prolongado, donde la ocupación continua genera emisiones constantes de CO₂ producto de la respiración de los usuarios. Durante estos periodos, las ventanas permanecen mayoritariamente cerradas, limitando la renovación de aire interior.

Adicionalmente, el sistema de apertura existente, correspondiente a ventanas correderas, presenta una capacidad reducida de ventilación efectiva en comparación con otros sistemas de apertura, restringiendo el flujo de aire entrante y saliente.

La ausencia de ventilación cruzada y la limitada infiltración natural de la envolvente favorecen la acumulación progresiva de CO₂, situación que se refleja en los picos registrados durante horarios nocturnos.

De acuerdo con los criterios establecidos en la NCh 3307, estas condiciones evidencian una deficiencia en la renovación de aire interior, afectando la calidad ambiental de los recintos.

Análisis de asoleamiento de la vivienda

Con el objetivo de evaluar la incidencia de la radiación solar sobre la vivienda en estudio, se desarrolló un análisis de asoleamiento considerando la orientación del inmueble y su relación con el entorno inmediato.

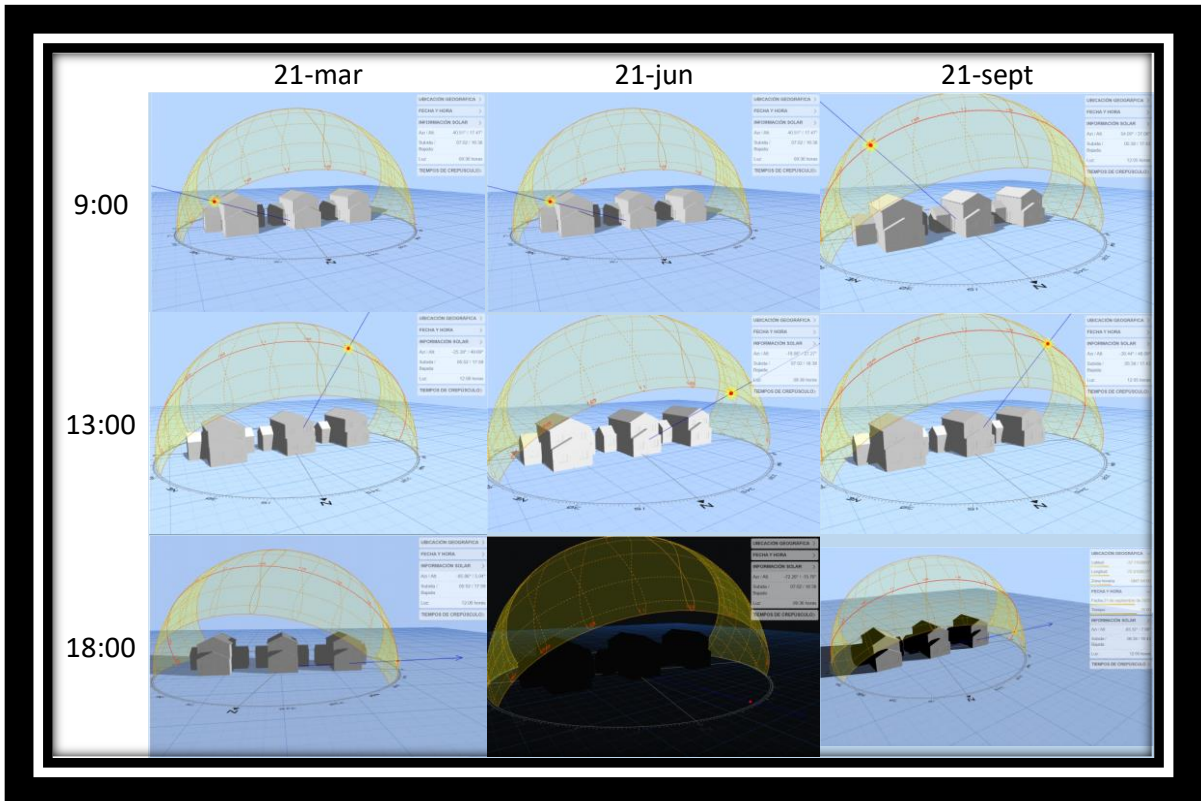
La vivienda se encuentra orientada aproximadamente 15° hacia el noreste, condición que favorece la exposición solar directa en fachadas principales, particularmente durante horas de la mañana y primeras horas de la tarde.

15.2.1.5 Ilustración 2 ubicación satelital de vivienda



A partir de la simulación de trayectorias solares mediante la herramienta Sun Path, se analizaron las condiciones de asoleamiento en distintos periodos del año, considerando fechas representativas de equinoccio de otoño (21 de marzo), solsticio de invierno (21 de junio) y equinoccio de primavera (21 de septiembre), en horarios de 9:00, 13:00 y 18:00 horas.

15.2.1.6 Ilustración 3 matriz 3X3



Los resultados evidencian que la vivienda analizada presenta exposición solar directa durante gran parte del día en las distintas estaciones evaluadas, especialmente en recintos con orientación norte, tales como los dormitorios monitoreados térmicamente en el presente estudio.

Durante periodos estivales y de media estación se observan mayores niveles de radiación incidente sobre fachadas y cubiertas, lo que contribuye al incremento de temperaturas interiores. En contraste, durante el periodo invernal, si bien el ángulo solar es menor, la vivienda continúa recibiendo asoleamiento directo, aunque con menor intensidad y duración.

Este comportamiento resulta relevante para el diagnóstico térmico, ya que la ganancia solar influye directamente en las variaciones de temperatura interior registradas en los monitoreos, particularmente en el dormitorio ubicado en el segundo nivel, el cual presenta mayor exposición a radiación solar directa.

Asimismo, el análisis permite identificar la ausencia de elementos de control solar o sombreado en la envolvente, situación que incide tanto en el sobrecalentamiento estival como en la falta de control pasivo de la radiación

incidente.

Análisis del desempeño térmico respecto a exigencias normativas

El diagnóstico desarrollado permitió evaluar el desempeño térmico de la vivienda en estudio mediante la caracterización constructiva de su envolvente, el monitoreo de variables ambientales interiores y el análisis de las condiciones de asoleamiento.

A partir de la evaluación de los elementos constructivos, se determinaron valores de transmitancia térmica correspondientes a los principales componentes de la envolvente. Los muros perimetrales presentan valores aproximados entre $U = 0,59 \text{ W/m}^2\text{K}$ y $U = 0,74 \text{ W/m}^2\text{K}$, dependiendo del tipo de revestimiento exterior, mientras que la techumbre alcanza un valor cercano a $U = 0,66 \text{ W/m}^2\text{K}$.

Estos resultados evidencian niveles de resistencia térmica limitados frente a las exigencias establecidas en la Reglamentación Térmica vigente para la Zona Climática F, donde se requieren soluciones de mayor eficiencia para asegurar condiciones adecuadas de habitabilidad interior.

En el caso de las ventanas existentes, se constató la presencia de sistemas de vidrio simple monolítico de 3 mm, los cuales presentan transmitancias térmicas elevadas y un bajo desempeño energético. La verificación normativa realizada mediante el cálculo de porcentaje de superficie vidriada determinó que la condición existente no cumple con lo establecido en la actualización del Artículo 4.1.10 de la OGUC, donde se limita a 0% la superficie vidriada para soluciones de este tipo en la zona térmica analizada.

Complementariamente, los resultados del monitoreo ambiental interior evidenciaron fluctuaciones térmicas significativas en los recintos evaluados, particularmente en dormitorios con orientación norte, donde se registraron episodios de sobrecalentamiento diurno y descensos térmicos nocturnos, asociados al bajo desempeño de la envolvente y a la incidencia de radiación solar directa.

En términos de calidad del aire interior, las mediciones de concentración de CO_2 permitieron identificar episodios de acumulación por sobre niveles recomendados, lo cual refleja condiciones insuficientes de ventilación natural, en concordancia con los criterios establecidos en la NCh 3307.

Asimismo, el análisis de asoleamiento evidenció una alta exposición solar de la

vivienda, especialmente en fachadas norte, situación que incide tanto en las ganancias térmicas estivales como en la variabilidad térmica interior registrado durante el monitoreo.

En síntesis, el diagnóstico integral permitió identificar brechas significativas en el desempeño térmico y ambiental de la vivienda, asociadas principalmente a la baja resistencia térmica de los elementos de la envolvente, el bajo desempeño de las ventanas existentes y condiciones limitadas de ventilación natural.

Estas condiciones justifican la necesidad de implementar estrategias de mejoramiento térmico y de calidad ambiental interior, las cuales serán desarrolladas en el capítulo siguiente como parte de la propuesta de intervención técnica.

16 Capítulo 2: Desarrollo de propuestas de mejoramiento

16.1 Propuesta de mejoramiento térmico

16.1.1 Consideraciones generales de la propuesta

A partir de los resultados obtenidos en el diagnóstico térmico y ambiental de la vivienda, se identificaron deficiencias significativas en el desempeño de la envolvente y en las condiciones de calidad del aire interior.

Las principales brechas detectadas se relacionan con:

- Baja resistencia térmica de los muros perimetrales
- Presencia de ventanas de vidrio simple de bajo desempeño energético
- Fluctuaciones térmicas interiores asociadas a pérdidas y ganancias de calor
- Elevadas concentraciones de CO₂ en recintos de uso nocturno, producto de ventilación natural insuficiente

En función de estos resultados, se plantea una propuesta de mejoramiento integral orientada a incrementar la eficiencia térmica de la vivienda y optimizar sus condiciones de habitabilidad interior.

La intervención considera tres líneas principales de acción:

- Mejoramiento térmico de muros perimetrales.
- Reemplazo de ventanas por sistemas de mayor eficiencia energética.
- Incorporación de estrategias pasivas de ventilación para el control de calidad del aire interior.

16.1.2 Mejoramiento térmico de muros

Justificación técnica de la intervención

A partir del diagnóstico térmico desarrollado, se determinó que los muros perimetrales existentes presentan valores de transmitancia térmica entre $U = 0,59$ W/m²K y $U = 0,74$ W/m²K, dependiendo del tipo de revestimiento exterior.

Si bien estos valores incorporan una capa de aislación térmica, su desempeño resulta limitado frente a las exigencias establecidas para la Zona Térmica F en la Reglamentación Térmica vigente (Art. 4.1.10 OGUC), donde se requieren soluciones de mayor resistencia térmica para asegurar condiciones adecuadas de habitabilidad interior.

Asimismo, los registros de temperatura obtenidos en los recintos monitoreados evidenciaron pérdidas térmicas nocturnas y fluctuaciones significativas, coherentes con una envolvente de baja inercia térmica y resistencia limitada.

En función de lo anterior, se plantea el mejoramiento térmico de los muros perimetrales como medida prioritaria dentro de la intervención propuesta.

Solución adoptada: Tipología 1.2.G.C1.5 (MINVU)

Para el mejoramiento de la envolvente se adopta la solución oficial contenida en el Listado Oficial de Soluciones Constructivas (LOSCAT) del Ministerio de Vivienda y Urbanismo, correspondiente a la tipología:

1.2.G.C1.5 – Muro entramado de madera 2"x3" con listoneado 2"x3" y poliestireno expandido.

Esta solución contempla la incorporación de una estructura adicional de madera 2"x3" por el exterior del muro existente, generando una nueva cavidad destinada a alojar aislación térmica de poliestireno expandido.

La elección de esta tipología se fundamenta en los siguientes criterios:

Compatibilidad constructiva con el sistema existente (entramado 2"x3").

Solución validada oficialmente por MINVU.

Aplicabilidad en mejoramientos de vivienda social.

Incremento significativo de la resistencia térmica del sistema.

Descripción constructiva de la mejora

La intervención consiste en:

- Mantener el tabique estructural existente.
- Incorporar un listoneado exterior de madera 2"x3".
- Instalar aislación térmica de poliestireno expandido de 65mm 15kg/m³ en la nueva cavidad generada.
- instalar revestimiento exterior (plancha fibrocemento 6mm).

Esta configuración permite aumentar el espesor total del sistema y mejorar su desempeño térmico sin intervenir la estructura principal de la vivienda.

Evaluación térmica de la solución mejorada

Mediante la aplicación del procedimiento de cálculo establecido en la NCh 1079, se determinó la nueva transmitancia térmica del sistema mejorado, considerando la incorporación de la capa adicional de aislación.

El resultado evidencia una disminución significativa del valor U respecto a la condición original, mejorando el desempeño energético del muro y acercándolo a las exigencias normativas vigentes para la Zona Climática F.

La reducción de transmitancia térmica implica:

- Disminución de pérdidas térmicas en invierno.
- Mayor estabilidad térmica interior.
- Reducción en la demanda de calefacción.
- Mejora del confort habitacional.

Detalle constructivo de la solución de mejoramiento

La siguiente figura presenta el detalle constructivo correspondiente a la solución de mejoramiento térmico adoptada para los muros perimetrales de la vivienda, basada en la tipología 1.2.G.C1.5 del Listado Oficial de Soluciones Constructivas

del MINVU.

La propuesta contempla la incorporación de un listoneado exterior de madera de escuadría 2"x3" sobre el tabique existente, generando una nueva cavidad destinada a alojar aislación térmica de poliestireno expandido de densidad 15 kg/m³.

El sistema se complementa con la instalación de placa estructural OSB, barrera de humedad mediante fieltro asfáltico y revestimiento exterior de fibrocemento, configurando una solución multicapa orientada a incrementar la resistencia térmica del cerramiento.

Desde el punto de vista constructivo, la intervención resulta compatible con la estructura existente, permitiendo mejorar el desempeño energético del muro sin modificar su sistema portante original.

Detalle constructivo de solución de mejoramiento térmico de muro perimetral (Tipología 1.2.G.C1.5 – MINVU).

16.1.2.1 Ilustración 4 detalle de la solución 1.2.G.C1.5(LOSCAT_E13_2025_DITEC-MINVU-2025)

DESCRIPCION SOLUCION CONSTRUCTIVA		DETALLE CONSTRUCTIVO / ISOMETRICA / ESCANTILLON	
<p>Muro tabique de pino 2"x3" dimensionado seco con revestimiento interior de placa de yeso cartón de espesor 10mm y aislante térmico de poliestireno expandido de densidad 15kg/m³ y espesor 65mm, instalado entre pies derechos. Por la cara exterior del tabique se instala una placa OSB estructural de espesor 9,5mm y sobre la cual se instalan, de manera vertical, listoneado de pino 2"x3" dimensionado seco, separados cada 60cm. Entre los listones de pino se instala poliestireno expandido de espesor 65mm y densidad 15kg/m³. OPCIONALMENTE: sobre los listones se instala placa OSB de espesor 8mm. Barrera de humedad fieltro asfáltico de 15lbs con retorno superior en vanos e inferior sobre listón de arranque. Como revestimiento exterior se instala placa de fibrocemento ranurado de espesor 6mm o tinglado de fibrocemento de espesor 6mm.</p> <p>Si el diseño lo requiere, se instala barrera de vapor bajo el revestimiento interior, según análisis higrotérmico.</p>			
1	Estructura pino 2"x3"	4	Poliestireno expandido de 15kg/m ³ y 70mm
2	Yeso cartón 10mm	5	Placa OSB 9,5mm
3	Barrera de vapor (según análisis higrotérmico)	6	Pino 2"x3" (listoneado)
		7	Fieltro 15lbs con retorno
		8	Cortagotera
		9	Fibrocemento 6mm (placa ranurada o tinglado)

Evaluación de transmitancia térmica de la solución propuesta

Con el objetivo de cuantificar el impacto térmico de la solución de mejoramiento adoptada, se procedió al cálculo de la transmitancia térmica de los muros existentes y su comparación con la condición mejorada, aplicando el método establecido en la NCh 1079 para elementos constructivos compuestos.

Los resultados se presentan a continuación para las distintas configuraciones de envolvente evaluadas.

Cálculo de transmitancia térmica muro con solución de mejoramiento térmico.

16.1.2.2 Tabla 1 transmitancia térmica de muro con la solución integrada

Muro con solución			
Cálculo de transmitancia térmica			
U1 ()			
Elemento	Espesor	Conductividad	Valor
Rsi			0,12
placa Fibrocemento ranurado	0,006	0,216	0,03
plancha Osb	0,008	0,13	0,06
Pino 2x3	0,076	0,104	0,73
plancha Osb	0,0095	0,13	0,07
Pino 2x3	0,076	0,104	0,73
Yeso carton	0,01	0,24	0,04
Rse			0,05
		Rt	1,84
		U1	0,54

U2 ()			
Elemento	Espesor	Conductividad	Valor
Rsi			0,12
placa Fibrocemento ranurado	0,006	0,216	0,03
plancha Osb	0,008	0,13	0,06
poliestireno expandido 15kg/m ³	0,075	0,041	1,83
plancha Osb	0,0095	0,13	0,07
poliestireno expandido 15kg/m ³	0,075	0,041	1,83
yeso carton	0,01	0,24	0,04
Rse			0,50
		Rt	4,5
		U2	0,22

	Valor	%
U1	0,54	15%
U2	0,2	85%

U ponderado	0,27	(w/m²k)
--------------------	-------------	---------------------------

Cálculo de transmitancia térmica muro existente revestido existentes en la vivienda.

16.1.2.3 Tabla 2 Valores U de muros sin mejora integrada

Muro sididng				Muro zinc alum			
Cálculo de transmitancia térmica				Cálculo de transmitancia térmica			
U1 ()				U1 ()			
Elemento	Espesor	Conductividad	Valor	Elemento	Espesor	Conductividad	Valor
Rsi			0,12	Rsi			0,12
siding fibrocemento	0,006	0,24	0,03	pino 2x3	0,076	0,104	0,73
pino 2x3	0,076	0,104	0,73	yeso carton	0,01	0,24	0,04
yeso carton	0,01	0,24	0,04	Rse			0,05
Rse			0,05				
		Rt	0,97			Rt	0,94
		U1	1,034			U1	1,06
U2 ()				U2 ()			
Elemento	Espesor	Conductividad	Valor	Elemento	Espesor	Conductividad	Valor
Rsi			0,12	Rsi			0,12
siding fibrocemento	0,006	0,24	0,03	lana mineral	0,05	0,04	1,25
lana mineral	0,05	0,04	1,25	yeso carton	0,01	0,24	0,04
yeso carton	0,01	0,24	0,04	Rse			0,05
Rse			0,5				
		Rt	1,9			Rt	1,5
		U2	0,52			U2	0,7
	Valor	%			Valor	%	
	U1	1,03	15%		U1	1,06	15%
	U2	0,5	85%		U2	0,7	85%
	U ponderado	0,59	(w/m2k)		U ponderado	0,74	(w/m2k)

A partir de los cálculos desarrollados, se observa una diferencia significativa en el desempeño térmico de los sistemas analizados.

Los muros existentes presentan transmitancias térmicas ponderadas de 0,59 W/m²K para revestimiento de fibrocemento y 0,74 W/m²K para revestimiento metálico de zinc, evidenciando este último un comportamiento más desfavorable debido a la mayor conductividad térmica del material exterior.

La incorporación de la solución de mejoramiento basada en la tipología 1.2.G.C1.5 permite reducir la transmitancia térmica del sistema hasta valores cercanos a 0,27 W/m²K, lo que representa una disminución superior al 50% respecto a la condición original.

Esta reducción implica un aumento significativo de la resistencia térmica del muro, disminuyendo las pérdidas energéticas hacia el exterior durante periodos

invernales y mejorando la estabilidad térmica interior de la vivienda.

Desde el punto de vista normativo, la mejora acerca el desempeño del cerramiento a las exigencias establecidas en la Reglamentación Térmica vigente para la Zona Climática F, contribuyendo al cumplimiento de los estándares de habitabilidad térmica aplicables a viviendas sociales.

Resumen de cálculos

Condición de muro	U (W/m ² K)
Existente fibrocemento	0,59
Existente zinc	0,74
Mejorado 1.2.G.C1.5	0,27

16.1.3 Mejora térmica del cielo

Como medida de mejoramiento térmico del complejo de techumbre se adopta la solución constructiva 1.1.G.A.1 – Lana de fibra de vidrio sobre listoneado de cielo, perteneciente al listado oficial de soluciones constructivas del MINVU.

La selección de esta solución responde a su alta compatibilidad con la configuración constructiva existente de la vivienda, compuesta por cerchas de madera y cielo horizontal de placas de yeso-cartón, permitiendo implementar la mejora sin modificaciones estructurales relevantes.

El sistema considera la instalación de aislación térmica de lana de fibra de vidrio sobre el cielo, entre cerchas de madera, pudiendo incorporar barrera de vapor según análisis higrotérmico.

De acuerdo con los valores de transmitancia térmica indicados en la ficha técnica MINVU, la incorporación de un espesor de aislante igual o superior a 200 mm permite alcanzar una transmitancia térmica aproximada de

$$U=0,25\text{W/m}^2\text{K},$$

cumpliendo las exigencias térmicas aplicables a la Zona Térmica F.

16.1.3.1 Ilustración 5 Detalle de la mejora en el cielo 1.1.G.A.1.1(LOSCAT_E13_2025_DITEC-MINVU-2025)

1.1.G.A.1 LANA DE FIBRA DE VIDRIO

1.1.G.A.1.1		LANA DE FIBRA DE VIDRIO SOBRE LISTONEADO DE CIELO		
INSTITUCIÓN	MINVU	VIGENCIA	26/11/2025	
DESCRIPCIÓN DE LA SOLUCIÓN		IMAGEN / DETALLE / ISOMÉTRICA		
<p>Estructura de cerchas de madera (según cálculo), distanciadas 60cm entre sí. Bajo las cerchas se ejecuta un listoneado de pino y cielo horizontal de planchas de yeso cartón de espesor 10mm. Sobre el listoneado de cielo, y entre las cerchas, se instala aislante térmico de lana de fibra de vidrio (con o sin papel) de densidad $\geq 11\text{kg/m}^3$ y espesor variable según emplazamiento.</p> <p>Si el diseño lo requiere, se instala barrera de vapor sobre plancha de cielo, según análisis higrotérmico.</p>				
U	Rt	Espesor aislante		
[W/m ² K]	[m ² K/W]	[mm]		
0,63	1,58	60		
0,50	1,99	80		
0,42	2,37	100		
0,37	2,73	120		
0,33	3,06	140		
0,27	3,69	180		
0,25	3,98	200		
MATERIAL AISLANTE				
NOMBRE COMERCIAL	INSTITUCIÓN / MARCA	Densidad Nominal [kg/m ³]	Conductividad Térmica [W/mK]	FORMATO
LANA DE FIBRA DE VIDRIO	GENÉRICA	≥ 11	$\leq 0,042$	ROLLO PLANCHA
<p><i>El espesor final de aislante requerido se podrá alcanzar sumando capas, según el espesor comercial, instaladas de manera traslapada, idealmente, cubriendo la parte inferior de las cerchas.</i></p>				

La estrategia de mejora del cielo se basa en el aumento del espesor de aislación térmica mediante la incorporación de capas sucesivas de lana de fibra de vidrio, instaladas de manera ordenada y continua sobre el cielo, hasta alcanzar el espesor requerido para el cumplimiento térmico de la zona climática.

En la condición existente, la vivienda cuenta con un espesor aproximado de 50 mm de aislante en el cielo. Considerando los valores de transmitancia térmica indicados en la ficha MINVU para esta solución, se define como objetivo de diseño alcanzar un desempeño equivalente a:

$$U \approx 0,25 \text{ W/m}^2\text{K}$$

La instalación por capas se ejecutará de forma traslapada entre uniones, evitando discontinuidades y reduciendo la aparición de puentes térmicos en el complejo de cielo. Adicionalmente, se debe asegurar que el aislante no quede comprimido, de modo de mantener su desempeño térmico, y se deben controlar eventuales condiciones de humedad mediante la disposición de barrera de vapor cuando el

análisis higrotérmico lo requiera.

Con este enfoque, la mejora propuesta no implica modificaciones estructurales relevantes, sino una optimización del desempeño térmico del elemento mediante aumento controlado del espesor de aislación, alcanzando el estándar requerido para la zona.

16.1.3.2 Tabla 3 Cálculo de transmitancia térmica del complejo de cielo en condición mejorada

Cálculo de transmitancia térmica			
U1 ()			
Elemento	Espesor	Conductividad	Valor
Rsi			0,1
pino 2*6	0,15	0,104	1,44
yeso carton	0,01	0,24	0,04
Rse			0,1
Rt		1,68	
U1		0,594	

U2 ()			
Elemento	Espesor	Conductividad	Valor
Rsi			0,1
lana de vidrio	0,2	0,04	5,00
yeso carton	0,01	0,24	0,04
Rse			0,1
Rt		5,2	
U2		0,19	

	Valor	%
U1	0,59	15%
U2	0,2	85%

U ponderado	0,25	(w/m2k)
-------------	------	---------

El valor obtenido cumple con las exigencias térmicas establecidas para el complejo de techumbre en Zona Térmica F, según el estándar higrotérmico definido por el Ministerio de Vivienda y Urbanismo (MINVU), el cual establece valores máximos de transmitancia térmica para elementos de la envolvente con el objetivo de mejorar la eficiencia energética y las condiciones de habitabilidad

de las viviendas.

De acuerdo con el Estándar Higrotérmico MINVU para Zonas Térmicas F y G, el complejo de techumbre debe alcanzar valores de transmitancia térmica iguales o inferiores al límite establecido para asegurar un adecuado desempeño térmico.

El resultado obtenido mediante la mejora propuesta demuestra el cumplimiento de dicho estándar, validando técnicamente la intervención planteada.

16.1.4 Mejoramiento de Ventanas

Justificación técnica de la intervención

A partir del diagnóstico térmico desarrollado, se identificó que las ventanas existentes de la vivienda corresponden a sistemas de vidrio monolítico simple montados sobre marcos de PVC con sistema corredera, configuración que presenta un bajo desempeño térmico y deficiencias en hermeticidad.

Desde el punto de vista normativo, la Reglamentación Térmica vigente, contenida en el Artículo 4.1.10 de la Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones, clasifica las soluciones de vidrio simple dentro del tramo de mayor transmitancia térmica, limitando el porcentaje de superficie vidriada permitido a 0% para la Zona Térmica F.

En consecuencia, la condición existente no cumple con las exigencias de desempeño térmico aplicables a la envolvente, justificando técnicamente el reemplazo del sistema vidriado.

Solución de mejoramiento adoptada

Para el mejoramiento térmico de las aberturas se adopta una solución acreditada en el Listado Térmico de Ventanas del Ministerio de Vivienda y Urbanismo, correspondiente a la tipología:

3.2.V.P.P.1.08 – Ventana proyectante de PVC con doble acristalamiento hermético (DVH).

Esta solución contempla:

Marco de PVC multicámara.

Sistema de apertura proyectante.

Configuración de doble vidriado hermético (DVH) con cámara de aire.

Sellos perimetrales que mejoran la hermeticidad del sistema.

La elección de esta tipología se fundamenta en su desempeño térmico acreditado, su compatibilidad con el uso residencial y su aplicabilidad en proyectos de mejoramiento de vivienda.

Caracterización térmica de la ventana propuesta

De acuerdo con la ficha oficial del Listado Térmico MINVU, la ventana V.P.P.1.08 presenta una transmitancia térmica acreditada de:

$$U_w=2,8W/m^2K$$

Este valor corresponde al desempeño térmico global del sistema ventana (marco + acristalamiento), determinado mediante memoria de cálculo conforme a la metodología establecida en las normas NCh 3137/1 y NCh 3137/2.

En comparación con la condición existente de vidrio monolítico simple, cuyo desempeño térmico se asocia a valores cercanos a $U = 5,8 W/m^2K$, la solución propuesta representa una mejora sustancial en la resistencia térmica del elemento vidriado.

Verificación normativa de superficie vidriada

La ventana de proyecto presenta dimensiones de:

$$1,25m \times 1,25m$$

Obteniéndose una superficie total de:

$$A_{vent}=1,56m^2$$

Considerando un muro asociado de:

Amuro=6,24m²

El porcentaje de superficie vidriada corresponde a:

%SV=25,0%

De acuerdo con la tabla de verificación establecida en el Artículo 4.1.10 de la OGUC, para la Zona Térmica F y orientación Norte, una ventana con transmitancia térmica $U \leq 2,8 \text{ W/m}^2\text{K}$ permite porcentajes de superficie vidriada significativamente superiores al caso de vidrio simple, alcanzando valores máximos del orden de 70% o más según el tramo térmico.

En consecuencia, la condición de proyecto cumple holgadamente con las exigencias normativas vigentes.

5.3.5 Compatibilidad dimensional con ficha acreditada

La ficha térmica V.P.P.1.08 establece dimensiones de referencia de $1,2 \times 1,3 \text{ m}$, equivalentes a una superficie de $1,6 \text{ m}^2$, admitiendo variaciones dimensionales del orden de $\pm 10\%$.

Dado que la ventana de proyecto presenta una superficie de $1,56 \text{ m}^2$, esta se encuentra dentro del rango de equivalencia aceptado, permitiendo utilizar el valor de transmitancia térmica acreditado en la ficha para efectos de verificación normativa.

5.3.6 Impacto térmico de la solución propuesta

La incorporación de ventanas con doble acristalamiento hermético permite:

Reducir pérdidas térmicas en periodo invernal.

Disminuir ganancias térmicas excesivas en verano.

Mejorar la estabilidad térmica interior.

Reducir condensaciones superficiales.

Incrementar la hermeticidad de la envolvente.

Estas mejoras contribuyen directamente al confort térmico interior y al desempeño energético global de la vivienda.

Sistema de Admisión Pasiva mediante Aireadores en Recintos Habitables

Fundamentación de la medida

El diagnóstico de calidad de aire interior evidenció concentraciones elevadas de dióxido de carbono (CO₂) en recintos habitables, particularmente en dormitorios, asociadas a periodos prolongados de ocupación y ventilación natural insuficiente durante horario nocturno.

De acuerdo con los criterios establecidos en la NCh 3307, la acumulación de CO₂ constituye un indicador directo de renovación de aire deficiente, afectando la habitabilidad y el confort ambiental interior.

Asimismo, la Reglamentación Térmica vigente, contenida en el Artículo 4.1.10 de la OGUC, establece la necesidad de asegurar condiciones adecuadas de ventilación en viviendas, cuya verificación se realiza mediante las normas NCh 3308 y NCh 3309, relativas a ventilación residencial y determinación de caudales de aire exterior.

En este contexto, se plantea la incorporación de elementos de admisión pasiva continua en recintos habitables, orientados a mejorar la renovación de aire interior.

Criterios de diseño de caudal de ventilación

Conforme a la metodología establecida en la NCh 3309, los caudales mínimos de ventilación en viviendas se determinan en función de la ocupación, volumen y uso de los recintos.

Para efectos de la presente investigación, y considerando la tipología de vivienda social analizada, se adopta como criterio de diseño un caudal continuo mínimo de:

5 L/s por dormitorio

5 L/s en estar-comedor

Estos valores corresponden a caudales de diseño residencial coherentes con la aplicación práctica de la normativa nacional y permiten alcanzar tasas de renovación del orden de 0,8 a 1 volumen por hora en los recintos evaluados.

5.4.X.3 Elemento de admisión adoptado

Como solución de admisión pasiva se contempla la instalación de celosías de ventilación regulables tipo Chicago de 4", instaladas en muros exteriores de dormitorios y estar-comedor.

Características relevantes:

Sistema de ventilación pasiva continua.

Regulación manual de apertura.

Incorporación de filtro anti-polvo.

Instalación empotrada en muro o tabique liviano.

Paso libre de ventilación: 18,8 cm² por unidad.

5.4.X.4 Aporte de ventilación del aireador

El caudal de aire estimado mediante ventilación natural a través del aireador puede aproximarse mediante la relación:

$$Q=A \cdot v$$

Donde:

Q = caudal de aire (m³/s)

A = área libre de ventilación (m²)

v = velocidad del aire (m/s)

Considerando velocidades medias de ventilación natural entre 0,1 y 0,2 m/s, cada

celosía presenta un aporte aproximado inferior a 1 L/s, constituyendo un sistema de admisión base continua.

En consecuencia, estos dispositivos no se consideran como única fuente de ventilación efectiva, sino como elementos complementarios dentro de una estrategia global de renovación de aire.

5.4.X.5 Complemento mediante apertura controlada de ventanas

La estrategia de admisión pasiva se complementa con la apertura parcial controlada de las ventanas proyectantes incorporadas en la propuesta de mejoramiento de envolvente.

Este sistema permite:

Incrementar el área efectiva de ventilación.

Asegurar caudales requeridos en periodos de ocupación.

Regular manualmente la ventilación sin apertura total.

De esta forma, los aireadores aseguran una ventilación mínima continua, mientras que la ventana proyectante actúa como mecanismo de ventilación efectiva de refuerzo.

17 Capítulo 3: Evaluación económica de las soluciones

17.1 Metodología de estimación de costos

Para estimar el costo de implementación de las mejoras propuestas en la vivienda analizada, se realizó un análisis de precios unitarios (APU) para cada una de las partidas necesarias para ejecutar las intervenciones constructivas.

Los APU consideran los siguientes componentes:

Materiales: elementos necesarios para ejecutar cada mejora constructiva.

Maquinaria y herramientas: desgaste de herramientas menores utilizadas durante la ejecución.

Mano de obra: costos asociados al trabajo de maestro y ayudante.

Leyes sociales: recargo del 35% sobre el costo de mano de obra.

Los valores utilizados corresponden a precios referenciales de mercado, considerando proveedores locales y valores promedio del rubro de la construcción.

Las partidas consideradas corresponden a las intervenciones definidas en el capítulo anterior:

Mejoramiento térmico de muros

Reemplazo de ventanas

Instalación de aireadores pasivos

Mejoramiento del aislamiento en cielo

6.2 Análisis de precios unitarios

A continuación, se presentan los APU desarrollados para cada una de las partidas necesarias para ejecutar las mejoras propuestas.

Los análisis incluyen materiales, herramientas, mano de obra y costos asociados.

Las partidas consideradas son:

17.1.1.1 Tabla 4 APU Retiro de revestimiento existente

APU: Proyecto:	ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS					
	retiro de revestimiento existentes				Unidad	m2
	vivienda social en yungay				Cantidad:	1
A	MATERIALES					
Nº	Item	Unid.	Cantid.	Precio Unit.	Total	
1						
					Total A	0
Unitario A						
B	MAQUINAS Y EQUIPOS					
Nº	Item	Unid.	Cantid.	Precio Unit.	Total	
1	3% desgaste herramientas		0,03	2.673	80	
					Total B	80,19
Unitario B						
C	MANO DE OBRA					
Nº	Item	Unid.	Cantid.	Precio Unit.	Total	
1	Maestro	DIA	0,033	35.000	1.155	
2	ayudante	DIA	0,033	25000	825	
3					0	
					Sub Total C	1980
					35% leyes Sociales	693
					Total C	2673
Unitario C:						
D.- Total costo directo (A+B+C)						2753

17.1.1.2 Tabla 5 APU Retiro de ventanas existentes

APU: Proyecto:	ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS				
	Retiro de ventanas existentes vivienda social en yungay	Unidad	unidad		
		Cantidad:	1		
A	MATERIALES				
Nº	Item	Unid.	Cantid.	Precio Unit.	Total
1					
Total A					0
Unitario A					
B	MAQUINAS Y EQUIPOS				
Nº	Item	Unid.	Cantid.	Precio Unit.	Total
1	3% desgaste herramientas		0,03	11.340	340
Total B					340,2
Unitario B					
C	MANO DE OBRA				
Nº	Item	Unid.	Cantid.	Precio Unit.	Total
1	Maestro	DIA	0,14	35.000	4.900
2	ayudante	DIA	0,14	25000	3.500
3					0
Sub Total C					8400
35% leyes Sociales					2940
Total C					11340
Unitario C:					
D.- Total costo directo (A+B+C)					11680

17.1.1.3 Tabla 6 APU Construcción de tabique estructural de madera

APU: Proyecto:	ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS				
	tabique vivienda social en yungay	Unidad	m2		
		Cantidad:	1		
A	MATERIALES				
Nº	Item	Unid.	Cantid.	Precio Unit.	Total
1	Pino Certificado Seco Cepillado 2x3 3,2 m	pieza	2,17	3990	8.658
2	Clavo corriente 4" caja 25 kg	caja	0,12	34990	4.199
Total A					12857,1
Unitario A					
B	MAQUINAS Y EQUIPOS				
Nº	Item	Unid.	Cantid.	Precio Unit.	Total
1	3% desgaste herramientas		0,03	5.427	163
Total B					162,81
Unitario B					
C	MANO DE OBRA				
Nº	Item	Unid.	Cantid.	Precio Unit.	Total
1	Maestro	DIA	0,067	35.000	2.345
2	ayudante	DIA	0,067	25000	1.675
Sub Total C					4.020
35% leyes Sociales					1407
Total C					5427
Unitario C:					
D.- Total costo directo (A+B+C)					18447

17.1.1.4 Tabla 7 APU Instalación de OSB 8mm

APU: Proyecto:	ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS		Unidad	m2																																															
	Instalacion OSB 8mm		Cantidad:	1																																															
<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="5">A MATERIALES</th> </tr> <tr> <th>Nº</th> <th>Item</th> <th>Unid.</th> <th>Cantid.</th> <th>Precio Unit.</th> <th>Total</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>Tornillo Autoperforante Cabeza Phillips Yeso-Cartón 2 " 6 mm 200 unidad(es)</td> <td>caja</td> <td>0,4</td> <td>3.890</td> <td>1.556</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>OSB 8MM 1220X2440MM</td> <td>plancha</td> <td>0,34</td> <td>8.490</td> <td>2.887</td> </tr> <tr> <td colspan="4"></td> <td>Total A</td> <td>4.443</td> </tr> <tr> <td colspan="4"></td> <td>Unitario A</td> <td></td> </tr> </tbody> </table>					A MATERIALES					Nº	Item	Unid.	Cantid.	Precio Unit.	Total	1	Tornillo Autoperforante Cabeza Phillips Yeso-Cartón 2 " 6 mm 200 unidad(es)	caja	0,4	3.890	1.556	2	OSB 8MM 1220X2440MM	plancha	0,34	8.490	2.887					Total A	4.443					Unitario A													
A MATERIALES																																																			
Nº	Item	Unid.	Cantid.	Precio Unit.	Total																																														
1	Tornillo Autoperforante Cabeza Phillips Yeso-Cartón 2 " 6 mm 200 unidad(es)	caja	0,4	3.890	1.556																																														
2	OSB 8MM 1220X2440MM	plancha	0,34	8.490	2.887																																														
				Total A	4.443																																														
				Unitario A																																															
<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="5">B MAQUINAS Y EQUIPOS</th> </tr> <tr> <th>Nº</th> <th>Item</th> <th>Unid.</th> <th>Cantid.</th> <th>Precio Unit.</th> <th>Total</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>3% desgaste herramientas</td> <td></td> <td>0,03</td> <td>4.050</td> <td>122</td> </tr> <tr> <td colspan="4"></td> <td>Total B</td> <td>121,5</td> </tr> <tr> <td colspan="4"></td> <td>Unitario B</td> <td></td> </tr> </tbody> </table>					B MAQUINAS Y EQUIPOS					Nº	Item	Unid.	Cantid.	Precio Unit.	Total	1	3% desgaste herramientas		0,03	4.050	122					Total B	121,5					Unitario B																			
B MAQUINAS Y EQUIPOS																																																			
Nº	Item	Unid.	Cantid.	Precio Unit.	Total																																														
1	3% desgaste herramientas		0,03	4.050	122																																														
				Total B	121,5																																														
				Unitario B																																															
<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="5">C MANO DE OBRA</th> </tr> <tr> <th>Nº</th> <th>Item</th> <th>Unid.</th> <th>Cantid.</th> <th>Precio Unit.</th> <th>Total</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>Maestro</td> <td>DIA</td> <td>0,05</td> <td>35.000</td> <td>1.750</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>ayudante</td> <td>DIA</td> <td>0,05</td> <td>25000</td> <td>1.250</td> </tr> <tr> <td colspan="4"></td> <td>Sub Total C</td> <td>3.000</td> </tr> <tr> <td colspan="4"></td> <td>35% leyes Sociales</td> <td>1050</td> </tr> <tr> <td colspan="4"></td> <td>Total C</td> <td>4.050</td> </tr> <tr> <td colspan="4"></td> <td>Unitario C:</td> <td></td> </tr> </tbody> </table>					C MANO DE OBRA					Nº	Item	Unid.	Cantid.	Precio Unit.	Total	1	Maestro	DIA	0,05	35.000	1.750	2	ayudante	DIA	0,05	25000	1.250					Sub Total C	3.000					35% leyes Sociales	1050					Total C	4.050					Unitario C:	
C MANO DE OBRA																																																			
Nº	Item	Unid.	Cantid.	Precio Unit.	Total																																														
1	Maestro	DIA	0,05	35.000	1.750																																														
2	ayudante	DIA	0,05	25000	1.250																																														
				Sub Total C	3.000																																														
				35% leyes Sociales	1050																																														
				Total C	4.050																																														
				Unitario C:																																															
D.- Total costo directo (A+B+C)					8.614																																														

17.1.1.5 Tabla 8 APU Instalación de OSB 9,5mm

APU: Proyecto:	ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS		Unidad	m2																																															
	Instalacion OSB 9,5mm		Cantidad:	1																																															
<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="5">A MATERIALES</th> </tr> <tr> <th>Nº</th> <th>Item</th> <th>Unid.</th> <th>Cantid.</th> <th>Precio Unit.</th> <th>Total</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>Tornillo Autoperforante Cabeza Phillips Yeso-Cartón 2 " 6 mm 200 unidad(es)</td> <td>caja</td> <td>0,4</td> <td>3.890</td> <td>1.556</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>OSB 9,5MM 1220X2440MM</td> <td>plancha</td> <td>0,34</td> <td>14.290</td> <td>4.859</td> </tr> <tr> <td colspan="4"></td> <td>Total A</td> <td>6.415</td> </tr> <tr> <td colspan="4"></td> <td>Unitario A</td> <td></td> </tr> </tbody> </table>					A MATERIALES					Nº	Item	Unid.	Cantid.	Precio Unit.	Total	1	Tornillo Autoperforante Cabeza Phillips Yeso-Cartón 2 " 6 mm 200 unidad(es)	caja	0,4	3.890	1.556	2	OSB 9,5MM 1220X2440MM	plancha	0,34	14.290	4.859					Total A	6.415					Unitario A													
A MATERIALES																																																			
Nº	Item	Unid.	Cantid.	Precio Unit.	Total																																														
1	Tornillo Autoperforante Cabeza Phillips Yeso-Cartón 2 " 6 mm 200 unidad(es)	caja	0,4	3.890	1.556																																														
2	OSB 9,5MM 1220X2440MM	plancha	0,34	14.290	4.859																																														
				Total A	6.415																																														
				Unitario A																																															
<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="5">B MAQUINAS Y EQUIPOS</th> </tr> <tr> <th>Nº</th> <th>Item</th> <th>Unid.</th> <th>Cantid.</th> <th>Precio Unit.</th> <th>Total</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>3% desgaste herramientas</td> <td></td> <td>0,03</td> <td>4.050</td> <td>122</td> </tr> <tr> <td colspan="4"></td> <td>Total B</td> <td>121,5</td> </tr> <tr> <td colspan="4"></td> <td>Unitario B</td> <td></td> </tr> </tbody> </table>					B MAQUINAS Y EQUIPOS					Nº	Item	Unid.	Cantid.	Precio Unit.	Total	1	3% desgaste herramientas		0,03	4.050	122					Total B	121,5					Unitario B																			
B MAQUINAS Y EQUIPOS																																																			
Nº	Item	Unid.	Cantid.	Precio Unit.	Total																																														
1	3% desgaste herramientas		0,03	4.050	122																																														
				Total B	121,5																																														
				Unitario B																																															
<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="5">C MANO DE OBRA</th> </tr> <tr> <th>Nº</th> <th>Item</th> <th>Unid.</th> <th>Cantid.</th> <th>Precio Unit.</th> <th>Total</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>Maestro</td> <td>DIA</td> <td>0,05</td> <td>35.000</td> <td>1.750</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>ayudante</td> <td>DIA</td> <td>0,05</td> <td>25000</td> <td>1.250</td> </tr> <tr> <td colspan="4"></td> <td>Sub Total C</td> <td>3.000</td> </tr> <tr> <td colspan="4"></td> <td>35% leyes Sociales</td> <td>1050</td> </tr> <tr> <td colspan="4"></td> <td>Total C</td> <td>4.050</td> </tr> <tr> <td colspan="4"></td> <td>Unitario C:</td> <td></td> </tr> </tbody> </table>					C MANO DE OBRA					Nº	Item	Unid.	Cantid.	Precio Unit.	Total	1	Maestro	DIA	0,05	35.000	1.750	2	ayudante	DIA	0,05	25000	1.250					Sub Total C	3.000					35% leyes Sociales	1050					Total C	4.050					Unitario C:	
C MANO DE OBRA																																																			
Nº	Item	Unid.	Cantid.	Precio Unit.	Total																																														
1	Maestro	DIA	0,05	35.000	1.750																																														
2	ayudante	DIA	0,05	25000	1.250																																														
				Sub Total C	3.000																																														
				35% leyes Sociales	1050																																														
				Total C	4.050																																														
				Unitario C:																																															
D.- Total costo directo (A+B+C)					10.586																																														

17.1.1.6 Tabla 9 APU Instalación de papel fieltro

APU: Proyecto:	ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS				Unidad	m2
	Instalacion papel fieltro				Cantidad:	1
vivienda social en yungay						
A MATERIALES						
Nº	Item	Unid.	Cantid.	Precio Unit.	Total	
1	Fieltro asfaltico liso 15 libras (rollo 40mts) P&T	rollo	0,025	25.490	637	
Total A					637	
Unitario A						
B MAQUINAS Y EQUIPOS						
Nº	Item	Unid.	Cantid.	Precio Unit.	Total	
1	3% desgaste herramientas		0,03	1.620	49	
Total B					48,6	
Unitario B						
C MANO DE OBRA						
Nº	Item	Unid.	Cantid.	Precio Unit.	Total	
1	Maestro	DIA	0,02	35.000	700	
2	ayudante	DIA	0,02	25000	500	
Sub Total C					1.200	
35% leyes Sociales					420	
Total C					1.620	
Unitario C:						
D.- Total costo directo (A+B+C)					2.306	

17.1.1.7 Tabla 10 APU Instalación de revestimiento exterior de fibrocemento

APU: Proyecto:	ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS				Unidad	m2
	Instalacion fibrocemento 6mm				Cantidad:	1
vivienda social en yungay						
A MATERIALES						
Nº	Item	Unid.	Cantid.	Precio Unit.	Total	
1	Fibrocemento Ranurado 6mm 1.20 x 2.40 mts.	UNI	0,35	12.990	4.547	
2	Tornillo Autoperforante Cabeza Phillips Yeso-Cartón 2 " 6 mm 200 unidad(es)	caja	0,4	3.890	1.556	
Total A					6.103	
Unitario A						
B MAQUINAS Y EQUIPOS						
Nº	Item	Unid.	Cantid.	Precio Unit.	Total	
1	3% desgaste herramientas		0,03	6.480	194	
Total B					194,4	
Unitario B						
C MANO DE OBRA						
Nº	Item	Unid.	Cantid.	Precio Unit.	Total	
1	Maestro	DIA	0,08	35.000	2.800	
2	ayudante	DIA	0,08	25000	2.000	
Sub Total C					4.800	
35% leyes Sociales					1680	
Total C					6.480	
Unitario C:						
D.- Total costo directo (A+B+C)					12.777	

17.1.1.8 Tabla 11 APU Instalación de aislación térmica (poliestireno expandido)

APU: Proyecto:	ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS					
	Aislacion vivienda social en yungay			Unidad:	m2	
				Cantidad:	1	
A	MATERIALES					
Nº	Item	Unid.	Cantid.	Precio Unit.	Total	
1	poliestireno expandido 15 kg/m3 65mm	plancha	2	2186	4372	
	Total A				4372	
	Unitario A					
B	MAQUINAS Y EQUIPOS					
Nº	Item	Unid.	Cantid.	Precio Unit.	Total	
1	3% desgaste herramientas		0,03	844	25	
	Total B				25,3125	
	Unitario B					
C	MANO DE OBRA					
Nº	Item	Unid.	Cantid.	Precio Unit.	Total	
1	ayudante	DIA	0,025	25000	625	
	Sub Total C				625	
	35% leyes Sociales				218,75	
	Total C				843,75	
	Unitario C:					
	D.- Total costo directo (A+B+C)				5241	

17.1.1.9 Tabla 12 APU Instalación de aislación térmica (lana mineral)

APU: Proyecto:	ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS					
	Aislacion lana mineral vivienda social en yungay			Unidad:	m2	
				Cantidad:	1	
A	MATERIALES					
Nº	Item	Unid.	Cantid.	Precio Unit.	Total	
1	Lana Mineral Colchoneta 50Mm 0.5 X 1.2 Mt (12M2) Vd	plancha	0,083	59.990	4979	
	Total A				4979	
	Unitario A					
B	MAQUINAS Y EQUIPOS					
Nº	Item	Unid.	Cantid.	Precio Unit.	Total	
1	3% desgaste herramientas		0,03	1.114	33	
	Total B				33	
	Unitario B					
C	MANO DE OBRA					
Nº	Item	Unid.	Cantid.	Precio Unit.	Total	
1	ayudante	DIA	0,033	25000	825	
	Sub Total C				825	
	35% leyes Sociales				288,75	
	Total C				1114	
	Unitario C:					
	D.- Total costo directo (A+B+C)				6126	

17.1.1.10 *Tabla 13 APU Instalación de nueva ventana con doble vidrio hermético (DVH)*

ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS					
APU:	Instalacion de Ventana	Unidad	unidad		
Proyecto:	vivienda social en yungay	Cantidad:	1		
A MATERIALES					
Nº	Item	Unid.	Cantid.	Precio Unit.	Total
1	Ventana proyectante, 2 hojas, 1 fija lateral 1,25x1,25m DVH 4-12-5	Unid.	1	448990	448990
				Total A	448990
Unitario A					
B MAQUINAS Y EQUIPOS					
Nº	Item	Unid.	Cantid.	Precio Unit.	Total
1	3% desgaste herramientas		0,03	20.250	608
				Total B	608
Unitario B					
C MANO DE OBRA					
Nº	Item	Unid.	Cantid.	Precio Unit.	Total
1	Maestro	DIA	0,25	35.000	8.750
2	ayudante	DIA	0,25	25000	6.250
				Sub Total C	15000
				35% leyes Sociales	5250
				Total C	20250
Unitario C:					
D.- Total costo directo (A+B+C)					469848

17.1.1.11 *Tabla 14 APU Instalación de celosía de ventilación tipo Chicago*

ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS					
APU:	Instalacion celosia	Unidad	unidad		
Proyecto:	vivienda social en yungay	Cantidad:	1		
A MATERIALES					
Nº	Item	Unid.	Cantid.	Precio Unit.	Total
1	Celosia Chicago 4	Unid.	1	10000	10000
2	Adhesivo Sellador Multiuso Elástico Sika Blanco 300 ml	tubo	1	6.595	6595
3	Tornillo Autoperforante Yeso-Cartón 1-1/4 " 6 mm	Unid.	4	50	200
				Total A	16795
Unitario A					
B MAQUINAS Y EQUIPOS					
Nº	Item	Unid.	Cantid.	Precio Unit.	Total
1	3% desgaste herramientas		0,03	8.100	243
				Total B	243
Unitario B					
C MANO DE OBRA					
Nº	Item	Unid.	Cantid.	Precio Unit.	Total
1	Maestro	DIA	0,1	35.000	3.500
2	ayudante	DIA	0,1	25000	2.500
				Sub Total C	6000
				35% leyes Sociales	2100
				Total C	8100
Unitario C:					
D.- Total costo directo (A+B+C)					25138

6. Evaluación económica de las mejoras propuestas

6.1 Estimación de costos de la intervención

Con el fin de evaluar la factibilidad económica de las medidas de mejoramiento propuestas para la vivienda social analizada en la comuna de Yungay, se realizó una estimación de costos mediante la elaboración de Análisis de Precios Unitarios (APU) para cada una de las partidas necesarias para ejecutar la intervención.

Los análisis consideran los costos asociados a materiales, maquinaria y herramientas, mano de obra y leyes sociales, permitiendo determinar el costo unitario de cada actividad constructiva. Los valores utilizados corresponden a precios referenciales de mercado vigentes durante el año 2025, obtenidos a partir de cotizaciones y valores promedio del sector de la construcción.

Las intervenciones consideradas dentro del presupuesto corresponden a las mejoras definidas en el capítulo anterior, las cuales buscan mejorar el desempeño térmico y las condiciones de ventilación de la vivienda. Estas intervenciones incluyen:

Retiro de revestimientos exteriores existentes.

Retiro de ventanas existentes.

Mejoramiento de muros mediante incorporación de aislación térmica y nuevas capas constructivas.

Instalación de ventanas con doble vidrio hermético (DVH).

Incorporación de ventilación pasiva mediante celosías tipo Chicago.

Mejoramiento del aislamiento térmico en el cielo de la vivienda.

6.2 Presupuesto de la intervención

A partir de los análisis de precios unitarios se elaboró el presupuesto total de la intervención, considerando las cantidades de obra correspondientes a la vivienda analizada.

17.1.1.12 Tabla 15 presupuesto en base a los APUs

PRESUPUESTO

Proyecto: Vivienda social Yungay

Nº	Partida	Unid.	Cantid.	Costo Unitario	Total
1	Retira de elemtos existentes				
2	Retiro revestimiento (exixtente)	m2	72	\$ 2.753	\$ 198.230
3	Retiro ventanas (existentes)	unid.	4	\$ 11.680	\$ 46.721
4	Sobre muro(solucion)				
5	Rev. Exterior fibrocemento	m2	72	\$ 12.777	\$ 919.937
6	papel fieltro	m2	72	\$ 2.306	\$ 166.021
7	OSB 8mm	m2	72	\$ 10.586	\$ 762.199
8	OSB 9,5mm	m2	72	\$ 10.586	\$ 762.199
9	Tabique pino 2x3	m2	72	\$ 18.447	\$ 1.328.178
10	Aislacion (poliestireno expa, 15kg/m3 65mm)	m2	144	\$ 5.241	\$ 754.713
11	Ventanas				
12	instalacion ventanana proyectante	unid.	4	\$ 469.848	\$ 1.879.390
13	ventilacion				\$ -
14	instalacion ventilacion pasiva (chicago 4")	unid.	4	\$ 25.138	\$ 100.552
15	Cielo				
16	Aislacion (Lana mineral 50mm)		120	\$ 6.126	\$ 735.160
	1. VALOR COSTO DIRECTO				\$ 7.653.299
	2. % Gastos Generales	10%			\$ 765.330
	3. % Gastos Financieros	2%			\$ 153.066
	4. % Utilidades	8%			\$ 612.264
	5. NETO				\$ 9.183.959
	5. % IVA	19%			\$ 1.744.952
	6. TOTAL				\$ 10.928.911

6.3 Análisis económico de la propuesta

La intervención propuesta contempla mejoras orientadas principalmente al mejoramiento del comportamiento térmico de la envolvente de la vivienda y a la mejora de la calidad del aire interior.

Desde el punto de vista térmico, las principales intervenciones corresponden al aumento de aislación en muros y cielo, lo cual permite reducir significativamente las pérdidas de calor a través de la envolvente. Asimismo, el reemplazo de ventanas monolíticas por ventanas con doble vidrio hermético (DVH) permite disminuir la transmitancia térmica de los vanos, contribuyendo a mejorar las condiciones de confort interior de la vivienda.

Por otra parte, la incorporación de ventilación pasiva mediante celosías tipo

Chicago permite mejorar la renovación de aire en los recintos habitables, contribuyendo a disminuir las concentraciones de dióxido de carbono detectadas durante el diagnóstico, lo cual se encuentra directamente relacionado con las condiciones de ventilación recomendadas por la Norma Chilena NCh 3307.

Las soluciones adoptadas corresponden a sistemas constructivos disponibles en el mercado nacional y compatibles con las soluciones constructivas recomendadas por el Ministerio de Vivienda y Urbanismo (MINVU) para el mejoramiento térmico de viviendas existentes.

Síntesis de la evaluación económica

El análisis económico desarrollado permite estimar el costo de implementación de las mejoras propuestas para la vivienda social analizada en la comuna de Yungay. A partir de los análisis de precios unitarios elaborados para cada una de las partidas constructivas, se obtuvo un costo directo de \$7.653.299, el cual alcanza un costo total estimado de \$10.928.911 al incorporar los costos indirectos e impuestos correspondientes.

Las intervenciones consideradas permiten abordar las principales problemáticas detectadas durante el diagnóstico, relacionadas con deficiencias en el aislamiento térmico de la envolvente, presencia de ventanas con bajo desempeño térmico y niveles elevados de CO₂ en recintos habitables.

Desde el punto de vista económico, la propuesta se considera técnicamente viable, ya que utiliza soluciones constructivas de fácil implementación y materiales disponibles en el mercado nacional, lo que permite su aplicación en viviendas sociales de características similares.

18 Conclusiones

El presente estudio permitió evaluar el desempeño térmico y ambiental de una vivienda social ubicada en la comuna de Yungay, Región de Ñuble, identificando las principales deficiencias que afectan las condiciones de habitabilidad interior. A través del diagnóstico desarrollado, que incluyó el análisis constructivo de la envolvente, mediciones in situ de temperatura y concentración de dióxido de carbono (CO₂), así como el estudio del asoleamiento de la vivienda, fue posible determinar que el inmueble presenta limitaciones importantes en su comportamiento térmico y en las condiciones de ventilación natural de los recintos.

Los resultados obtenidos evidenciaron fluctuaciones térmicas significativas en los espacios habitables, particularmente en recintos con orientación norte, donde se registraron episodios de sobrecalentamiento durante el día y descensos térmicos durante la noche. Asimismo, las mediciones de calidad del aire interior permitieron identificar concentraciones elevadas de CO₂ en dormitorios durante periodos de ocupación prolongada, situación que refleja una renovación de aire insuficiente conforme a los criterios establecidos en la NCh 3307.

El análisis de los elementos constructivos de la envolvente permitió determinar valores de transmitancia térmica elevados en muros, techumbre y ventanas, evidenciando que la condición existente presenta un desempeño térmico limitado frente a las exigencias establecidas en la Reglamentación Térmica vigente contenida en el Artículo 4.1.10 de la Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones.

A partir de este diagnóstico se desarrolló una propuesta de mejoramiento orientada a incrementar la eficiencia térmica y ambiental de la vivienda, considerando intervenciones en los principales componentes de la envolvente. Las soluciones propuestas incluyeron el mejoramiento térmico de muros mediante la incorporación de la tipología constructiva 1.2.G.C1.5 del listado oficial de soluciones del Ministerio de Vivienda y Urbanismo, el aumento del espesor de aislación térmica en el cielo de la vivienda, el reemplazo de ventanas existentes por sistemas con doble acristalamiento hermético y la incorporación de ventilación pasiva mediante aireadores en recintos habitables.

Los cálculos de transmitancia térmica realizados evidencian una mejora significativa en el desempeño energético de los elementos intervenidos, reduciendo las pérdidas térmicas a través de la envolvente y contribuyendo a una

mayor estabilidad térmica interior. Asimismo, la incorporación de sistemas de ventilación pasiva permite mejorar la renovación de aire en los recintos, contribuyendo a disminuir la acumulación de CO₂ detectada durante el diagnóstico.

Desde el punto de vista económico, el análisis realizado mediante Análisis de Precios Unitarios permitió estimar el costo de implementación de las mejoras propuestas, evidenciando que las soluciones planteadas utilizan sistemas constructivos disponibles en el mercado nacional y compatibles con intervenciones en viviendas sociales, lo que permite considerar la propuesta como técnica y económicamente viable.

En síntesis, la investigación desarrollada demuestra que mediante intervenciones constructivas focalizadas en la envolvente térmica y en los sistemas de ventilación es posible mejorar significativamente las condiciones de confort térmico y calidad del aire interior en viviendas sociales, contribuyendo al desarrollo de soluciones de mejoramiento habitacional que pueden ser replicables en viviendas de características similares dentro del contexto climático de la zona centro-sur de Chile.

19 Referencias

Ministerio de Vivienda y Urbanismo. (2023). Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones (OGUC). Santiago, Chile: MINVU.

Ministerio de Vivienda y Urbanismo – División Técnica de Estudio y Fomento Habitacional (DITEC). (2025). Listado Oficial de Soluciones Constructivas para Acondicionamiento Térmico (LOSCAT). Santiago, Chile: MINVU.

Ministerio de Vivienda y Urbanismo. (2018). Manual de ventilación residencial para viviendas en Chile. Santiago, Chile: MINVU.

Ministerio de Vivienda y Urbanismo. (2015). Manual de diseño bioclimático para viviendas en Chile. Santiago, Chile: MINVU.

Instituto Nacional de Normalización. (2008). NCh 1079: Aislamiento térmico en edificios – Cálculo de resistencias y transmitancias térmicas. Santiago, Chile: INN.

Instituto Nacional de Normalización. (2008). NCh 789: Determinación de propiedades térmicas de materiales de construcción. Santiago, Chile: INN.

Instituto Nacional de Normalización. (2013). NCh 853: Acondicionamiento térmico – Puentes térmicos en edificios. Santiago, Chile: INN.

Instituto Nacional de Normalización. (2015). NCh 3307: Ventilación en edificios – Requisitos de ventilación natural. Santiago, Chile: INN.

Ministerio de Vivienda y Urbanismo. (2014). Norma Técnica MINVU NTM 011/1: Condiciones de habitabilidad en viviendas. Santiago, Chile: MINVU.

Ministerio de Vivienda y Urbanismo. (2014). Norma Técnica MINVU NTM 011/2: Condiciones de humedad relativa y salubridad interior en viviendas. Santiago, Chile: MINVU.

Organización Mundial de la Salud. (2018). WHO housing and health guidelines. Ginebra, Suiza: World Health Organization.

Espinosa, F., & Cortés, A. (2015). Evaluación del confort térmico en viviendas sociales del sur de Chile. *Revista INVI*, 30(84), 9–28.

Sociedad de Cooperación Técnica Alemana (GTZ), Programa País de Eficiencia Energética (PPEE) & Instituto de la Construcción. (2009). Diagnóstico del comportamiento térmico de viviendas sociales en Chile. Santiago, Chile.

