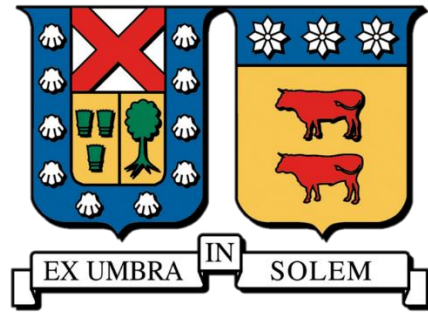


**UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA**  
**DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA QUÍMICA Y AMBIENTAL**  
**VALPARAÍSO – CHILE**



**ESTUDIO TÉCNICO ECONÓMICO DE IMPLEMENTACIÓN**  
**DE SISTEMA EIFS PARA EFICIENCIA ENERGÉTICA**  
**DOMICILIARIA**

DANAE MIRIAM CUEVAS GONZÁLEZ

MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE  
INGENIERA CIVIL QUÍMICA

Profesor Guía

Daniel Ramírez Livingson

OCTUBRE 2024

*A mis padres por su paciencia infinita y amor incondicional. Y por mil otras razones, gracias a ellos.*

*A mi hermana por su compañía.*

*A mis amigos por apoyarme siempre.*

*A mi Tita y mi bebé Ringo allá en el lugar del descanso eterno.*

# RESUMEN

---

Este trabajo evalúa la implementación del sistema EIFS (Exterior Insulation and Finish System) en viviendas residenciales para determinar su impacto en el ahorro energético y su viabilidad económica.

## Hallazgos Clave:

**Ahorro Energético:** El sistema EIFS logra una reducción del consumo energético térmico superior al 30% en viviendas de 63,67 [m<sup>2</sup>] en las zonas analizadas, con mayores beneficios en la Zona 7 (clima extremo) en comparación con la Zona 2.

**Costo y Beneficio:** En la Zona 7, el costo por cada [kWh] ahorrado es de \$ 445, mientras que en la Zona 2 es de \$ 1.139. Aunque la inversión inicial es mayor en la Zona 7, la rentabilidad es superior debido a una mayor demanda energética en climas extremos.

**Recuperación de Inversión:** La inversión en EIFS tiene un periodo de recuperación más corto en la Zona 7 debido al alto consumo en calefacción. En la Zona 2, el proceso de recuperación es más largo, pero sigue siendo beneficioso a largo plazo.

**Aspectos Económicos y Sociales:** Los subsidios gubernamentales pueden facilitar la adopción del sistema para familias de bajos ingresos, mientras que, para aquellas sin apoyo, se recomienda un análisis detallado de costos y beneficios a largo plazo.

Este estudio proporciona una visión clara sobre la efectividad del sistema EIFS en la mejora de la eficiencia energética y la economía del hogar, especialmente en zonas con altas demandas energéticas.

# ABSTRACT

---

This study evaluates the implementation of the EIFS (Exterior Insulation and Finish System) in residential buildings to determine its impact on energy savings and economic feasibility.

## Key Findings:

**Energy Savings:** The EIFS system achieves over a 30% reduction in thermal energy consumption in 63,67 [m<sup>2</sup>] homes within the studied areas, with greater benefits in Zone 7 (extreme climate) compared to Zone 2.

**Cost and Benefit:** In Zone 7, the cost per [kWh] saved is \$ 445, while in Zone 2 it is \$ 1.139. Although the initial investment is higher in Zone 7, the return on investment is greater due to the higher energy demand in extreme climates.

**Return on Investment:** The EIFS investment has a shorter payback period in Zone 7 due to higher heating costs. In Zone 2, although the payback period is longer, the investment remains beneficial in the long term.

**Economic and Social Aspects:** Government subsidies can facilitate EIFS adoption for low-income families, while those without subsidies should conduct a detailed cost-benefit analysis for long-term savings.

This study provides a clear view of EIFS's effectiveness in improving energy efficiency and household economics, particularly in areas with high energy demands.

# OBJETIVOS

---

## **Objetivo primario:**

Determinar la cantidad de ahorro de energía en la vivienda bajo la implementación de acondicionamiento térmico del sistema EIFS (Exterior Insulation and Finish System), en viviendas standard de gobierno y en zonas térmicas determinadas por este estudio.

## **Objetivos Secundarios:**

Calcular el ahorro monetario de las familias que implementen este sistema de eficiencia energética en sus hogares.

Calcular el valor monetario real de la instalación del sistema EIFS por metro cuadrado en muros de la vivienda.

Calcular la relación entre inversión y recuperación económica desde el ahorro de energía eléctrica como suplemento energético para alcanzar el confort en la vivienda.

Generar conclusiones concretas del aporte de este sistema a la economía del hogar.

Generar recomendaciones para otros proyectos de evaluación con trabajo de campo.

# ÍNDICE GENERAL

---

RESUMEN.....	2
ABSTRACT .....	3
OBJETIVOS.....	4
ÍNDICE GENERAL .....	5
ÍNDICE DE FIGURAS .....	7
ÍNDICE DE TABLAS .....	9
1 INTRODUCCIÓN .....	11
2 ANTECEDENTES.....	13
<b>2.1 Reglamentos a nivel nacional .....</b>	<b>14</b>
<b>2.1.1 Normas Chilenas.....</b>	<b>17</b>
<b>2.2 Energía en el hogar.....</b>	<b>18</b>
<b>2.2.1 Confort térmico.....</b>	<b>18</b>
<b>2.2.2 Balance térmico.....</b>	<b>19</b>
<b>2.3 Conductividad y resistencia térmica.....</b>	<b>22</b>
<b>2.4 Tipos de Viviendas .....</b>	<b>32</b>
<b>2.5 Zonificación y requerimientos energéticos.....</b>	<b>36</b>
<b>2.6 EIFS .....</b>	<b>42</b>
<b>2.6.1 Beneficios EIFS.....</b>	<b>43</b>
<b>2.6.2 Configuración básica.....</b>	<b>45</b>
<b>2.6.3 EIFS en la práctica .....</b>	<b>50</b>
3 DESARROLLO TÉCNICO .....	56
<b>3.1 Transmitancia Térmica Modelo Base .....</b>	<b>57</b>
<b>3.1.1 Muros de ladrillo .....</b>	<b>57</b>
<b>3.1.2 Distribución de áreas.....</b>	<b>57</b>
<b>3.1.3 Resistencias térmicas componentes de muro de ladrillos .....</b>	<b>59</b>
<b>3.1.4 Transmitancia térmica total muro (<i>UT</i>).....</b>	<b>62</b>
<b>3.1.5 Parámetros O.G.U.C. Caso Base.....</b>	<b>63</b>
<b>3.1.6 Techumbre.....</b>	<b>65</b>
<b>3.1.7 Cálculo de Transmitancia térmica Techumbre Zona 2 .....</b>	<b>67</b>
<b>3.1.8 Resistencias térmicas superficiales.....</b>	<b>70</b>

3.1.9	Transmitancia térmica techumbre .....	71
3.1.10	Transmitancia térmica de pisos.....	75
3.1.11	Transmitancia térmica de ventanas y puertas .....	77
3.2	Transmitancia Térmica Modelo con aislación EIFS .....	82
3.2.1	Propuesta Zona 2 .....	82
3.2.2	Propuesta Zona 7 .....	87
3.3	Propuestas alternativas .....	91
3.4	Demanda de Energía en el hogar .....	94
3.4.1	Inercia térmica en la vivienda .....	94
3.4.2	Coefficiente volumétrico global de pérdidas .....	97
3.4.3	Demanda energía vivienda modelo “caso base” Zona 2 .....	100
3.4.4	Demanda energía vivienda modelo “caso base” Zona 7 .....	101
3.4.5	Demanda energética con solución EIFS Zona 2 .....	102
3.4.6	Demanda energética con solución EIFS Zona 7 .....	103
3.4.7	Resumen Demanda Energética.....	104
3.5	Consumo de energía .....	105
3.5.1	Consumo Eléctrico.....	106
3.6	Costos EIFS.....	110
3.6.1	Costos de materiales y mano de obra .....	111
3.7	Costos y beneficios .....	116
4	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	119
4.1	Conclusiones.....	119
4.2	Recomendaciones.....	120
5	BIBLIOGRAFIA.....	122
6	ANEXOS.....	124

# ÍNDICE DE FIGURAS

---

Figura 1. Ganancias y pérdidas de calor en una vivienda (Corporación de Desarrollo Tecnológico, 2016). .....	20
Figura 2. Vista muro de hormigón.....	25
Figura 3. Vista muro de ladrillos. ....	25
Figura 4. Vista tabique de madera. ....	26
Figura 5. Representación ilustrada de las superficies ladrillo y cantería. ....	31
Figura 6. Tipos de vivienda Serviu (Corporación de Desarrollo Tecnológico & CChC, 2015).....	32
Figura 7. Ilustración vivienda tipo, elaboración propia.....	35
Figura 8. Resumen materialidad de la vivienda, elaboración propia.....	35
Figura 9. Mapa de zonificación térmica en Chile. (Ministerio de Vivienda y Urbanismo, 1999).....	37
Figura 10. Identificación de la comuna de Llay Llay, V región, Zona 2 (Ministerio de Vivienda y Urbanismo, 1999).....	40
Figura 11. Identificación de la comuna de Punta Arenas, Región de Magallanes, Zona 7 (Ministerio de Vivienda y Urbanismo, 1999).....	41
Figura 12. Instalación de EIFS sobre muro de albañilería. (Ministerio de Vivienda y Urbanismo, 2019).....	42
Figura 13. Fijación material aislante con y sin refuerzo (Franco, 2018).....	45
Figura 14. Sustrato con aislación de poliestireno expandido EPS (Franco, 2018).....	46
Figura 15. Capa base sobre el aislante EPS (Franco, 2018).....	46
Figura 16. Malla de refuerzo sobre el aislante EPS (Franco, 2018).....	47
Figura 17. Capa final texturizada. ....	48
Figura 18. Instalación de planchas EPS en muros por empresa ICUFER Construcciones Ltda. ....	50
Figura 19. Instalación de planchas en muros y frontones.....	51
Figura 20. Estuco elastomérico en muro izquierdo aplicado desde abajo hacia arriba. ....	52
Figura 21. Acabado final de muros con sistema EIFS proyectos empresa ICUFER Construcciones Ltda. ....	53
Figura 22. Imagen proceso instalación EIFS por la empresa ICUFER Construcciones Ltda. ....	54
Figura 23. Imagen proceso EIFS por la empresa ICUFER Construcciones Ltda. ....	55
Figura 24. Representación muro de ladrillo con medidas, elaboración propia. ....	57
Figura 25. Vista sección ladrillo y cantería, elaboración propia. ....	58
Figura 26. Ilustración vista corte muro de ladrillos con medidas, elaboración propia. ....	60
Figura 27. Tipos de cielo en estructura de techumbre (Corporación de Desarrollo Tecnológico, 2016). ....	65
Figura 28. Imagen referencial poliestireno expandido (EPS).....	66
Figura 29. Detalle techumbre, sección plano elevación Proyecto DS N° 10 de la empresa ICUFER Construcciones Ltda. ....	67

Figura 30. Ilustración de la instalación de planchas de EPS en cielos. ....	68
Figura 31. Resistencias superficiales según NCh 853 (NCh 853, 2007).....	70
Figura 32. Ilustración tipos de pisos.....	75
Figura 33. Ilustración detalle doble vidriado hermético (Corporación de Desarrollo Tecnológico & CChC, 2015).....	77
Figura 34. Plano planta vivienda modelo (proyecto D.S. N° 10).....	79
Figura 35. Planos de ventanas vivienda modelo.....	80
Figura 36. Especificaciones EIFS Proyecto vivienda D.S. N°10. ....	82
Figura 37. Ilustración resistencias muros con EIFS. ....	84
Figura 38. Propuesta Solución EIFS Zona 7 (PDA Coyhaique, 2018). ....	87
Figura 39. Gráfico de resistencia térmica soluciones alternativas.....	92
Figura 40. Renovaciones de aire por hora según NCh 1960 (NCh 1960, 1989).....	98
Figura 41. Ilustración de calefactor por convección.....	107
Figura 42. Ilustración de calefactor por radiación.....	108
Figura 43. Detalle instalación planchas de poliestireno expandido sobre muros de ladrillos. ....	110
Figura 44. Resumen final solución constructiva para Zona 2. ....	116
Figura 45. Resumen final solución constructiva Zona 7. ....	117

# ÍNDICE DE TABLAS

---

Tabla 1. Parámetros térmicos por zonas a nivel nacional de la O.G.U.C. (Corporación de Desarrollo Tecnológico, 2022). .....	15
Tabla 2. Conductividad térmica de materiales de Construcción (NCh 853, 2007). .....	23
Tabla 3. Resistencias térmicas de superficie inferior y exterior Rse y Rsi (NCh 853, 2007). .....	29
Tabla 4. Grados días anuales por zonas Chile según O.G.U.C. (Ministerio de Vivienda y Urbanismo, 1999). .....	36
Tabla 5. Requerimientos térmicos por zonas (Ministerio de Vivienda y Urbanismo, 2007). .....	38
Tabla 6. Parámetros espesores mínimos según O.G.C.U. (FUNDAMENTA, 2018). .....	49
Tabla 7. Datos empíricos medidas muro de ladrillos.....	58
Tabla 8. Datos térmicos ladrillo.....	60
Tabla 9. Datos térmicos cantería.....	60
Tabla 10. Resultados resistencia ladrillo. ....	61
Tabla 11. Resultados resistencia cantería. ....	61
Tabla 12. Resultados transmitancias térmicas. ....	61
Tabla 13. Parámetros Transmitancia y Resistencia térmica según O.G.U.C Muros Zona 2 y Zona 7 (Ministerio de Vivienda y Urbanismo, 2007).....	63
Tabla 14. Resultados parámetros térmicos "caso base".....	63
Tabla 15. Conductividades EPS según NCh 853 (NCh 853, 2007). ....	66
Tabla 16. Datos materiales de cielo para Zona 2 (NCh 853, 2007).....	71
Tabla 17. Resultados resistencias térmicas materiales cielo y resistencias superficiales según NCh 853. ....	72
Tabla 18. Resultados Resistencia y Transmitancia térmica para caso base, Zona 2.....	73
Tabla 19. Rangos de Transmitancia y Resistencia térmica de techumbres para Zona 2 y Zona 7 (Ministerio de Vivienda y Urbanismo, 2007).....	73
Tabla 20. Resumen resultados cálculos Resistencia y Transmitancia térmica caso base Zona 7. ....	74
Tabla 21. Medidas planta de la vivienda modelo. ....	76
Tabla 22. Transmitancia lineal pisos no ventilados (NCh 853, 2007). .....	76
Tabla 23. Datos Transmitancia térmica tipo de ventanas (Corporación de Desarrollo Tecnológico & CChC, 2015). .....	77
Tabla 24. Resumen transmitancias térmicas por elemento de la vivienda modelo. ....	78
Tabla 25. Medidas vivienda modelo.....	80
Tabla 26. Superficies de los elementos de la vivienda. ....	81
Tabla 27. Resultados pérdidas de calor por elemento. ....	81
Tabla 28. Datos poliestireno EIFS proyecto vivienda D.S. N°10 (NCh 853, 2007). ....	83
Tabla 29. Comparación transmitancias térmicas muros sin y con aislación. ....	85
Tabla 30. Resultados pérdidas de calor por elemento vivienda con EIFS.....	86
Tabla 31. Comparación pérdidas de calor vivienda sin y con aislación. ....	86

Tabla 32. Datos Poliestireno Expandido según NCh 853, Zona 7 (NCh 853, 2007). .....	88
Tabla 33. Resultados Transmitancia y Resistencia térmica para la propuesta Zona 7. ....	89
Tabla 34. Comparación transmitancias térmicas muros sin y con EIFS Zona 7. ....	90
Tabla 35. Resumen pérdidas de calor por elemento con aislación de muros Zona 7. ....	90
Tabla 36. Comparación pérdidas de calor sin y con EIFS, Zona 7.....	90
Tabla 37. Soluciones alternativas espesor EPS. ....	93
Tabla 38. Volumen vivienda modelo según planos de arquitectura proyectos D.S. N°10. ....	100
Tabla 39. Ahorro energético Zona 2. ....	104
Tabla 40. Ahorro energético Zona 7. ....	105
Tabla 41. Tarifas BT1 [\$/kWh] octubre 2024 (CGE, 2024). ....	108
Tabla 42. Resultados consumo eléctrico Zona 2. ....	109
Tabla 43. Resultados consumo eléctrico Zona 7. ....	109
Tabla 44. Listado de precios materiales EIFS según cotización.....	111
Tabla 45. Remuneraciones mensuales mano de obra. ....	112
Tabla 46. Costo de mano de obra durante el periodo de instalación. ....	112
Tabla 47. Costo final instalación EIFS. ....	112
Tabla 48. Costo de inversión por metro cuadrado de muros. ....	113
Tabla 49. Costos materiales EIFS para Zona 7.....	114
Tabla 50. Costos por instalación EIFS en Zona 7.....	114
Tabla 51. Costo inversión por metro cuadrado, Zona 7.....	115

# 1 INTRODUCCIÓN

---

En este trabajo de título se evaluarán los aspectos técnicos y económicos de la implementación de un sistema de eficiencia energética a nivel residencial, utilizando el método de aislación EIFS (Exterior Insulation and Finish System) como opción.

A medida que el concepto de Eficiencia Energética (EE) se hace cada vez más familiar—presente en los medios de comunicación, en las conversaciones familiares y abarcando todos los estratos socioeconómicos—se vuelve esencial para las familias encontrar soluciones a sus nuevas necesidades energéticas. Ya sea por razones de ahorro o por un compromiso consciente con las tendencias "ecofriendly", es crucial adaptar nuestras viviendas para cumplir con estos requisitos.

Pero ¿qué significa realmente la eficiencia energética en una vivienda? ¿Está relacionada con la reducción del consumo de energía? ¿Y por qué es necesaria? La respuesta es que la eficiencia energética busca mejorar nuestra calidad de vida. Permite alcanzar condiciones óptimas de confort térmico con el menor consumo posible, lo que se traduce en un mayor bienestar, mejor salud y una gestión más eficiente de los recursos económicos.

En Chile, cerca del 17,77% de la energía generada se destina al sector residencial (Ministerio de Energía, 2023), siendo aproximadamente el 53% de esta energía utilizada para calefacción de viviendas (Corporación de Desarrollo Tecnológico, 2019). Por lo tanto, reducir el consumo de energía para calefacción es crucial para disminuir el consumo energético total del país. La eficiencia energética en viviendas contribuye a la neutralidad de carbono en el contexto del cambio climático, ayuda a reducir la emisión de material particulado y disminuye el uso de combustibles fósiles para calefaccionar nuestros hogares.

El sistema EIFS es una metodología de aislamiento exterior para viviendas que consiste en aplicar sucesivas capas de materiales constructivos. Este sistema reduce la conductividad térmica o aumenta la resistencia térmica de la vivienda, mejorando así la eficiencia energética al minimizar la pérdida o ganancia de

calor en relación con las condiciones exteriores del lugar donde se encuentra la vivienda.

El sistema EIFS comenzó a implementarse a menor escala en Chile a partir de 2010, cuando empresas pioneras introdujeron este método desde países donde se utiliza desde al menos la década de 1930. No fue hasta 2018 que el Ministerio de Vivienda y Urbanismo estableció una nueva normativa (Resolución Exenta 3.800) para la implementación de medidas de eficiencia energética en nuevas viviendas o en la renovación de viviendas antiguas, con un enfoque particular en los muros, abordando así uno de los grandes desafíos del mercado de la construcción.

## 2 ANTECEDENTES

---

EIFS es la sigla en inglés de "Exterior Insolation and Finish System". En español es traducido como SATE (Sistema de Aislación Térmica Exterior). Estos sistemas de aislación exterior se comenzaron a utilizar en Europa en la década de 1930 pero su desarrollo y utilización aumentó después de la II Guerra Mundial.

La aislación térmica exterior en algunos países es ampliamente utilizada, no sólo por su eficiencia, si no, también por su rapidez constructiva y por la posibilidad de usarlas en edificaciones existentes sin necesidad de afectar mayormente a sus ocupantes.

Ahora bien, en contexto nacional, la Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones establece que todo edificio habitacional debe cumplir con la reglamentación térmica establecida en el Título 4 – Capítulo 1 - Artículo 4.1.10. Esta O.G.U.C. no establece exigencias para edificaciones no habitacionales.

Dicha ordenanza dicta los parámetros para la posterior aplicación de la Res. 3.800 del Ministerio de Vivienda y Urbanismo (BCN, 2018) para la implementación de metodologías de eficiencia energética que se plantean a continuación (Corporación de Desarrollo Tecnológico, 2022).

## 2.1 Reglamentos a nivel nacional

La Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones establece las exigencias para los distintos tipos de edificaciones y para los elementos constructivos que la conforman, también hace obligatoria algunas normas. A continuación, se presentan los artículos de la O.G.U.C. relacionadas con el alcance de este documento (Ministerio de Vivienda y Urbanismo, 2024).

Cabe destacar en este punto que la reglamentación nacional clasifica a nuestro país en zonas térmicas, según sus requerimientos energéticos. Esta clasificación está basada en la cantidad de grados/días anuales calculados en base a las temperaturas máximas y mínimas de cada región y localidad en particular ( (Ministerio de Vivienda y Urbanismo, 1999). En conjunto son un total de 7 zonas térmicas distribuidas a lo largo del país (ver **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**).

Artículo 4.1.10. Todas las viviendas deberán cumplir con las exigencias de acondicionamiento térmico que se señalan a continuación:

*Complejos de techumbre, muros perimetrales y pisos ventilados:*

- Exigencias: Los complejos de techumbres, muros perimetrales y pisos inferiores ventilados, entendidos como elementos que constituyen la envolvente de la vivienda, deberán tener una transmitancia térmica “U” igual o menor, o una resistencia térmica total “Rt” igual o superior, a la señalada para la zona que le corresponda al proyecto de arquitectura, de acuerdo con los planos de zonificación térmica aprobados por resoluciones del Ministerio de Vivienda y Urbanismo y a la siguiente tabla:

Tabla 1. Parámetros térmicos por zonas a nivel nacional de la O.G.U.C. (Corporación de Desarrollo Tecnológico, 2022).

ZONA	TECHUMBRE		MUROS		PISOS VENTILADOS	
	U	Rt	U	Rt	U	Rt
	W/m <sup>2</sup> K	m <sup>2</sup> K/W	W/m <sup>2</sup> K	m <sup>2</sup> K/W	W/m <sup>2</sup> K	m <sup>2</sup> K/W
1	0,84	1,19	4,0	0,25	0,60	0,28
2	0,60	1,67	3,0	0,33	0,87	1,15
3	0,47	2,13	1,9	0,53	0,70	1,43
4	0,38	2,63	1,7	0,59	0,60	1,67
5	0,33	3,03	1,6	0,63	0,50	2,00
6	0,28	3,57	1,1	0,91	0,39	2,56
7	0,25	4,00	0,6	1,67	0,32	3,13

### Muros

Para la aplicación del presente artículo se considerará complejo de muro al conjunto de elementos constructivos que lo conforman y cuyo plano de terminación interior tenga una inclinación de más de 60° sexagesimales, medidos desde la horizontal. Las exigencias de acondicionamiento térmico para muros serán las siguientes:

- Las exigencias señaladas en la Tabla 1. Parámetros térmicos por zonas a nivel nacional de la O.G.U.C. del presente artículo, serán aplicables sólo a aquellos muros y/o tabiques, soportantes y no soportantes, que limiten los espacios interiores de la vivienda con el espacio exterior o con uno o más locales abiertos y no será aplicable a aquellos muros medianeros que separen unidades independientes de vivienda.
- Los recintos cerrados contiguos a una vivienda, tales como bodegas, leñeras, estacionamientos, invernadero, serán considerados como recintos abiertos para efectos de esta reglamentación, y sólo les será aplicable las exigencias de la Tabla 1 a los paramentos que se encuentren contiguos a la envolvente de la vivienda.

- Para minimizar la ocurrencia de puentes térmicos en tabiques perimetrales, los materiales aislantes térmicos o soluciones constructivas especificadas en el proyecto de arquitectura, sólo podrán estar interrumpidos por elementos estructurales, tales como pies derechos, diagonales estructurales y/o por tuberías, ductos o cañerías de las instalaciones domiciliarias.
- En el caso de la albañilería confinada de conformidad a la definición de la NCh 2123, no será exigible el valor de U de la Tabla 1 en los elementos estructurales, tales como pilares, cadenas y vigas.

### 2.1.1 Normas Chilenas

Para más información y para tener en consideración que los datos que se tomarán como referencia para el desarrollo de esta investigación, todos bajo las normas chilenas aquí mostradas a continuación.

En esta herramienta pública se difunden los valores normativos de las soluciones constructivas respaldadas por ensayos realizados de acuerdo a la reglamentación vigente (Corporación de Desarrollo Tecnológico, 2022).

- NCh849 Aislación térmica – Transmisión térmica - Terminología, magnitudes, unidades y símbolos.
- NCh850 Aislación térmica - Método para la determinación de la conductividad térmica en un estado estacionario por medio del anillo de guarda.
- NCh851 Aislación térmica – Determinación de coeficientes de transmisión térmica por el método de la cámara térmica.
- NCh853 Acondicionamiento térmico - Envoltura térmica de edificios. Cálculo de resistencia y transmitancias térmicas.
- NCh 1070 Aislación térmica – Poliestireno expandido – Requisitos
- NCh1071 Aislación térmica - Lana mineral – Requisitos
- NCh1079 Arquitectura y construcción - Zonificación climático-habitacional para Chile y recomendaciones para el diseño arquitectónico.
- NCh2251 Aislación térmica – Resistencia térmica de materiales y elementos de construcción.
- NCh 3136 Puentes térmicos en construcción de edificios - Flujos de calor y temperaturas superficiales - Cálculos detallados.

## **2.2 Energía en el hogar**

Las decisiones de acondicionamiento térmico deben estar centradas en lograr óptimas condiciones de confort interior con un mínimo gasto energético. Para esto se deben entender los factores que influyen sobre las condiciones térmicas de las viviendas y sobre la sensación de bienestar interior.

### **2.2.1 Confort térmico**

Este concepto define las condiciones ambientales en las que las personas podemos sentirnos cómodas y sin molestias al interior de nuestras viviendas. Esta percepción depende del intercambio térmico entre las personas y el entorno, y a una serie de variables que afectan el ambiente interior. El intercambio térmico para lograr nuestro equilibrio, como ya sabemos, lo podemos realizar por conducción, convección y radiación en la vivienda y por medio de la respiración y transpiración de nuestros cuerpos.

El intercambio térmico entre las personas y el entorno se produce debido a que el cuerpo humano se encuentra a una mayor temperatura (36 a 37 °C), por lo que se produce una constante pérdida de calor. Cuando nuestro cuerpo pierde calor a una velocidad adecuada estamos bajo la condición de confort térmico. Por el contrario, sentimos frío cuando lo perdemos aceleradamente, y calor, cuando no logramos disiparlo o perderlo con suficiente rapidez.

Además, dentro de las variables que pueden afectar nuestro confort, influye en mayor medida la humedad relativa del entorno dentro de la vivienda, lo que compromete directamente a nuestra capacidad de perder o ganar calor y como consecuencia nuestra apreciación de la temperatura y el confort térmico dentro del hogar.

Finalmente, factores como la actividad física dentro de nuestros hogares, nuestra vestimenta y el movimiento del aire dentro de la vivienda son fenómenos que son capaces de cambiar nuestra sensación de bienestar térmico.

Ahora, cuando hablamos de confort térmico dentro del hogar podemos definir esta variable como un rango de temperatura que va fluctuando desde los 18 a

22 °C, de acuerdo con satisfacer nuestra necesidad de comodidad térmica dentro de nuestras viviendas (Corporación de Desarrollo Tecnológico, 2016).

### **2.2.2 Balance térmico**

Las condiciones térmicas de una vivienda dependen de las pérdidas y ganancias de calor. La vivienda tenderá a calentarse cuando las ganancias de calor sean mayores que las pérdidas, y a enfriarse en la situación contraria. En cualquiera de los casos, el ambiente interior puede llegar a condiciones de incomodidad térmica, requiriendo de sistemas de climatización (calefacción o refrigeración) para ser contrarrestadas (Corporación de Desarrollo Tecnológico, 2016).

#### *Ganancias de Calor*

##### Ganancias Solares ( $Q_s$ )

La radiación solar que incide sobre la vivienda puede generar importantes ganancias de calor. Estas se obtienen de forma indirecta por medio de las superficies expuestas al exterior (muros y cubiertas), y en mayor relación, de forma directa, a través de las ventanas. Por lo mismo, es muy relevante la orientación de las viviendas. Es decir, que la mayor superficie de ventanas esté dispuesta hacia el recorrido del sol, preferentemente hacia el norte, de modo de maximizar las ganancias solares.

##### Ganancias Internas ( $Q_i$ )

Las ganancias internas provienen de las fuentes de calor que están situadas dentro de la vivienda. Estas incluyen las personas, la iluminación, los equipos (TV, computador, etc.) y los artefactos (cocina, hervidor, etc.). Prácticamente todo lo que consume energía, también genera calor. Esta situación puede considerarse positiva, en épocas invernales, sin embargo, contraproducente en periodos de mayor calor.

## *Pérdidas de calor*

### Por Conducción ( $Q_c$ )

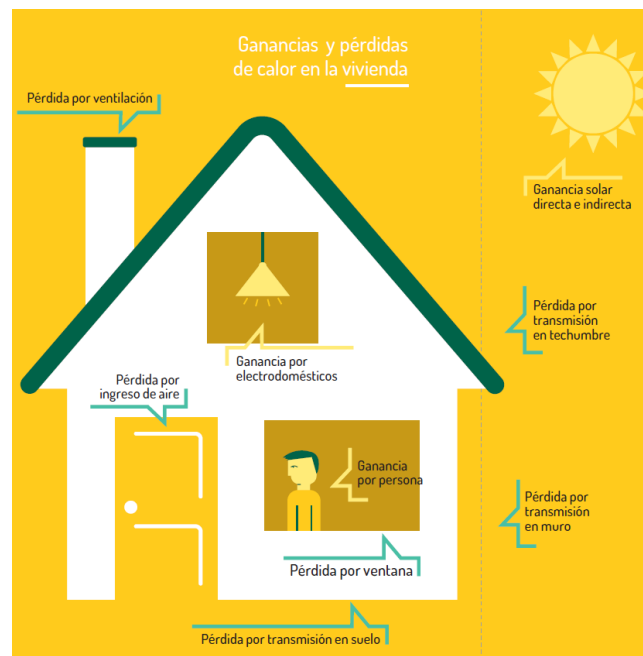
Cuando existen pérdidas (o ganancias) de calor por la envolvente de la vivienda (muros, pisos y techumbre). La cantidad de calor que se puede perder dependerá de las características térmicas de las soluciones constructivas, de la superficie expuesta hacia el exterior (envolvente) y de las diferencias de temperatura entre el interior y el exterior.

### Ventilación ( $Q_v$ )

Las pérdidas (o ganancias) de calor por ventilación ocurren cuando el aire exterior ingresa a la vivienda, renovando o expulsando el aire interior hacia afuera. Esta ventilación puede darse de forma deliberada por medio de ventanas o puertas, o de manera involuntaria, mediante la infiltración de aire a través de fisuras o aberturas de la envolvente (bajo las puertas exteriores, encuentros de ventanas con muros, sellos de ventanas, etc.).

### Evaporación ( $Q_e$ )

Las pérdidas de energía ocurren por efecto del calor absorbido por la evaporación que puede generarse fuera o dentro de la vivienda.



*Figura 1. Ganancias y pérdidas de calor en una vivienda (Corporación de Desarrollo Tecnológico, 2016).*

Como ya hemos visto, la ganancia y pérdida de calor dentro de nuestros hogares son fenómenos que coexisten en el dinamismo de un ambiente que es cerrado, con ventilaciones y/o filtraciones y con nuestra propia existencia dentro del hogar, según la siguiente relación:

$$Q_{(s)} \pm Q_{(i)} \pm Q_{(c)} \pm Q_{(v)} \pm Q_{(e)} \approx 0$$

Donde:

$Q_{(s)}$  = ganancias solares

$Q_{(i)}$  = ganancias internas

$Q_{(c)}$  = pérdidas por conducción

$Q_{(v)}$  = pérdidas por ventilación

$Q_{(e)}$  = pérdidas por evaporación

Para alcanzar un equilibrio térmico, debemos lograr un balance energético lo más cercano a 0 (cero) considerando las ganancias y pérdidas de calor.

En este sentido, considerando que no podemos cambiar el emplazamiento y/o la orientación de nuestras viviendas, para alcanzar dicho balance podemos disminuir las pérdidas de calor dentro del hogar (en invierno), y así mismo disminuir las ganancias de calor (en verano), desde el exterior hacia nuestras viviendas.

Para ello, es necesario mejorar la resistencia térmica de la envolvente de la vivienda, vale decir, muros, techumbre, ventanas y pisos. De esta forma controlar la cantidad de calor que entra y que sale, y disminuir nuestro consumo de energía adicional para lograr el confort térmico.

## 2.3 Conductividad y resistencia térmica

En primera instancia, es necesario definir los conceptos básicos que utilizaremos de aquí en adelante para referirnos a la estructura de la vivienda que la separa de las condiciones exteriores, lo que se conoce como envolvente térmica, junto a los conceptos de resistencia térmica y conductividad térmica de dicha envolvente de la vivienda. Estos conceptos nos ayudarán más adelante a calcular la energía (transferencia de calor) que entra y/o sale de este sistema vivienda (Corporación de Desarrollo Tecnológico & CChC, 2015).

**Envolvente térmica:** Serie de elementos constructivos a través de los cuales se produce el flujo térmico entre el ambiente interior y el ambiente exterior del edificio. Está constituida básicamente por los complejos de techumbre, muros, pisos y ventanas.

**Conductividad térmica ( $\lambda$ ):** Cantidad de calor que en condiciones estacionarias pasa en la unidad de tiempo a través de la unidad de área de una muestra de material homogéneo de extensión infinita, de caras planas y paralelas y espesor unitario. Cuando se establece una diferencia de temperatura unitaria entre sus caras. Se expresa en  $\left[ \frac{W}{m K} \right]$ .

**Resistencia térmica (R):** Oposición al paso de calor que presentan los elementos o materiales de construcción. Se expresa en  $\left[ \frac{m^2 K}{W} \right]$ .

**Transmitancia térmica (U):** Flujo de calor que pasa por unidad de superficie del elemento y por grado de diferencia de temperatura entre los dos ambientes separados por dicho elemento. Corresponde al inverso de la resistencia térmica total  $R_t$  de un elemento y se expresa en  $\left[ \frac{W}{m^2 K} \right]$ .

La principal función de la envolvente térmica es limitar el flujo de energía, o transmitancia térmica, entre el interior y el exterior de la vivienda, o viceversa. Para ello, es importante que las soluciones constructivas consideren materiales de baja conductividad térmica en su conformación, es decir, materiales que tengan la capacidad de oponerse al paso del calor.

El cálculo de resistencias y transmitancias térmicas es fundamental en todos los casos relacionados con las pérdidas de calor de los edificios y se realiza de acuerdo a la norma chilena NCh 853 “Acondicionamiento térmico - Envolvente térmica de edificios - Cálculo de resistencias y transmitancias térmicas”.

A continuación, podemos presentar un extracto de esta norma con la información de las soluciones de materiales más utilizados en la construcción de viviendas que conforman el envolvente térmico.

*Tabla 2. Conductividad térmica de materiales de Construcción (NCh 853, 2007).*

<b>Conductividad térmica materiales de construcción</b>		
<b>Material</b>	<b>Conductividad [W/m*K]</b>	<b>Densidad aparente [kg/m3]</b>
Hormigón armado	1,63	2400
Hormigón normal con áridos silíceos	0,34	600
Ladrillo macizo hecho a maquina	0,46 - 1,0	1000 - 2000
Lana mineral	0,042 - 0,069	20-140
Madera pino insigne	0,104	410
Poliestireno expandido	0,0361 - 0,0430	10 - 30
Vidrio plano	1,2	2500

Como podemos ver en la Tabla 2, se han enlistado los materiales de construcción que, de acuerdo a las especificaciones técnicas, son los más comunes utilizados en viviendas tipo Serviu.

La construcción de nuevas viviendas cuenta con aislación en techumbres a partir del año 2000. Estas pueden incluir la utilización de poliestireno expandido o

lana mineral para cumplir con la normativa. La lana mineral es un material que posee una conductividad muy baja del orden de 0,042 a 0,069  $\left[\frac{W}{m K}\right]$  (valor que varía según la densidad del material), cercana a cero la cual permite a la composición techumbre de la envolvente térmica, aumentar su eficiencia.

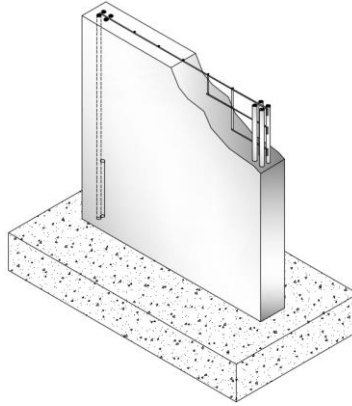
Al utilizar poliestireno expandido en tabiques al interior de las viviendas, que posee una conductividad térmica del orden de 0,0361 a 0,0430  $\left[\frac{W}{m K}\right]$  (valor que varía de acuerdo con la densidad del material), nuevamente muy cercana a cero, un indicativo que es un material altamente aislante y que de esta forma permite mantener el confort térmico en los diferentes espacios de la vivienda, principalmente dormitorios.

En cuanto al complejo traslucido (ventanas) de la vivienda, podemos ver que el coeficiente de conductividad térmica para vidrio plano es alto (1,2  $\left[\frac{W}{m K}\right]$ ) e inmediatamente indica que no proporciona buena aislación a la vivienda.

En este caso, la solución más efectiva y que se aplica desde 2007 en adelante en construcción de nuevas viviendas, como metodologías que pueden aumentar la eficiencia energética del hogar es reemplazar la instalación de ventanas regulares de vidrio plano, por ventanas termopanel de doble hoja. Este tipo de solución es más fácil y rápida de implementar en las viviendas. Aunque a nivel global no se considera un factor alto de pérdidas de energía debido a su baja participación en la estructura de la envolvente térmica. Las ventanas de doble vidriado hermético, la solución energética más común y efectiva posee una conductividad térmica de 0,0336  $\left[\frac{W}{m K}\right]$  (Cristales, 2024), donde, comparado con el valor de la conductividad del vidriado normal es sustancialmente menor.

Sin embargo, cuando nos referimos al complejo de muros de la vivienda estos son, por lejos, la mayor parte del envolvente térmico. La materialidad de los muros puede ser variada para cada vivienda. Como ejemplo se ha dispuesto los diferentes tipos de muros:

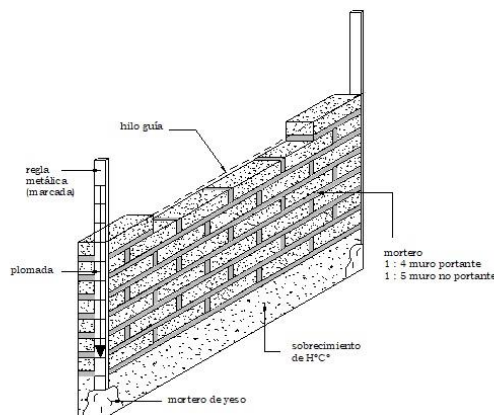
- Muros de hormigón armado (estructura interna de fierro) el cual posee la mayor conductividad de las opciones de muros, siendo de 1,63  $\left[\frac{W}{m K}\right]$ , debido al contenido de un compuesto metálico en su interior aumenta su conductividad térmica al conjunto hormigón armado.



*Figura 2. Vista muro de hormigón.*

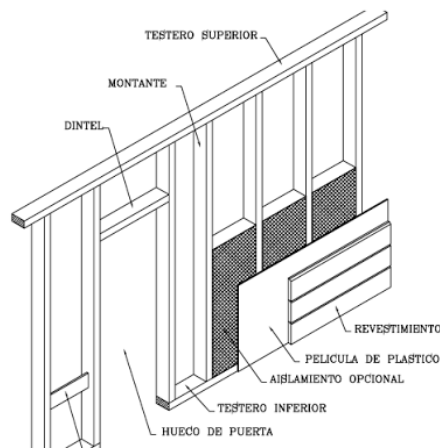
- Muros de ladrillo fabricados industrialmente poseen una conductividad térmica que varía dentro de un rango de 0,46 a 1,00  $\left[\frac{W}{m K}\right]$ , al igual que en los casos anteriores el rango depende de la densidad del ladrillo utilizado. En este caso el valor de la conductividad de muros de ladrillos no funciona como un gran agente aislante para el confort térmico de las viviendas.

Aunque en comparativa los muros de ladrillos son mejor opción que los muros de hormigón armado, en la práctica hormigón y ladrillos componen los muros de las viviendas en proporciones y disposiciones que veremos más adelante en el desarrollo técnico de este estudio. Así, los valores reales de las condiciones de una vivienda está dado por la utilización de estos dos elementos en las proporciones propias de la construcción de muros de la ladrillo.



*Figura 3. Vista muro de ladrillos.*

- Muros de madera, existen gran cantidad de viviendas de material ligero en el país, que como indica su coeficiente de conductividad térmica, es una mejor opción que las viviendas de material sólido con un valor de conductividad térmica de  $0,104 \left[ \frac{W}{m K} \right]$ . Sin embargo, este tipo de muros no es utilizado por Serviu, donde bajo las especificaciones técnicas de los subsidios que se entregan viviendas para familias de grupos emergentes, se prioriza una vivienda de material sólido, duradera y de calidad, por sobre la construcción de una vivienda de material ligero. Aunque como hemos visto anteriormente la utilización del método EIFS como solución energética en el hogar se puede implementar prácticamente en cualquier superficie.



*Figura 4. Vista tabique de madera.*

Finalmente tenemos el hormigón mezclado con áridos silíceos, que, para situarlo en el conjunto de la envolvente térmica de la vivienda, es esta la composición de materiales correspondiente al complejo de pisos de la vivienda. Su valor según la NCh 853 es de  $0,34 \left[ \frac{W}{m K} \right]$  y corresponde a un complejo con menor conductividad que la sección muros, en comparativa, y que además compone una participación menor dentro de la envolvente térmica total de la vivienda.

En este sentido, un elemento de construcción que tiene la capacidad de oponerse al paso del calor es un material con alta resistencia térmica. Asimismo, la suma de capas de materiales que componen una solución constructiva tiene una resistencia térmica total que contribuirá a reducir eficientemente la pérdida de energía.

Para calcular la resistencia térmica de la envolvente térmica, la cual está compuesta por capas de materiales, debemos tener en cuenta las resistencias individuales de los materiales, con ello reformularlos a nuestras condiciones para obtener la resistencia del conjunto de materiales para cuantificar apropiadamente la oposición de esta estructura al paso de calor.

Para ello debemos considerar:

- **Resistencia térmica de una capa material ( $R_m$ ):** Para una capa de caras planas y paralelas, de espesor  $e$ , conformada por un material homogéneo de conductividad térmica  $\lambda$ , la resistencia térmica,  $R$ , queda dada por:

$$R_m = \frac{e}{\lambda}$$

Donde:

$R_m$  : Resistencia térmica del material expresado en  $\left[\frac{m^2K}{W}\right]$ .

$e$  : espesor del material, en  $[m]$ .

$\lambda$  : coeficiente de conductividad térmica del material, en  $\left[\frac{W}{mK}\right]$ .

- **Resistencia térmica de un elemento compuesto, ( $R$ ):** Suma de las resistencias de cada capa del elemento.

$$R = \sum \frac{e_i}{\lambda_i}$$

Donde:

$R$  : Resistencia térmica del elemento compuesto expresado en  $\left[\frac{m^2K}{W}\right]$ .

$e$  : espesor del material  $i$ , en  $[m]$ .

$\lambda$  : coeficiente de conductividad térmica del material  $i$ , en  $\left[\frac{W}{mK}\right]$ .

La resistencia térmica de materiales homogéneos corresponde a la suma de las resistencias de todas las capas que componen el muro. Como por ejemplo la condición inicial de la vivienda con muros de ladrillos y posterior instalación de EIFS.

- **Resistencia térmica de una cámara de aire no ventilada, ( $R_g$ ):** Es la resistencia térmica que presenta una masa de aire confinado (cámara de aire). Se determina experimentalmente por medio de la norma NCh 851 y se expresa en  $\left[\frac{m^2K}{W}\right]$ .

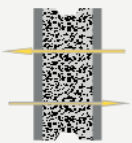
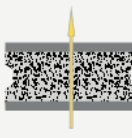
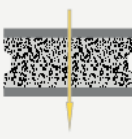
Algunos elementos constructivos pueden contener huecos de aire en su interior (bloques, elementos prefabricados, dobles tabiques, entretechos, subsuelos). Cuando los huecos son relativamente herméticos y grandes pueden ofrecer resistencias térmicas importantes al paso del calor y se debe considerar la resistencia térmica de estas cámaras de aire,  $R_g$ . Sus valores se pueden obtener de la norma chilena NCh 853.

- **Resistencia térmica de superficie, ( $R_s$ ):** Inverso del coeficiente superficial de transferencia térmica  $h$ , es decir:

$$R_s = \frac{1}{h}$$

La NCh 853, indica los siguientes valores de resistencias superficiales dependiendo si el elemento está en contacto con el exterior o con otro local o cámara de aire, según la siguiente Tabla 3:

Tabla 3. Resistencias térmicas de superficie inferior y exterior  $R_{se}$  y  $R_{si}$  (NCh 853, 2007).

RESISTENCIAS TÉRMICAS DE SUPERFICIE EN $M^2 \times K/W$							
Posición del elemento y sentido del flujo de calor		Situación del elemento					
		De separación con espacio exterior o local abierto			De separación con otro local, desván o cámara de aire		
		$R_{si}$	$R_{se}$	$R_{si} + R_{se}$	$R_{si}$	$R_{se}$	$R_{si} + R_{se}$
Flujo horizontal en elementos verticales o con pendiente mayor que $60^\circ$ respecto a la horizontal		0,12	0,05	0,17	0,12	0,12	0,24
Flujo ascendente en elementos horizontales o con pendiente menor o igual que $60^\circ$ respecto a la horizontal		0,09	0,05	0,14	0,10	0,10	0,20
Flujo descendente en elementos horizontales o con pendiente menor o igual que $60^\circ$ respecto a la horizontal		0,17	0,05	0,22	0,17	0,17	0,34

Para calcular la resistencia térmica total ( $R_T$ ) de un elemento homogéneo simple o compuesto, se deben considerar las resistencias de los distintos materiales que lo componen. Incluyendo las resistencias superficiales y la resistencia de la cámara de aire si corresponde.

$$R_T = R_{se} + \sum \frac{e_i}{\lambda_i} + R_g + R_{si}$$

Donde:

$R_T$  : resistencia total del elemento expresado en  $\left[\frac{m^2K}{W}\right]$ .

$R_{se}$  : resistencia superficial exterior del elemento, en  $\left[\frac{m^2K}{W}\right]$ .

$e$  : espesor del material  $i$ , en  $[m]$ .

$\lambda$  : coeficiente de conductividad térmica del material  $i$ , en  $\left[\frac{W}{m K}\right]$ .

$R_g$ : resistencia de la cámara de aire, en  $\left[\frac{m^2 K}{W}\right]$ .

$R_{si}$ : resistencia superficial interior del elemento, en  $\left[\frac{m^2 K}{W}\right]$

Ahora, para llegar a calcular la eficiencia energética de la vivienda y posteriormente su aumento de rendimiento energético, conociendo las variables a considerar, la heterogeneidad de los materiales y como se componen en la estructura de una vivienda, cada elemento aporta sus propiedades individuales para obtener lo que será la transmitancia del conjunto.

De esta forma,

La **transmitancia térmica ( $U$ )** de un elemento, se determina a partir de la resistencia térmica de éste, mediante la siguiente fórmula:

$$U = \frac{1}{R_T}$$

Donde:

$U$ : transmitancia térmica del elemento expresado en  $\left[\frac{W}{m^2 K}\right]$ .

$R_T$ : resistencia térmica total del elemento expresado en  $\left[\frac{m^2 K}{W}\right]$ .

Dado que el caso de estudio considerará muros de ladrillo, unidos con mezcla de hormigón silíceo, un conjunto de elementos heterogéneos, que ocuparán una superficie “ $S$ ” y tendrán una transmitancia térmica “ $U$ ”, de acuerdo a su distribución en los muros de la envolvente de la vivienda. La imagen a continuación corresponde a una representación de cómo se conformaría este elemento a analizar.

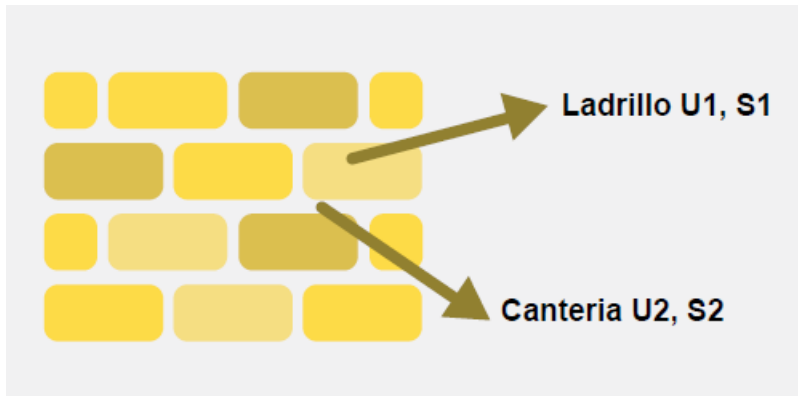


Figura 5. Representación ilustrada de las superficies ladrillo y cantería.

Cuando se trata de un elemento heterogéneo como el de la figura anterior compuesto por secciones de valores de  $U$  distintos, se obtiene un valor promedio  $\bar{U}$  ponderado de la siguiente forma:

$$\bar{U} = \frac{\sum U_i * S_i}{\sum S_i}$$

Donde:

$\bar{U}$ : transmitancia térmica ponderada de los distintos elementos  $i$  expresado en  $\left[\frac{W}{m^2K}\right]$ .

$U_i$ : transmitancia térmica de los distintos elementos  $i$  expresado en  $\left[\frac{W}{m^2K}\right]$ .

$S_i$ : superficie de elementos a través de la que fluye el calor, en  $[m^2]$ .

## 2.4 Tipos de Viviendas

Una regla básica y referencial de aislación térmica es partir primero por la techumbre. Luego por los muros, pisos ventilados y finalmente el cambio de ventanas en viviendas aisladas y pareadas. En departamentos los elementos principales a acondicionar son muros y ventanas.

Dado esto, es muy importante identificar el tipo de vivienda que será analizada en este estudio, teniendo en consideración el contacto de la envolvente térmica con el exterior y sus condiciones.

Como contexto, los subsidios de Gobierno (Ministerio de Vivienda y Urbanismo) para familias de grupos emergentes entrega tres tipos diferentes de viviendas, dependiendo primero, del tipo de postulación (individual o colectiva) y de ser individual, si cuenta con sitio propio.

Según esto se pueden generar proyectos colectivos como poblaciones de viviendas “pareadas” o complejos habitacionales del tipo edificios sociales. En el caso de contar con sitio propio, se puede postular un proyecto individual y construir una casa, a lo que llamamos una vivienda del tipo aislada.

		
<b>Vivienda Aislada</b> 6 elementos en contacto con el exterior: <ul style="list-style-type: none"><li>• 4 Muros</li><li>• 1 techo</li><li>• 1 piso</li></ul>	<b>Vivienda Pareada o en fila</b> 3-5 elementos en contacto con el exterior: <ul style="list-style-type: none"><li>• 1-3 Muros</li><li>• 1 techo</li><li>• 1 piso</li></ul>	<b>Departamento</b> 1-4 elementos en contacto con el exterior: <ul style="list-style-type: none"><li>• 1-3 Muros</li><li>• 1 techo (solo en deptos. último piso)</li><li>• 1 piso (solo en deptos. 1er o 2do piso)</li></ul>

*Figura 6. Tipos de vivienda Serviu (Corporación de Desarrollo Tecnológico & CChC, 2015).*

Es fundamental individualizar el tipo de vivienda, ya que como podemos ver en la Figura 6; **Error! No se encuentra el origen de la referencia.**, las viviendas aisladas tienen mayor superficie de contacto con el exterior, vale decir, 6 elementos en contacto con el exterior, que hacen de ella una vivienda con mayor requerimiento energético para alcanzar una condición de confort.

En el caso de las viviendas pareadas o departamentos, al compartir elementos con la vivienda vecina, reduce el contacto de la envolvente térmica de este tipo de viviendas con el exterior, y en consecuencia son estructuras que demandan menos energía suplementaria.

Por tanto, se define que la vivienda del caso de estudio corresponde a una **vivienda aislada**.

Luego, de acuerdo con el comportamiento energético del tipo de vivienda construida como obra nueva en nuestro país, las podemos clasificar en tres tipos.

- Primeras viviendas – Sin aislación: Viviendas sin aislación térmica (generalmente construidas hasta el 2000 incluido). Equivalen aproximadamente al 86% de las viviendas construidas en el país (Ministerio de Energía & CDT, 2018).
- O.G.U.C. 2000: Viviendas con aislación de techumbre de acuerdo con O.G.U.C. (construidas entre el 2001 y el 2006 incluidos). Equivalen aproximadamente al 12% de las viviendas construidas en el país (Ministerio de Energía & CDT, 2018).
- Vivienda O.G.U.C. 2007: Viviendas con aislación térmica en muros y techumbre de acuerdo con O.G.U.C. actual, (generalmente construidas después del 2007). Equivalen aproximadamente al 2% de las viviendas construidas en el país hasta el año 2010 (Ministerio de Energía & CDT, 2018).

Para el alcance de este estudio, y en base a la experiencia real a la hora de construir una vivienda nueva, incluso el subsidio más básico (ej: D.S. N° 1 (V. y U.) de 2011) incluye aislación en techumbre como medida de protección a las familias contra las condiciones climáticas exteriores.

Considerando el estándar básico de construcción actual, es necesario analizar la construcción de una vivienda nueva que ya cuenta con aislación en techumbre,

y que adicionalmente se evaluará su acondicionamiento térmico con aislación de muros.

Por lo tanto, el caso de estudio será una vivienda nueva, aislada y bajo la reglamentación **O.G.U.C 2007**.

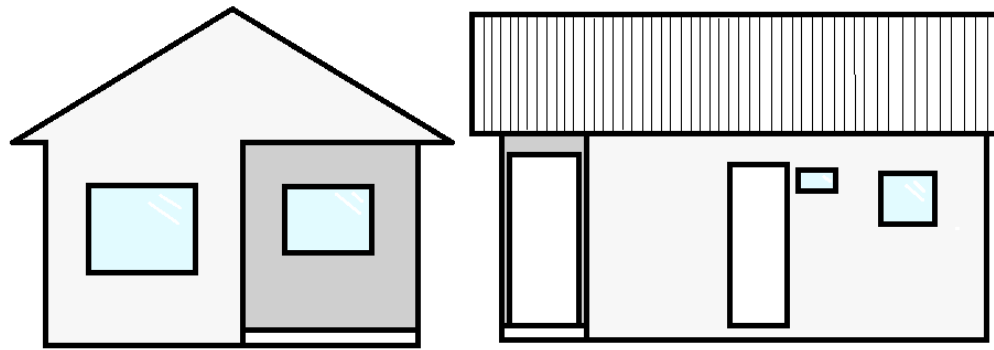
Con relación a la superficie de la vivienda a construir, el Gobierno entrega subsidios que permiten a las familias tener un hogar para el núcleo familiar.

Los subsidios varían en sus presupuestos, por ejemplo, tenemos el Subsidio D.S. N° 1 (V. y U) de 2011, que corresponde al subsidio más básico, al cual se le otorgan 600 UF (Ministerio de Vivienda y Urbanismo, 2024) para la construcción de una obra nueva de albañilería. Este presupuesto se traduce en la práctica, en 52 a 54 [m<sup>2</sup>] como máximo de superficie total.

En el caso del D.S. N° 10 (V. y U.) de 2015 su presupuesto máximo, otorga hasta 1400 UF (Ministerio de Vivienda y Urbanismo, 2024) para la confección de una nueva vivienda, que a diferencia del Subsidio D.S. N° 1 (V. y U) de 2011 incluye los subsidios complementarios de ampliación a la vivienda, mejoramientos a la vivienda existente (MAVE), dotación energética como Colector Solar, y finalmente la implementación de un sistema de aislación en muros EIFS. Este presupuesto se estima para una vivienda obra nueva de máximo 68 [m<sup>2</sup>].

De acuerdo con la información anterior se define que la vivienda unifamiliar a evaluar tendrá una **superficie máxima de 68 [m<sup>2</sup>]**.

En relación con el modelo de vivienda, se propone el siguiente modelo tipo de una vivienda para desarrollar su estudio (Figura 7).



VIVIENDA TIPO:

AISLADA

ALBAÑILERIA

SUPERFICIE APROXIMADA 64 [m<sup>2</sup>]

*Figura 7. Ilustración vivienda tipo, elaboración propia.*

#### **MATERIALIDAD DE LA VIVIENDA**

**MUROS:** ladrillo hecho a máquina (e = 14 [cm])

**TECHUMBRE:** estructuras de cerchas de madera, cielo de yeso cartón y cubierto de planchas de fibrocemento. Aislación de poliestireno expandido (e = 120 [cm])

**PISO:** losa de hormigón (e = 15 [cm])

**VENTANAS:** doble vidriado hermético (DVH)

*Figura 8. Resumen materialidad de la vivienda, elaboración propia.*

## 2.5 Zonificación y requerimientos energéticos

El acondicionamiento térmico de la envolvente está reglamentado en Chile a través del Art. 4.1.10 de la Ordenanza General de Urbanismo y Construcción (O.G.U.C.). La primera reglamentación se estableció el año 2000, cuando se establecen requerimientos mínimos de transmitancia térmica de techumbre. En el año 2007 se incorporaron requerimientos de muros, ventanas y pisos ventilados (Corporación de Desarrollo Tecnológico & CChC, 2015).

Según la O.G.U.C., Chile está clasificado en 7 zonas térmicas de acuerdo con los requerimientos de calefacción. (Ministerio de Vivienda y Urbanismo, 1999).

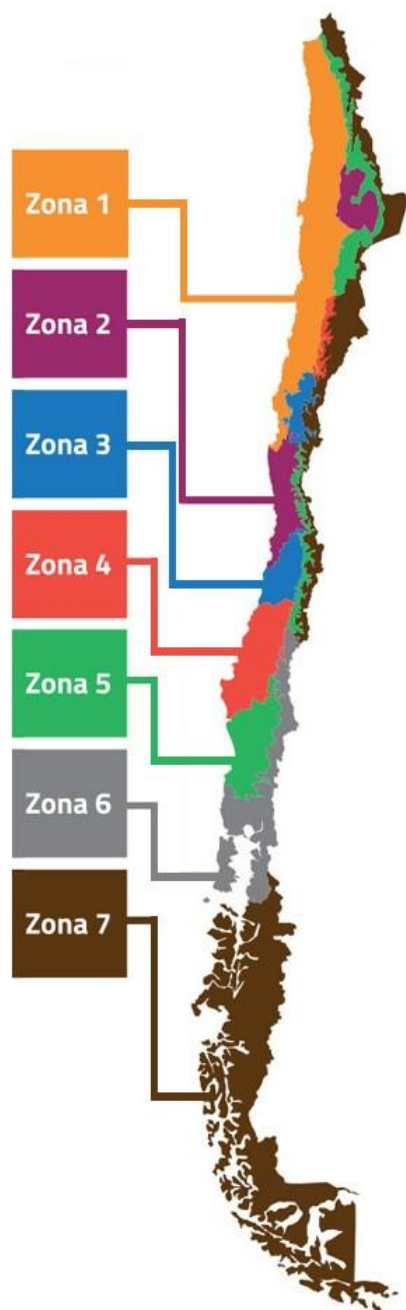
Estas zonas están determinadas de acuerdo con los grados/día a calefaccionar, como se muestra en la Tabla 4, tabla en la cual se muestran las regiones “referenciales” o características que representarían a las 7 zonas térmicas, con una perspectiva muy macro del territorio nacional.

**Grados/día:** Es la diferencia entre la temperatura fijada como “base”, y la media diaria de las temperaturas bajo la temperatura de base, igualando a la “base” aquellas superiores a ésta. Dependiendo del período de tiempo utilizado, se puede hablar de grados/día, grados/hora, grados/año, etc.

*Tabla 4. Grados días anuales por zonas Chile según O.G.U.C. (Ministerio de Vivienda y Urbanismo, 1999).*

Zona	Rango de Grados/día	Región referencial
1	<=500	I a III
2	500 - 750	IV y V
3	750 - 1000	Metropolitana
4	1000 - 1250	VII y VIII
5	1250 – 1500	IX y XIV
6	1500 – 2000	X
7	>2000	XI y XII

Estas zonas se definen geográficamente en nuestro país como muestra la Figura 9 a continuación.



*Figura 9. Mapa de zonificación térmica en Chile. (Ministerio de Vivienda y Urbanismo, 1999).*

Actualmente, la O.G.U.C. (Ministerio de Vivienda y Urbanismo, 2007) establece las siguientes exigencias para complejos de techumbre, muros perimetrales y pisos ventilados para cada zona térmica, a continuación, presentados en la Tabla 5.

*Tabla 5. Requerimientos térmicos por zonas (Ministerio de Vivienda y Urbanismo, 2007).*

Zona	Techumbre		Muros		Pisos Ventilados	
	Transmitancia Térmica U [W/(m <sup>2</sup> *K)]	Resistencia Térmica Rt [m <sup>2</sup> *K/W]	Transmitancia Térmica U [W/( m <sup>2</sup> *K)]	Resistencia Térmica Rt [m <sup>2</sup> *K/W]	Transmitancia Térmica U [W/( m <sup>2</sup> *K)]	Resistencia Térmica Rt [m <sup>2</sup> *K/W]
1	0,84	1,19	4	0,25	3,6	0,28
2	0,6	1,67	3	0,33	0,87	1,15
3	0,47	2,13	1,9	0,53	0,7	1,43
4	0,38	2,63	1,7	0,59	0,6	1,67
5	0,33	3,03	1,6	0,63	0,5	2
6	0,28	3,57	1,1	0,91	0,39	2,56
7	0,25	4	0,6	1,67	0,32	3,13

En este punto es importante contextualizar a la empresa constructora que aporta datos técnicos y económicos a este trabajo de título, y de esta forma, seguir definiendo los alcances del estudio.

La empresa ICUFER Construcciones Ltda. de la comuna de Llay Llay, es una empresa que lleva más de 10 años en el desarrollo de proyectos de construcción de viviendas Serviu, y que específicamente ha desarrollado subsidios formato D.S. N° 10 que incluyen la implementación en obra de sistema EIFS. Gracias a esta experiencia en terreno, podemos recopilar los datos técnicos y económicos del caso de estudio para el desarrollo de este trabajo.

Dada la información anterior, la evaluación de este trabajo se realizará en primera instancia en la Región de Valparaíso, región a la que pertenece y ejecuta los proyectos Serviu descritos anteriormente.

En esta primera evaluación, para la comuna de Llay Llay con su categorización de zona térmica número 2, nuestros parámetros de trabajo son resistencia

térmica mínima de  $0,33 \left[ \frac{m^2K}{W} \right]$  y transmitancia térmica máximo de  $3,0 \left[ \frac{W}{m^2K} \right]$  en el complejo muros, según Tabla 5Tabla 5.

Estos son los parámetros básicos con los que las viviendas hoy en día deben contar. Valores desde los cuales evaluaremos si se cumplen en la práctica a la hora de construir.

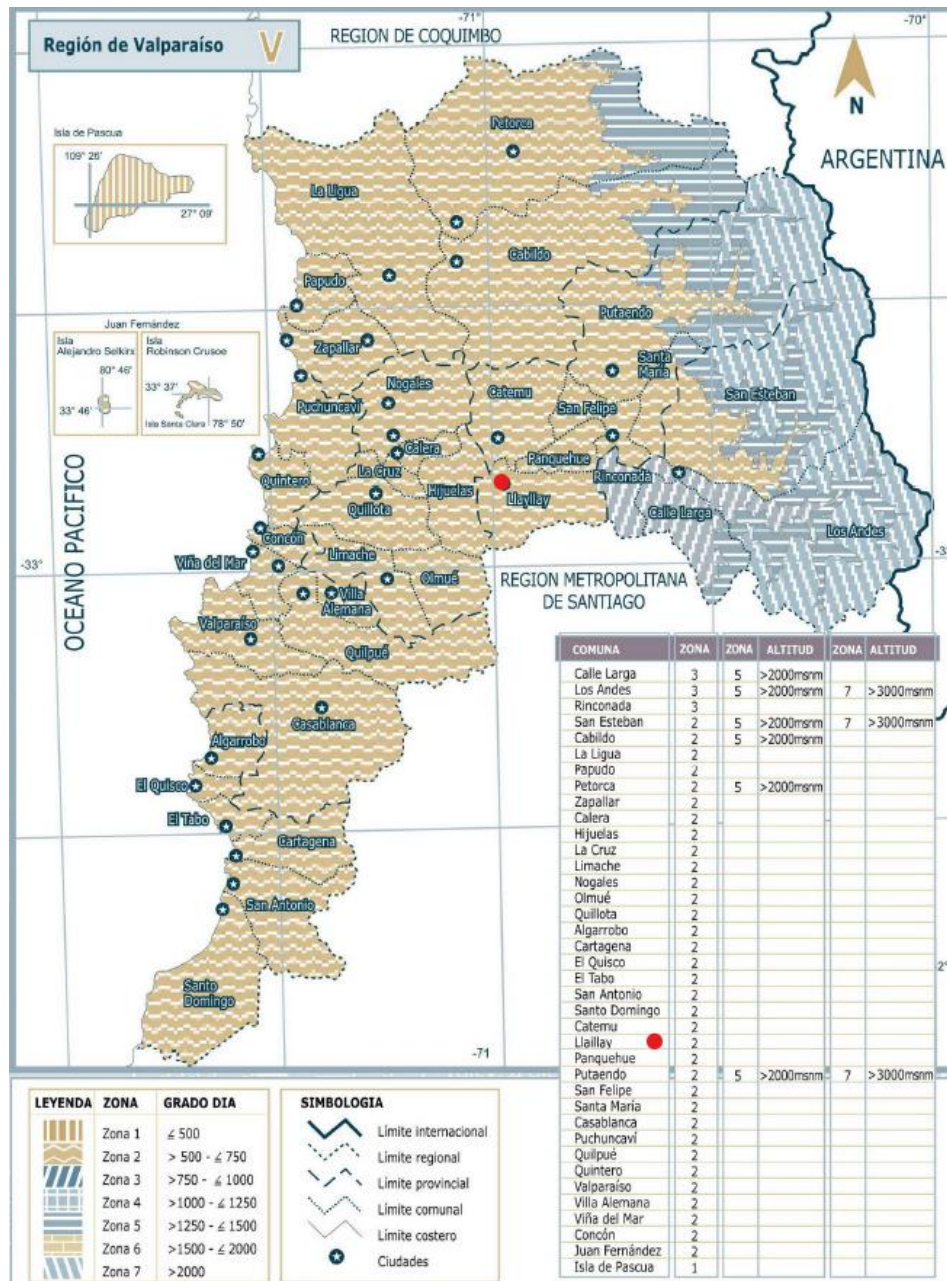


Figura 10. Identificación de la comuna de Llay Llay, V región, Zona 2 (Ministerio de Vivienda y Urbanismo, 1999).

Posterior a esto, analizaremos la zona con mayor demanda energética, vale decir la Zona número 7 correspondientes a las regiones de Aysen y Magallanes, y al igual que la Zona 2, se evaluará su ahorro energético con la implementación del sistema EIFS bajo los parámetros determinados por la O.G.U.C (Ordenanza General de Urbanismo y construcción).

Tales parámetros son, como máximo una transmitancia térmica de  $0,6 \left[ \frac{W}{m^2K} \right]$  y resistencia térmica mínima de  $1,67 \left[ \frac{m^2K}{W} \right]$  en el complejo muros de la envolvente térmica. Parámetros que son más exigentes a la hora de evaluar la eficiencia térmica de la vivienda, en comparación con la Zona térmica 2.

Se individualiza la comuna de Punta Arenas como comuna representativa de la Región de Magallanes, perteneciente a la Zona térmica 7, para el desarrollo de este estudio.

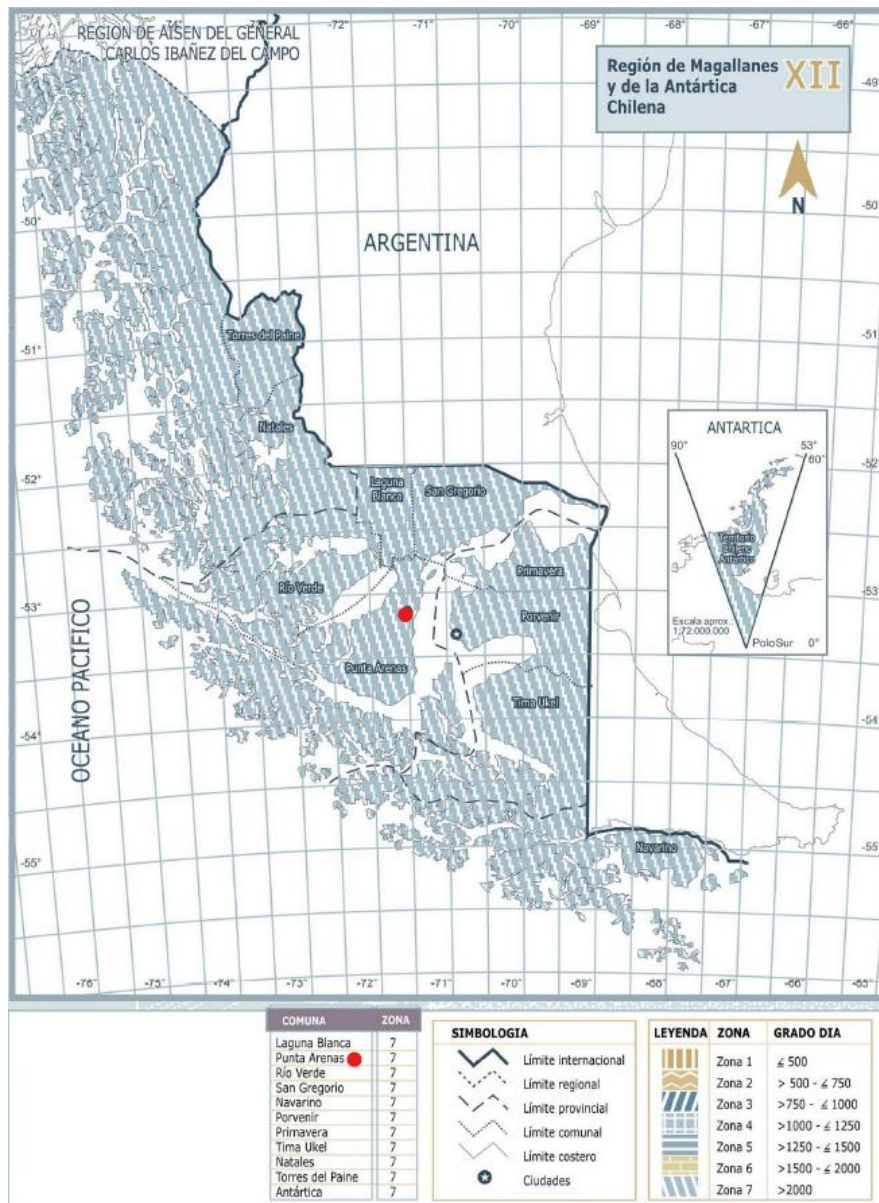
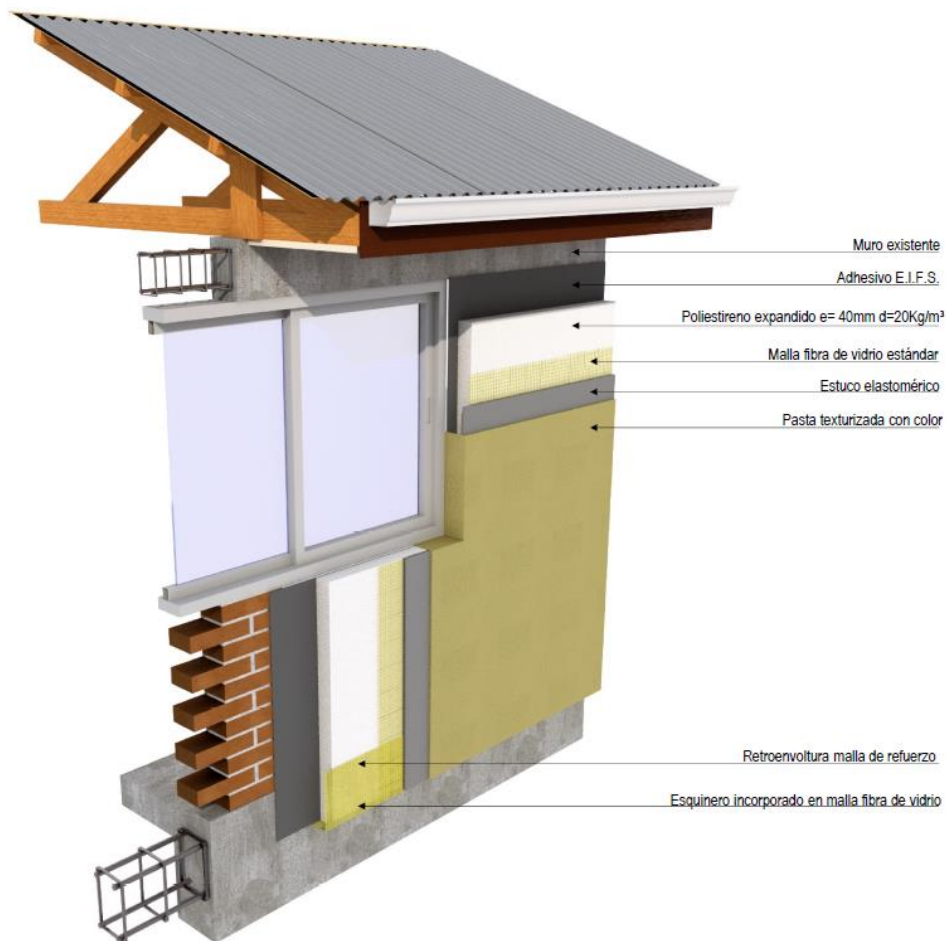


Figura 11. Identificación de la comuna de Punta Arenas, Región de Magallanes, Zona 7 (Ministerio de Vivienda y Urbanismo, 1999).

## 2.6 EIFS

Este sistema es una solución de aislamiento térmica compuesto por varias capas que se adhieren por el exterior del muro o bajo una losa ventilada. El sistema EIFS es resistente al agua y puede recubrirse con pintura, con corcho proyectado o con finish.

Estos sistemas pueden instalarse en cualquier tipo de superficie: albañilería, hormigón, sistemas prefabricados, tabiquerías livianas de madera o metal, OSB, fibrocemento, placas de yeso para uso exterior, placas MgO, entre otras (Corporación de Desarrollo Tecnológico, 2022).



*Figura 12. Instalación de EIFS sobre muro de albañilería. (Ministerio de Vivienda y Urbanismo, 2019).*

Si bien existen diferentes configuraciones y materialidades de las capas que conforman un EIFS, esta configuración se establece en el proyecto de aislación considerando las condiciones particulares del lugar de emplazamiento de la edificación, el sustrato, las exigencias de aislación reglamentarias o establecidas en el proyecto y la terminación definida en el proyecto de arquitectura.

La configuración en general consta de un sustrato, capa base (adhesivo) o fijación, una capa de aislante, una malla de refuerzo en la capa base y un recubrimiento. Eventualmente se puede agregar capas, por ejemplo, barrera de humedad, segunda malla de refuerzo, refuerzo para mejorar la prestación ante impactos, entre otros (Corporación de Desarrollo Tecnológico, EIFS: USO DEL SISTEMA EN CONSTRUCCIÓN SUSTENTABLE, 2022).

### **2.6.1 Beneficios EIFS**

Entre las principales ventajas del sistema EIFS se pueden destacar las siguientes:

- Solución térmica sin puentes térmicos

Por estar instalados por el exterior, elimina los puentes térmicos que se producen en los encuentros de muros o de muros con losas.

- Fisuración en las juntas

La flexibilidad del sistema permite absorber movimientos del sustrato minimizando el riesgo de fisuras.

- Solución seca

Existen muchas soluciones en que los productos que conforman el EIFS son secos, estas no requieren curado ni tiempo de secado.

- Solución rápida de construir

Por tratarse de paneles y en su mayoría sistemas secos permite un rápido avance en la instalación.

- Fácil instalación

Si bien, se requiere mano de obra especializada, su instalación es simple y de buen rendimiento de la mano de obra.

- Liviano

Su peso facilita el traslado interno en la obra y la manipulación al momento de su instalación.

- Utilizable en todo tipo de clima

Apto para todo tipo de clima cumpliendo con las indicaciones del proveedor para su instalación y protección.

- Seguro a la infiltración de agua y condensación

Instalado correctamente es una excelente barrera a la infiltración de aguas lluvias, minimiza la condensación al interior de la vivienda ya que no genera puentes térmicos.

- Baja mantención, no acumula polvo

Fácil de reparar daños, fácil de limpiar en general, aunque depende de la textura de terminación.

- Resistente a presiones negativas de viento

Por la forma de instalación es resistente a la presión negativa de viento (succión).

- Resistente al impacto

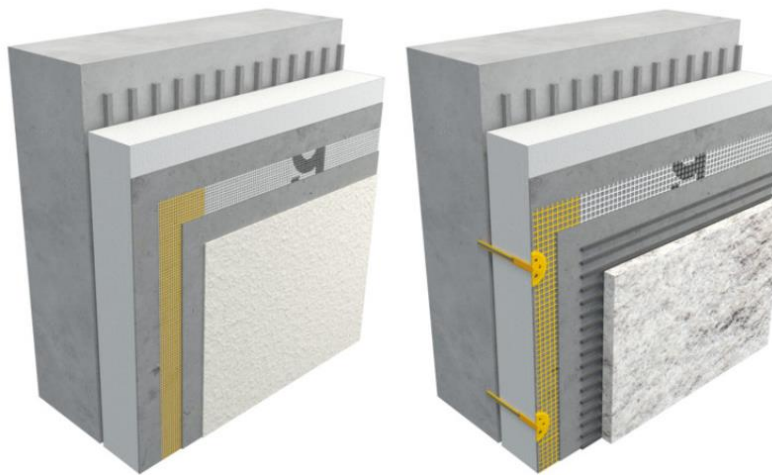
El sistema está diseñado para resistencia al impacto estándar, sin embargo, en situaciones que lo requieran debe ser reforzado para mejorar el comportamiento ante impactos.

- Permite creatividad en el diseño

Su amplia variedad de texturas, colores y formas da libertad al arquitecto para el diseño de una fachada.

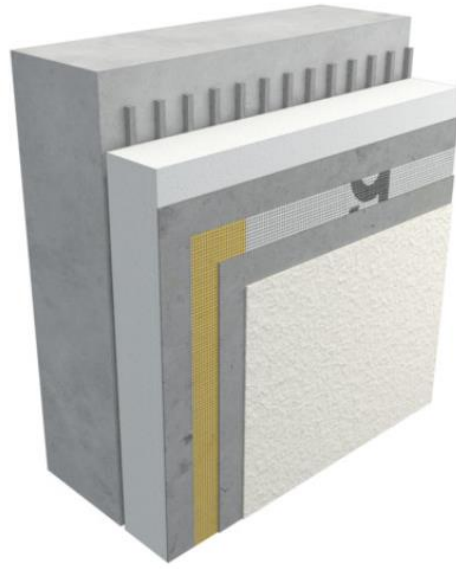
## 2.6.2 Configuración básica

- **Sustrato:** El sustrato es el material que forma el revestimiento exterior del muro sobre el cual se colocará el sistema. Puede ser muros de albañilería, hormigón, tabiques con placas de fibrocemento, fibro silicato, entre otros.
- **Adhesivo:** Corresponde a la forma de unión entre sustrato y capa o entre capas cuando el sistema lo requiere. Se compone generalmente de mortero adhesivo. En algunos casos se agregan fijaciones mecánicas, especialmente si el proyecto cuenta con grandes succiones de viento o si se ha elegido un revestimiento muy pesado.



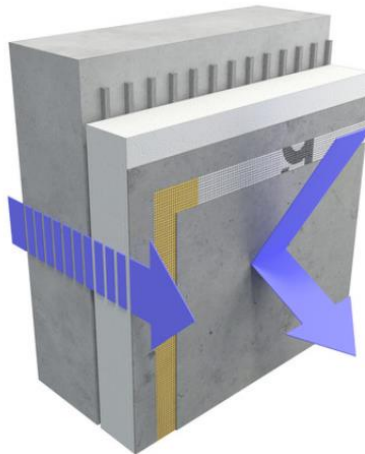
*Figura 13. Fijación material aislante con y sin refuerzo (Franco, 2018).*

- **Capa de aislante rígida:** Esta capa proporciona el aislamiento térmico del sistema. Materiales típicos son el poliestireno expandido (EPS), poliuretano expandido (PUR), poliestireno extruido (XPS), placas rígidas de fibra mineral, paneles de lana mineral de alta densidad, entre otros (Franco, 2018).



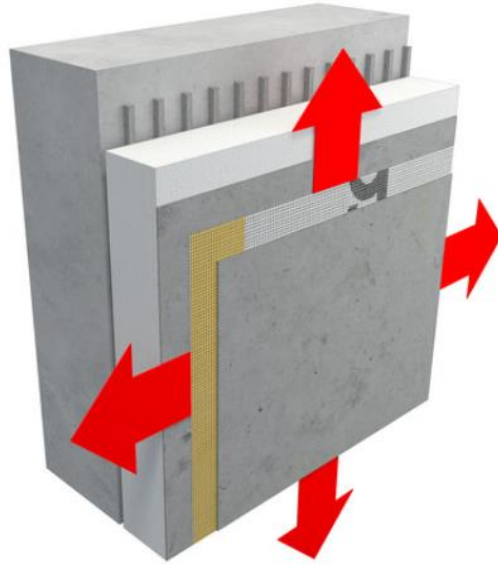
*Figura 14. Sustrato con aislación de poliestireno expandido EPS (Franco, 2018).*

- Capa base: Capa que se aplica directamente sobre la placa de aislante rígido. La capa base, según lo determina la Unión Europea, funciona como impermeabilizante al agua líquida y permeable al vapor.



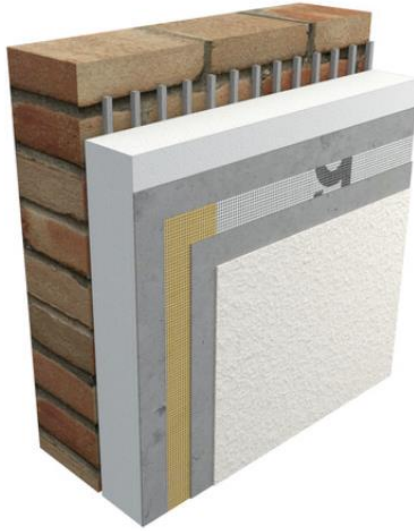
*Figura 15. Capa baso sobre el aislante EPS (Franco, 2018).*

- Malla de refuerzo: Malla de fibra de vidrio que se incorpora en la capa base. La malla de refuerzo permite que el sistema resista correctamente a impactos, a las condiciones climáticas, y a otros estímulos externos.



*Figura 16. Malla de refuerzo sobre el aislante EPS (Franco, 2018).*

- Capa de terminación: capa que queda expuesta, considera la textura y el color final de la edificación. Es la capa final y visible hacia el exterior. Puede elegirse dentro de un amplio espectro de revestimientos, pinturas, y otros acabados (Franco, 2018). Cabe destacar que en cuanto a las exigencias de Serviu la capa final debe ser pintura texturizada.



*Figura 17. Capa final texturizada.*

En relación con el material aislante a utilizar, se define que, para este estudio, al igual que en la práctica, que se utilizará Poliestireno Expandido (EPS).

Esto es una solución que propone Serviu para la construcción de viviendas considerando que el Poliestireno Expandido (EPS) es un buen aislante y la opción más económica para las familias, el cual les que permite obtener un gran beneficio constructivo con el presupuesto de su proyecto.

Para esto, es importante seguir los siguientes parámetros para determinar el espesor mínimo del aislante Poliestireno Expandido (EPS) en muros de la envolvente térmica bajo las directrices de la actual O.G.U.C. (Ministerio de Vivienda y Urbanismo, 2007), como se muestra en la Tabla 6 a continuación.

Tabla 6. Parámetros espesores mínimos según O.G.C.U. (FUNDAMENTA, 2018).

ESPESOR MÍNIMO DE AISLANTE SEGÚN OGUC ACTUAL - DESPRECIANDO LA "RT" DEL SUSTRATO.

ZONA TÉRMICA	MUROS	EPS (m)			LOSAS V.	EPS (m)					
	Valor U	15 Kg/m <sup>3</sup>	20 Kg/m <sup>3</sup>	30 Kg/m <sup>3</sup>	Valor U	15 Kg/m <sup>3</sup>	20 Kg/m <sup>3</sup>	30 Kg/m <sup>3</sup>			
1	4	0,025			3,6	0,025					
2	3				0,04						
3	1,9				0,05		0,045				
4	1,7				0,06		0,055				
5	1,6				0,075	0,07	0,065				
6	1,1				0,035	0,03		0,39	0,1	0,09	0,085
7	0,6				0,065	0,06	0,055	0,32	0,12	0,115	0,105

EPS (lambda)		
15 Kg/m <sup>3</sup>	20 Kg/m <sup>3</sup>	30 Kg/m <sup>3</sup>
0,0413	0,0384	0,0361
Según NCh 853 Of. 91		

Rsi + Rse	
0,17 (m)	0,22 (l.v)

### 2.6.3 EIFS en la práctica

A continuación, se presentan imágenes de la instalación de sistema EIFS en terreno, cortesía de la Empresa Constructora ICUFER Construcciones Ltda., empresa la cuál ha desarrollado proyectos habitacionales Serviu durante más de 10 años y nos comparte la información necesaria para este trabajo.

#### *Caso 1 MAVE D.S. N°10*

Las siguientes imágenes de obras en terreno corresponden a un proyecto de ampliación a la vivienda original, tipo de casas pareadas, bajo el decreto D.S. N°10 de la comuna de Catemu, Región de Valparaíso. Cabe destacar que el proyecto contempla la aplicación del sistema EIFS en la obra nueva del proyecto, sin interferir en la vivienda original.



*Figura 18. Instalación de planchas EPS en muros por empresa ICUFER Construcciones Ltda.*

En la Figura 18 se muestra la adhesión de las planchas de poliestireno expandido (EPS) sobre los muros de albañilería de la nueva construcción (ampliación de la vivienda original).



*Figura 19. Instalación de planchas en muros y frontones.*

En la Figura 19 se puede ver la instalación terminada de planchas de EPS en muros y frontones de la ampliación de la vivienda.

En la siguiente imagen, Figura 20, se puede apreciar la instalación de la malla de refuerzo sobre las planchas de EPS a los muros. Posteriormente la aplicación de la capa de estuco elastomérico.

Finalmente, imágenes referenciales de la Figura 21 al acabado final de los muros de la ampliación con capa final de texturizado en color blanco.



*Figura 20. Estuco elastomérico en muro izquierdo aplicado desde abajo hacia arriba.*



*Figura 21. Acabado final de muros con sistema EIFS proyectos empresa ICUFER Construcciones Ltda.*

### *Caso Vivienda Unifamiliar D.S. N°10*

Las siguientes imágenes referenciales muestran la instalación de este complejo de aislamiento en un proyecto de vivienda unifamiliar D.S N°10 (V. y U. 2015) de la comuna de Llay-Llay, Región de Valparaíso.

En ellas podemos ver la aplicación del sistema EIFS, tratando de ejemplificar que la instalación no conlleva mayores complicaciones para los trabajadores, como tampoco genera complicaciones con el lugar de emplazamiento o entorpece la obra en construcción.

Las imágenes representan el proceso de aplicación de los diferentes componentes, culminando con un resultado muy prolijo y de calidad.



*Figura 22. Imagen proceso instalación EIFS por la empresa ICUFER Construcciones Ltda.*

Descripción **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.:**

Por el frente: aplicación del estuco elastomérico (color gris) en muro frontal y frontones sobre la malla de refuerzo (color amarillo). Muro izquierdo: sección terminada con capa de terminación texturizada en color blanco.



*Figura 23. Imagen proceso EIFS por la empresa ICUFER Construcciones Ltda.*

Descripción **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.:**

Trabajadores aplicando la capa texturizada final color blanco sobre la cubierta elastomérica.

### 3 DESARROLLO TÉCNICO

---

En esta nueva sección, analizaremos y cuantificaremos el flujo de calor a través de los componentes de la vivienda, las condiciones dadas por su materialidad, las condiciones climáticas en las que se encuentra y cómo se comporta dentro de la normativa chilena.

La vivienda será analizada en su condición base, tal como las viviendas en la actualidad, sin acondicionamiento de muros, en una primera instancia.

Luego, bajo la propuesta de acondicionamiento EIFS, se calculará cuanto efectivamente mejora la eficiencia térmica de la vivienda y como esto ayuda a reducir el consumo energético adicional que las familias deben gastar, o invertir, en la climatización de su hogar.

El acondicionamiento térmico no es genérico. Es importante considerar la forma de la vivienda, lo que está relacionado con la cantidad de elementos perimetrales en contacto con el exterior a través de los cuales se produce la transferencia de calor respecto al volumen de aire a calefaccionar.

Las zonas climáticas nos guían para aplicar la normativa en diferentes escenarios y sentarán las bases de parámetros donde estos elementos perimetrales se encuentran en contacto con el exterior.

La forma de la vivienda, estipulada como vivienda modelo, nos permite tener un contraste para cuantificar el aumento de la eficiencia energética con la propuesta de EIFS, y al ser un estudio de una vivienda “aislada”, nos presenta una comparación concreta que representa el peor escenario posible para una vivienda social, energéticamente hablando. Ya que la vivienda aislada es la opción de preferencia de viviendas para las familias de nuestro país, es a la vez, la que presenta la mayor cantidad de pérdidas de calor a través de los muros.

## 3.1 Transmitancia Térmica Modelo Base

### 3.1.1 Muros de ladrillo

Para el cálculo de la conductividad térmica de un muro de ladrillos, debemos considerar a éste como un elemento heterogéneo, es decir primero determinamos el área que ocupan en el muro y sus propiedades individuales de ladrillo y mezcla de hormigón (cantería), para formar el elemento muro con propiedades térmicas conjuntas.

### 3.1.2 Distribución de áreas

A continuación, se presentan los esquemas representativos que muestran la distribución de los componentes ladrillo y cantería en un muro de ladrillo. Consideramos que la separación entre ladrillos es de 1 [cm], sección que corresponde a la cantería del muro (Figura 24). Las medidas del ladrillo corresponden a un ladrillo hecho a máquina con medidas estándar.

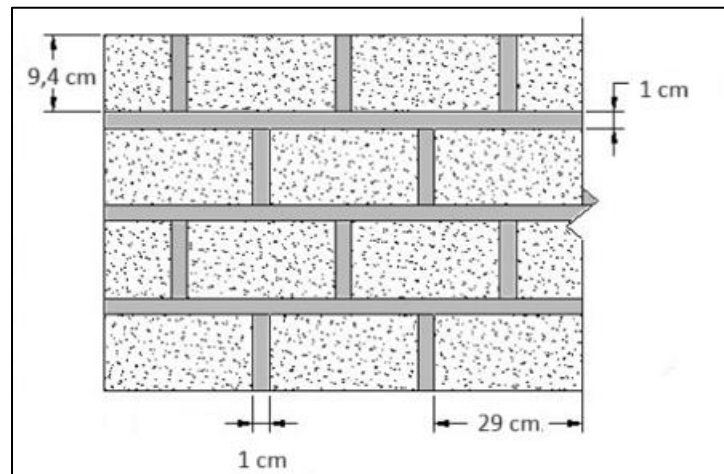


Figura 24. Representación muro de ladrillo con medidas, elaboración propia.

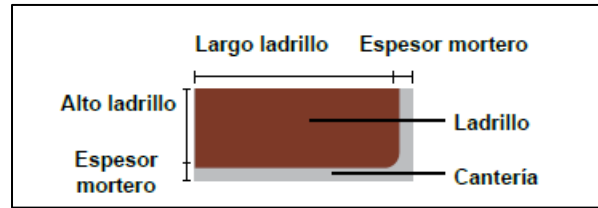


Figura 25. Vista sección ladrillo y cantería, elaboración propia.

Tabla 7. Datos empíricos medidas muro de ladrillos.

Muro de albañilería	Medidas	[cm]
Ladrillo	largo	29,0
	alto	9,4
	ancho	14,0
Cantería	espesor	1,0

Conforme a las ilustraciones anteriores, la sección individual de la Figura 25 es representativa de la distribución de áreas del complejo de muro de albañilería y con ello obtenemos los siguientes resultados.

$$Area\ ladrillo\% = \frac{Area_{ladrillo}}{Area_{ladrillo} + Area_{canteria}} * 100 = 87,4\%$$

$$Area\ canteria\% = \frac{Area_{canteria}}{Area_{ladrillo} + Area_{canteria}} * 100 = 12,6\%$$

### 3.1.3 Resistencias térmicas componentes de muro de ladrillos

Para el cálculo de la resistencia total del muro, consideramos la sumatoria de los espesores de los componentes en el muro dividido por su correspondiente conductividad térmica, valores dados por NCh 853 (NCh 853, 2007).

En relación a las resistencias superficiales, que están dadas por la NCh 853, se consideran las condiciones de flujo horizontal de calor con separación al espacio exterior, guiándonos por los valores de la Tabla 3.

$$R_T = R_{Se} + \sum \frac{e_i}{\lambda_i} + R_{Si}$$

Donde:

$R_T$  : Resistencia total

$R_{Se}$  : Resistencia superficial exterior

$R_{Si}$  : Resistencia superficial interior

$e_i$  : Espesor de los componentes (i)

$\lambda_i$  : Conductividad térmica de los componentes (i)

Para este tipo de muro tenemos los siguientes datos referenciales presentados en las tablas Tabla 8 y Tabla 9. Con ellos obtenemos el valor de resistencia del componente bajo la relación:

$$R = \frac{e}{\lambda}$$

Adicionalmente se obtiene la resistencia total considerando las resistencias superficiales.

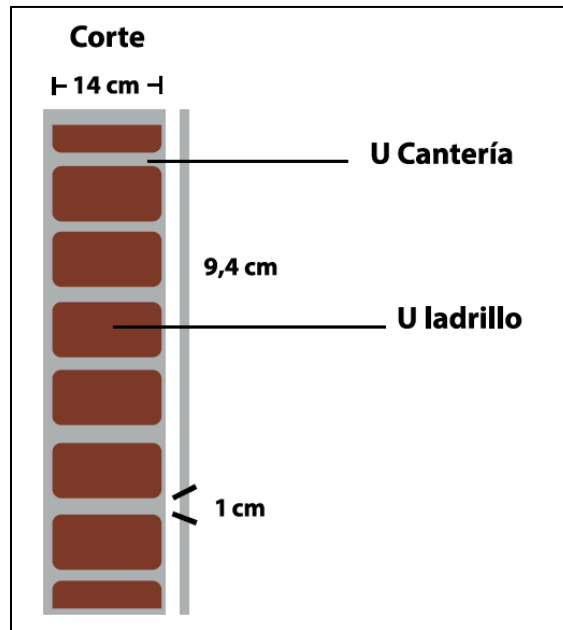


Figura 26. Ilustración vista corte muro de ladrillos con medidas, elaboración propia.

Tabla 8. Datos térmicos ladrillo.

Datos ladrillo		
Rsi (NCh 853)	0,12	[m <sup>2</sup> *K/W]
Rse (NCh 853)	0,05	[m <sup>2</sup> *K/W]
Espesor	0,14	[m]
Conductividad ladrillo	0,46	[W/mK]

Tabla 9. Datos térmicos cantería.

Datos cantería		
Rsi (NCh 853)	0,12	[m <sup>2</sup> *K/W]
Rse (NCh 853)	0,05	[m <sup>2</sup> *K/W]
Espesor	0,14	[m]
Conductividad cantería	1,63	[W/mK]

Con los datos presentados anteriormente podemos calcular los siguientes resultados (Tabla 10 y Tabla 11) de resistencias para los componentes del elemento muro de ladrillo:

*Tabla 10. Resultados resistencia ladrillo.*

Resistencia ladrillo		
R ladrillo	0,304	[m2*K/W]
R total	0,474	[m2*K/W]

*Tabla 11. Resultados resistencia cantería.*

Resistencia canteria		
R canteria	0,086	[m2*K/W]
R total	0,256	[m2*K/W]

y dada la relación entre resistencia y transmitancia térmica según,

$$U = \frac{1}{R}$$

Donde,

$U$  : transmitancia térmica

$R$  : resistencia térmica total

Se obtienen finalmente los valores de las transmitancias de los elementos ladrillo y cantería, en la siguiente tabla:

*Tabla 12. Resultados transmitancias térmicas.*

Transmitancia térmica componentes		
U ladrillo	2,108	[W/m2 K]
U canteria	3,908	[W/m2 K]

### 3.1.4 Transmitancia térmica total muro ( $U_T$ )

A continuación, se calcula la transmitancia térmica del conjunto formado entre ladrillos y cantería, teniendo en cuenta la superficie en contacto con el medio exterior, en las proporciones de áreas antes mencionadas. Para ello tenemos la siguiente relación. (NCh 853, 2007).

$$U_T = \text{Area ladrillo}_{\%} * U_{\text{ladrillo}} + \text{Area cantería}_{\%} * U_{\text{canteria}}$$

$$U_T = 87,4\% * 2,11 \left[ \frac{W}{m^2K} \right] + 12,6\% * 3,91 \left[ \frac{W}{m^2K} \right]$$

$$U_T = 2,33 \left[ \frac{W}{m^2K} \right]$$

Finalmente, a través de este muro se pierden 2,33 watts [W] de energía por cada [m<sup>2</sup>] de superficie y por cada grado [°C] de diferencia de temperatura entre el interior y el exterior.

En consecuencia, para obtener la resistencia térmica del conjunto muro podemos expresarlo de la siguiente forma:

$$R_T = \frac{1}{U_T}$$

Donde,

$$R_T = \frac{1}{2,33 \left[ \frac{W}{m^2K} \right]}$$

$$R_T = 0,43 \left[ \frac{m^2K}{W} \right]$$

### 3.1.5 Parámetros O.G.U.C. Caso Base

En este punto somos capaces de evaluar las condiciones bases de la vivienda con respecto a los parámetros de la Ordenanza General de Urbanismo y Construcción (O.G.U.C.) que hemos revisado anteriormente, donde se establecen los valores mínimos para la construcción de viviendas hasta la fecha.

En títulos anteriores se definieron las zonas térmicas a evaluar dadas las condiciones reales de la empresa constructora que va de la mano de este proyecto correspondiente a la Zona 2 y la zona que representa el caso extremo de estudio, o mejor dicho el escenario térmico menos favorable, que corresponde a la última zona, Zona 7, de nuestro plan de clasificación térmico nacional.

En la Tabla 13 a continuación, se muestran sus valores mínimos y máximos de Transmitancia y Resistencia térmicas ya antes visto, aunque en esta ocasión con especial énfasis en los parámetros térmicos de “Muros” de las zonas 2 y 7 (encerrados en color rojo).

*Tabla 13. Parámetros Transmitancia y Resistencia térmica según O.G.U.C Muros Zona 2 y Zona 7 (Ministerio de Vivienda y Urbanismo, 2007).*

Zona	Techumbre		Muros		Pisos Ventilados	
	Transmitancia Térmica U [W/(m <sup>2</sup> K)]	Resistencia Térmica Rt [m <sup>2</sup> K/W]	Transmitancia Térmica U [W/( m <sup>2</sup> K)]	Resistencia Térmica Rt [m <sup>2</sup> K/W]	Transmitancia Térmica U [W/( m <sup>2</sup> K)]	Resistencia Térmica Rt [m <sup>2</sup> K/W]
1	0,84	1,19	4	0,25	3,6	0,28
2	0,6	1,67	3	0,33	0,87	1,15
3	0,47	2,13	1,9	0,53	0,7	1,43
4	0,38	2,63	1,7	0,59	0,6	1,67
5	0,33	3,03	1,6	0,63	0,5	2
6	0,28	3,57	1,1	0,91	0,39	2,56
7	0,25	4	0,6	1,67	0,32	3,13

*Tabla 14. Resultados parámetros térmicos "caso base".*

Parámetros térmicos vivienda "caso base"		
U total	2,335	[W/m <sup>2</sup> K]
R total	0,428	[m <sup>2</sup> K/W]

Como podemos ver en la Tabla 14, el caso de la vivienda base en la Zona térmica 2 cumple con los parámetros térmicos mínimos establecidos, sin embargo, no son valores que poseen holgura térmica para la vivienda, más bien, se encuentran casi igualando el valor de los parámetros mínimos en el caso de la Resistencia térmica y máximo en el caso de la Transmitancia térmica, lo cual indica inmediatamente que son condiciones térmicas de la vivienda deficientes y que pueden ser mejoradas.

En el caso contrario, la Zona 7, evidentemente se encuentra fuera de los parámetros mínimos para la Resistencia térmica del hogar y lejos del máximo de Transmitancia térmica, en este tipo de muro de albañilería y en este tipo de vivienda social.

Si bien los números nos muestran una falta grave de aislación en las viviendas, a la vez nos indican que hay grandes oportunidades para mejorar la calidad de vida de las familias.

### 3.1.6 Techumbre

La techumbre de la vivienda puede ser del tipo cielo plano o cielo tipo “viga la vista”. En ambos casos, el material aislante se encuentra entre cielo y techo de zinc, pero en condiciones diferentes, como se muestra en la Figura 27 a continuación.

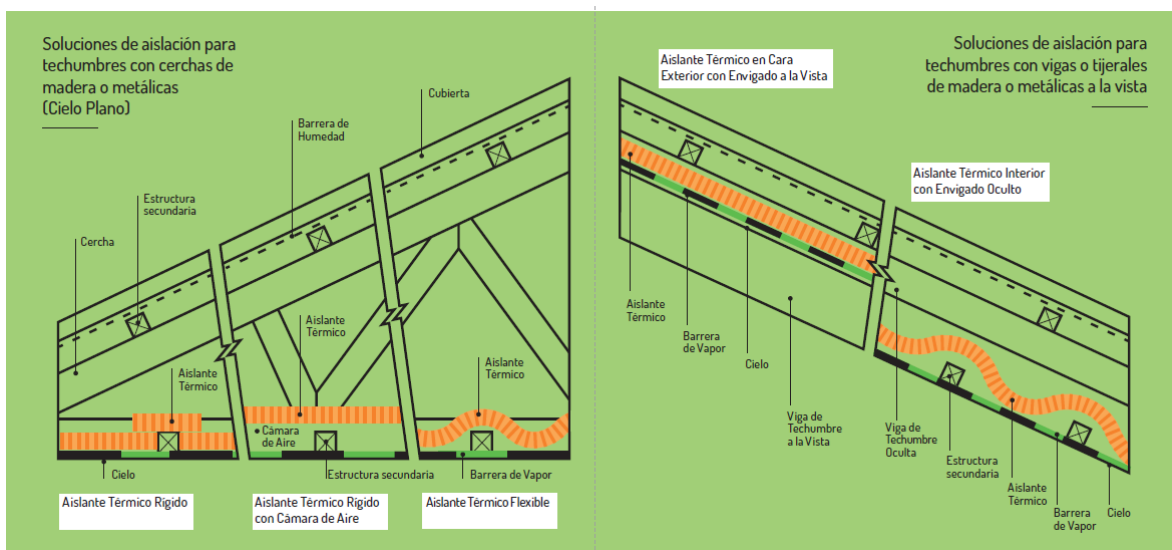


Figura 27. Tipos de cielo en estructura de techumbre (Corporación de Desarrollo Tecnológico, 2016).

De acuerdo con el tipo de cielo, también varía la materialidad del aislante y la forma de instalación de éste en la estructura de techumbre de la vivienda.

Como se ha definido anteriormente, el “caso base” corresponde al tipo de vivienda social que bajo la reglamentación actual cuenta con aislamiento de techumbre, desde principios de los 2000 (Corporación de Desarrollo Tecnológico & CChC, 2015), utilizando generalmente planchas de Poliestireno expandido (EPS), por su relación efectividad versus costo.



*Figura 28. Imagen referencial poliestireno expandido (EPS).*

Es posible encontrar diferentes tipos de poliestireno expandido en el mercado, si bien son de diversas marcas, poseen las mismas especificaciones técnicas, que dados los requerimientos térmicos se pueden elegir entre los siguientes tipos (Tabla 15):

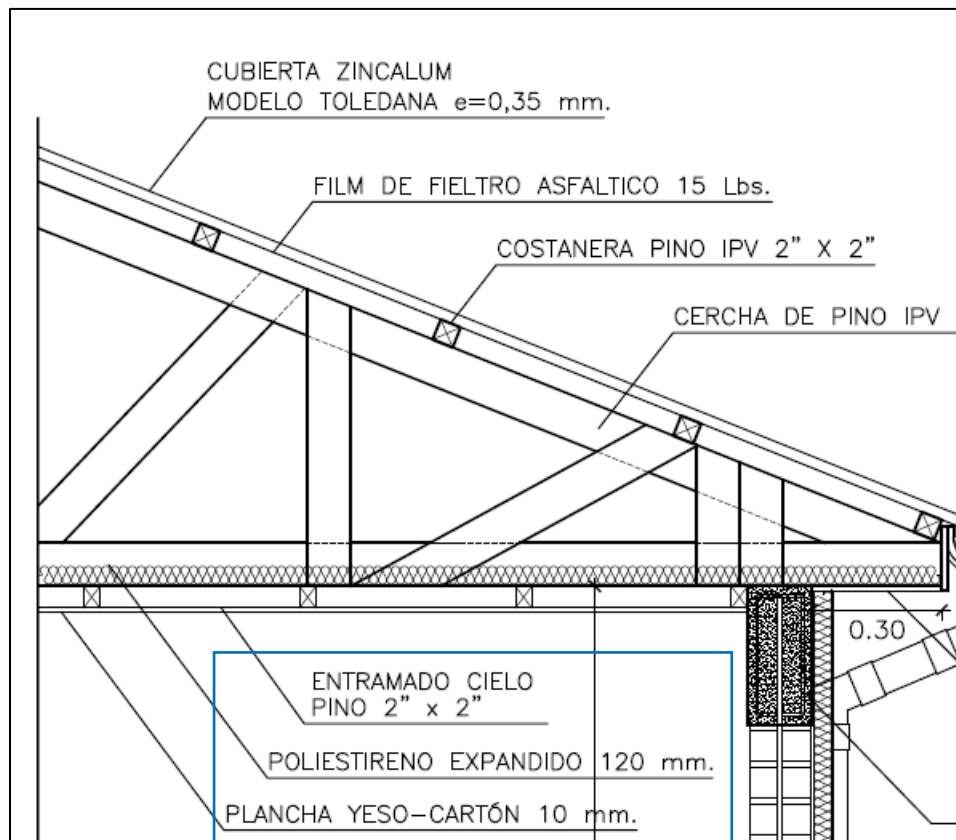
*Tabla 15. Conductividades EPS según NCh 853 (NCh 853, 2007).*

Densidad [kg/m <sup>3</sup> ]	Conductividad Térmica [W/m K]
10	0,043
15	0,0413
20	0,0384
30	0,0361

Para este proyecto se define que la vivienda en su forma “base” cuente con aislación de techumbres de tipo poliestireno expandido EPS de densidad  $10 \left[ \frac{kg}{m^3} \right]$  y 120 [mm] de espesor, al igual que las especificaciones técnicas del proyecto de vivienda DS N° 10 que nos estamos apoyando técnicamente.

### 3.1.7 Cálculo de Transmitancia térmica Techumbre Zona 2

Para realizar el cálculo de la transmitancia del complejo techumbre, debemos considerar las indicaciones de la NCh 853, y muy similar al planteamiento de la primera parte donde se determinó la transmitancia de muros, lo realizamos con el elemento techo de la vivienda.



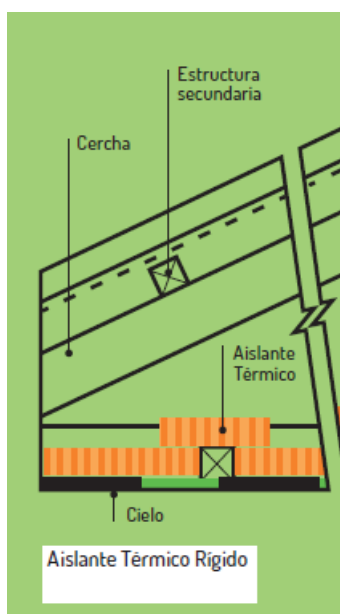
*Figura 29. Detalle techumbre, sección plano elevación Proyecto DS N° 10 de la empresa ICUFER Construcciones Ltda.*

Primero, debemos tener presente las siguientes consideraciones. Solo las cámaras muy ventiladas, con el aire en movimiento, tienen importancia en la práctica constructiva de eficiencia energética: Se aplica a las fachadas y los techos ventilados (Blender, 2015).

La norma indica que los revestimientos al exterior de la cámara de aire no se consideran en el cálculo y se calcula la transmitancia hasta la capa de material que limita del espacio ventilado hacia el interior.

Segundo, en la práctica, la disposición de las planchas de EPS se ubica directamente sobre el cielo, que en este caso corresponde a planchas de yeso cartón de 10 [mm] entre el entramado cielo, de palos de pino de 2x2”, como se puede ver en el plano anterior.

Para ejemplificarlo mejor, la instalación de las planchas de aislante como muestra la siguiente imagen referencial Figura 30 correspondiente al corte de techumbre de una vivienda, el aislante se ubica entre el entramado y sobre los palos de pino de 2x2”. Esto es importante, ya que la norma considera el cálculo de la transmitancia total del cielo como la componente revestimiento de cielo y la capa de aislante, despreciando la conductividad térmica de la madera, debido a su bajo aporte térmico y el área que ocupa no es considerable al punto de ser influyente en el cálculo.



*Figura 30. Ilustración de la instalación de planchas de EPS en cielos.*

Dicho esto, consideramos para el cálculo de la transmitancia de techos como un elemento de capas homogéneas. Donde, para un elemento formado por una serie

de capas o placas planas y paralelas de materiales distintos en contacto entre sí, la resistencia térmica total, queda dada por:

$$R_T = R_{Se} + \sum \frac{e_i}{\lambda_i} + R_{Si}$$

Donde:

$R_T$  : Resistencia total

$R_{Se}$  : Resistencia superficial exterior

$R_{Si}$  : Resistencia superficial interior

$e_i$  : Espesor de los componentes (i)

$\lambda_i$  : Conductividad térmica de los componentes (i)

### 3.1.8 Resistencias térmicas superficiales

Para este trabajo es necesario utilizar los valores de resistencia térmica superficial disponibles en la NCh 853. Esta depende, por la cara interior, de la dirección del flujo de calor. Por el exterior el valor a utilizar depende solamente de la velocidad del viento (Corporación de Desarrollo Tecnológico & CChC, 2015).

La norma considera que, en caso de pérdidas térmicas (invierno), en general el flujo de calor es ascendente en complejos de techumbre (Blender, 2015).

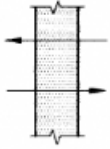
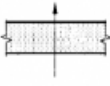
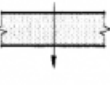
Resistencias térmicas de superficie en $m^2 \times K/W$							
Posición del elemento y sentido del flujo de calor		Situación del elemento					
		De separación con espacio exterior o local abierto			De separación con otro local, desván o cámara de aire		
		$R_{si}$	$R_{se}$	$R_{si} + R_{se}$	$R_{si}$	$R_{se}$	$R_{si} + R_{se}$
Flujo horizontal en elementos verticales o con pendiente mayor que $60^\circ$ respecto a la horizontal		0,12	0,05	0,17	0,12	0,12	0,24
Flujo ascendente en elementos horizontales o con pendiente menor o igual que $60^\circ$ respecto a la horizontal		0,09	0,05	0,14	0,10	0,10	0,20
Flujo descendente en elementos horizontales o con pendiente menor o igual que $60^\circ$ respecto a la horizontal		0,17	0,05	0,22	0,17	0,17	0,34

Figura 31. Resistencias superficiales según NCh 853 (NCh 853, 2007).

Una vez definido el flujo ascendente de calor a través de la techumbre de la vivienda, se puede decir que la situación del elemento “cielo” se encuentra separado con una cámara de aire entre aislante y cubierta, lo cual nos da como resultado, valores de resistencia superficial interna y externa de  $0,10 \left[ \frac{m^2 K}{W} \right]$  y

0,10  $\left[\frac{m^2 K}{W}\right]$  respectivamente, según la información de la figura anterior (Figura 31).

### 3.1.9 Transmitancia térmica techumbre

Finalmente, dados los siguientes valores de conductividad térmica y espesor de los materiales en el cielo de la vivienda de la Tabla 16, se puede obtener la resistencia térmica de los elementos.

*Tabla 16. Datos materiales de cielo para Zona 2 (NCh 853, 2007).*

MATERIAL	ESPESOR [mm]	CONDUCTIVIDAD TÉRMICA [W/mK]
POLIESTIRENO 10[Kg/m3]	120	0,043
PLANCHA YESO CARTON 650 [Kg/m3]	10	0,24

Donde,

$$R = \frac{e}{\lambda}$$

$e$  : Espesor de los componentes.

$\lambda$  : Conductividad térmica de los componentes.

Tabla 17. Resultados resistencias térmicas materiales cielo y resistencias superficiales según NCh 853.

RESISTENCIAS MATERIALES CIELO		
R POLIESTIRENO	2,791	[m <sup>2</sup> K/W]
R PLANCHA YESO CARTON	0,042	[m <sup>2</sup> K/W]
RESITENCIAS SUPERFICIALES CIELO		
RSI	0,1	[m <sup>2</sup> K/W]
RSE	0,1	[m <sup>2</sup> K/W]

Volviendo a la fórmula de resistencia total del elemento, podemos reemplazar y resolver, de la siguiente forma:

$$R_T = 0,10 \left[ \frac{m^2 K}{W} \right] + 2,791 \left[ \frac{m^2 K}{W} \right] + 0,042 \left[ \frac{m^2 K}{W} \right] + 0,10 \left[ \frac{m^2 K}{W} \right]$$

$$R_T = 3,032 \left[ \frac{m^2 K}{W} \right]$$

Del resultado anterior, es posible calcular rápidamente la transmitancia del complejo que compone el cielo de la siguiente forma:

$$U_T = \frac{1}{R_T}$$

$$U_T = \frac{1}{3,032 \left[ \frac{m^2 K}{W} \right]}$$

$$U_T = 0,330 \left[ \frac{W}{m^2 K} \right]$$

Finalmente, la condición base de la techumbre de la vivienda posee una transmitancia de  $0,330 \left[ \frac{W}{m^2K} \right]$ , lo que se puede traducir como: se pierden 0,330 [W] de energía por cada metro cuadrado de superficie de cielo y por cada grado Celsius de diferencia entre la temperatura interior y exterior de la vivienda.

*Tabla 18. Resultados Resistencia y Transmitancia térmica para caso base, Zona 2.*

RESULTADOS TÉRMICOS TECHUMBRE CASO BASE ZONA 2		
R TOTAL TECHUMBRE	3,032	[m <sup>2</sup> K/W]
U TOTAL TECHUMBRE	0,330	[W/ m <sup>2</sup> K]

Al igual que unidad anterior de muros, para esta nueva sección de techumbre revisamos su cumplimiento con la reglamentación térmica, que según los antecedentes sabemos de antemano que el complejo techumbre de la vivienda fue una urgencia de aislación para las familias y desde el año 2000 las nuevas viviendas cuentan con la instalación de materiales aislantes en techumbres (Corporación de Desarrollo Tecnológico & CChC, 2015).

*Tabla 19. Rangos de Transmitancia y Resistencia térmica de techumbres para Zona 2 y Zona 7 (Ministerio de Vivienda y Urbanismo, 2007)*

Zona	Techumbre		Muros		Pisos Ventilados	
	Transmitancia Térmica U [W/(m <sup>2</sup> K)]	Resistencia Térmica Rt [m <sup>2</sup> K/W]	Transmitancia Térmica U [W/( m <sup>2</sup> K)]	Resistencia Térmica Rt [m <sup>2</sup> K/W]	Transmitancia Térmica U [W/( m <sup>2</sup> K)]	Resistencia Térmica Rt [m <sup>2</sup> K/W]
1	0,84	1,19	4	0,25	3,6	0,28
2	0,6	1,67	3	0,33	0,87	1,15
3	0,47	2,13	1,9	0,53	0,7	1,43
4	0,38	2,63	1,7	0,59	0,6	1,67
5	0,33	3,03	1,6	0,63	0,5	2
6	0,28	3,57	1,1	0,91	0,39	2,56
7	0,25	4	0,6	1,67	0,32	3,13

Según la Tabla 19 podemos ubicar correctamente nuestro resultado de transmitancia térmica para el caso base  $0,330 \left[ \frac{W}{m^2K} \right]$  dentro del rango máximo de transmitancia térmica que está permitido para la Zona térmica 2, en lo que corresponde a la techumbre de la vivienda.

Para el caso de la Zona 7, esta configuración de techumbre no es factible para la ubicación y sus requerimientos energéticos.

Dicho esto, es importante mencionar que, para la zona austral, las especificaciones técnicas de construcción de viviendas consideran la instalación de planchas de EPS de espesor 170 [mm], para lograr un adecuado efecto aislante y obtener con ello una transmitancia térmica máxima de  $0,25 \left[ \frac{W}{m^2K} \right]$  (PDA Coyhaique, 2019).

Siguiendo la misma metodología anterior, en la cual no cambian los componentes del elemento homogéneo que analizamos (techumbre), se aumenta el espesor de las planchas de EPS de densidad  $10 \left[ \frac{kg}{m^3} \right]$ , que posee una conductividad térmica de  $0,043 \left[ \frac{W}{mK} \right]$  (NCh 853, 2007).

*Tabla 20. Resumen resultados cálculos Resistencia y Transmitancia térmica caso base Zona 7.*

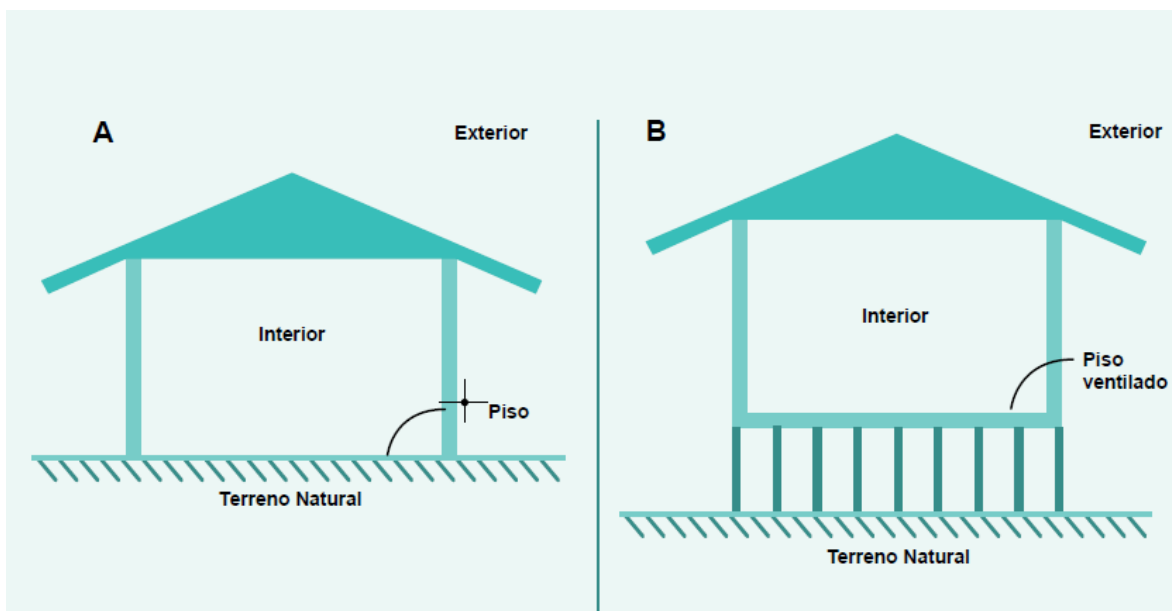
CASO BASE ZONA TÉRMICA 7		
MATERIAL	ESPESOR [mm]	CONDUCTIVIDAD TÉRMICA [W/mK]
POLIESTIRENO 10[Kg/m3]	170	0,043
PLANCHA YESO CARTON 650 [Kg/m3]	10	0,24
RESISTENCIAS MATERIALES CIELO (ZONA 7)		
R POLIESTIRENO	3,953	[m2 K/W]
R PLANCHA YESO CARTON	0,042	[m2 K/W]
RESITENCIAS SUPERFICIALES CIELO		
RSI	0,100	[m2 K/W]
RSE	0,100	[m2 K/W]
RESULTADOS TÉRMICOS TECHUMBRE CASO BASE ZONA 7		
R TOTAL TECHUMBRE	4,195	[m2 K/W]
U TOTAL TECHUMBRE	0,238	[W/ m2 K]

Como podemos ver en los resultados obtenidos y agrupados en la Tabla 20, el aumento de espesor del material aislante (EPS), que indican las especificaciones técnicas de construcción de la Zona 7, permite a la vivienda contar con una transmitancia máxima de  $0,238 \left[ \frac{W}{m^2 K} \right]$  en la Zona 7, que como establece la reglamentación actual, facilita a las familias una zona de confort térmico dentro de los hogares.

### 3.1.10 Transmitancia térmica de pisos

Para esta nueva sección, primero se define el tipo de piso de la vivienda. En este caso corresponde a piso de radier de hormigón, como se plantea en el modelo de vivienda tipo a analizar.

Si bien es probable que viviendas en nuestro país cuenten con pisos “ventilados” (ver Figura 32), como por ejemplo las casas prefabricadas, el enfoque de Serviu es priorizar las fundaciones sólidas y de la mejor calidad posible como estándar mínimo al momento de entregar una vivienda nueva.



*Figura 32. Ilustración tipos de pisos.*

Como muestra la Figura 32 anterior, el tipo de piso de la casa de estudio corresponde al tipo A. En la práctica el piso ventilado no es la mejor opción de vivienda a optar ya que gran parte de las pérdidas de calor del interior se escapan por el piso, si es que no se ha aislado adecuadamente.

Para pisos en contacto con el terreno la norma introduce la transmitancia térmica lineal  $Kl$  (NCh 853, 2007), permitiendo un cálculo simplificado donde se considera principalmente el largo del perímetro exterior del piso. Esto corresponde al hecho que es por el exterior del zócalo donde el edificio pierde más calor, por sobre la cara inferior del piso.

La norma NCh 853 establece que el valor de la transmitancia térmica de pisos de radier es  $1,4 \left[ \frac{W}{m K} \right]$ , como se mencionó anteriormente se calcula la transmitancia del piso con el perímetro total de la vivienda. La vivienda modelo (ver Figura 34) utilizada en este estudio tiene las siguientes medidas de planta:

*Tabla 21. Medidas planta de la vivienda modelo.*

MEDIDAS PLANTA VIVIENDA MODELO		
PERIMETRO	36,06	[m]
AREA	63,67	[m <sup>2</sup> ]

*Tabla 22. Transmitancia lineal pisos no ventilados (NCh 853, 2007).*

TRANSMITANCIA PISOS SEGÚN NCH 853		
PISOS NO VENTILADOS	1,4	[W/m K]

### 3.1.11 Transmitancia térmica de ventanas y puertas

Cuando se habla de eficiencia energética, es decir, mejorar la transmitancia térmica, la mejor solución vidriada es el “doble vidriado hermético”, DVH o termopanel. Este consiste en dos vidrios con una cámara hermética de aire que los separa, la cual puede tener espesores desde 6 a 15 [mm], aunque se recomienda entre 10 a 15 [mm]. La cámara de aire permanece hermética gracias a un doble sello perimetral que la aísla del exterior (ver Figura 33).

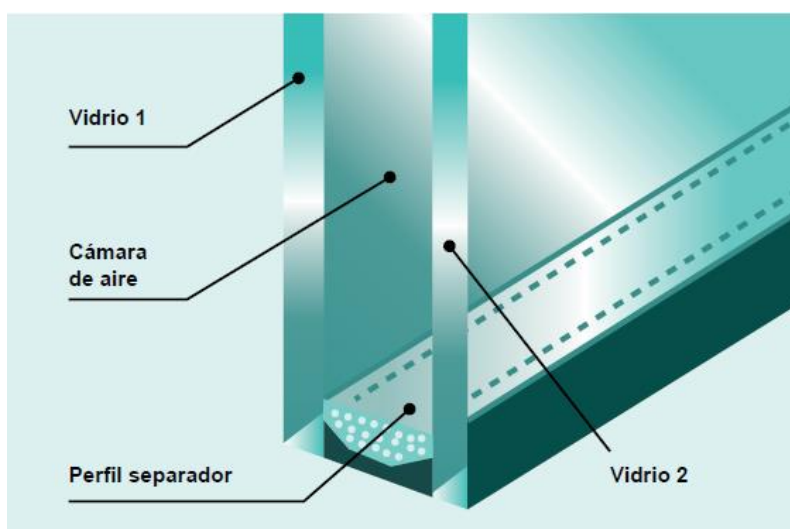


Figura 33. Ilustración detalle doble vidriado hermético (Corporación de Desarrollo Tecnológico & CChC, 2015).

Tabla 23. Datos Transmitancia térmica tipo de ventanas (Corporación de Desarrollo Tecnológico & CChC, 2015).

Transmitancia térmica U [W/(m <sup>2</sup> *K)]	Vidrios				
	Monolítico	Doble vidrio Hermético (DVH) con cámara de aire de 12 [mm]			
	6 mm	Con 2 cristales comunes de 6 mm	Con un cristal Low-e de 6 mm y un cristal común de 6 mm	Con 2 cristales comunes de 6 mm y gas Argón	Con un cristal Low-e de 6 mm, un cristal común de 6 mm y gas Argón
	5,8	2,8	1,8	1,8	1,3

Cuando hablamos del tipo de ventanas a utilizar en una obra nueva correspondiente a un subsidio habitacional, estas contemplan la instalación de ventanas doble vidriado hermético por sus cualidades aislantes en comparación con una ventana monolítica. La ventana monolítica es una opción más económica para las familias, las cuales poseen una transmitancia térmica de 5,8  $\left[\frac{W}{m^2 K}\right]$ , valor con el cual se puede incurrir en pérdidas importantes de energía térmica dentro de la vivienda dependiendo de la cantidad y tamaño de estas ventanas.

En la búsqueda de una mejor solución, que se ajuste al presupuesto de las viviendas familiares, el programa D.S. N°10 proporciona ventanas DVH que poseen una transmitancia térmica de 2,8  $\left[\frac{W}{m^2 K}\right]$ , valor muy por debajo de las ventanas de vidrio monolítico.

En cuanto a las puertas de la vivienda se maneja un valor estándar de transmitancia térmica de 2,21  $\left[\frac{W}{m^2 K}\right]$  según la NCh 853 (NCh 853, 2007).

Así es como finalmente podemos reunir todos los resultados de las transmitancias de los elementos de la vivienda modelo en su condición básica, vale decir, bajo las normas de la O.G.U.C., la cual considera viviendas con aislación en techumbre como estándar básico.

*Tabla 24. Resumen transmitancias térmicas por elemento de la vivienda modelo.*

TRANSMITANCIAS ELEMENTOS	U [W/ m2 K]
PISOS (U LINEAL) [W/m K]	1,40
PUERTAS	2,21
VENTANAS DVH	2,80
TECHUMBRE	0,33
MUROS	2,34

Con estos datos, acompañados de los planos de planta de la casa modelo y los planos de elevación podemos determinar el área que cada componente ocupa en la envolvente térmica.

Teniendo en cuenta el modelo de la vivienda tipo, como se muestra en la siguiente Figura 34:

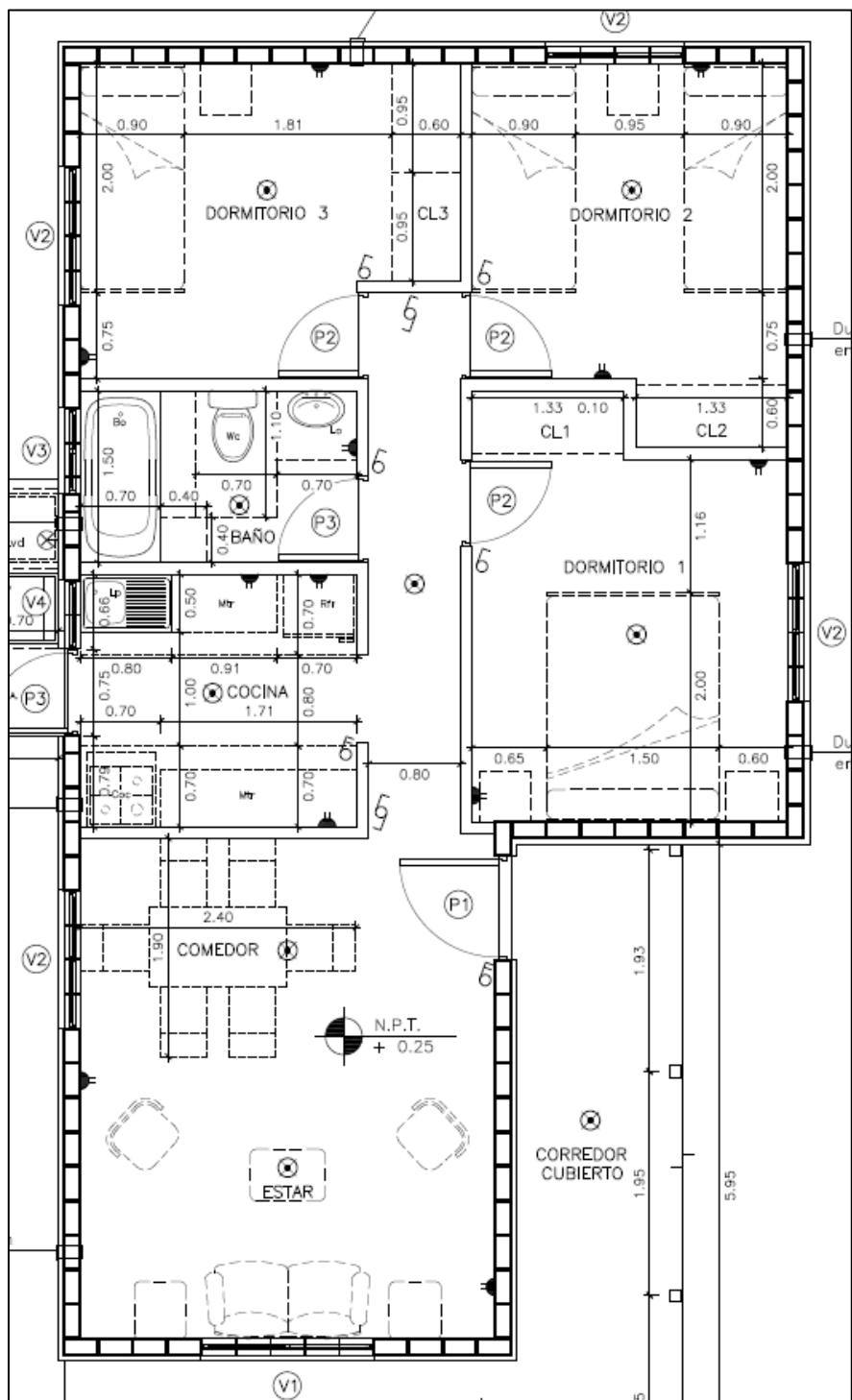
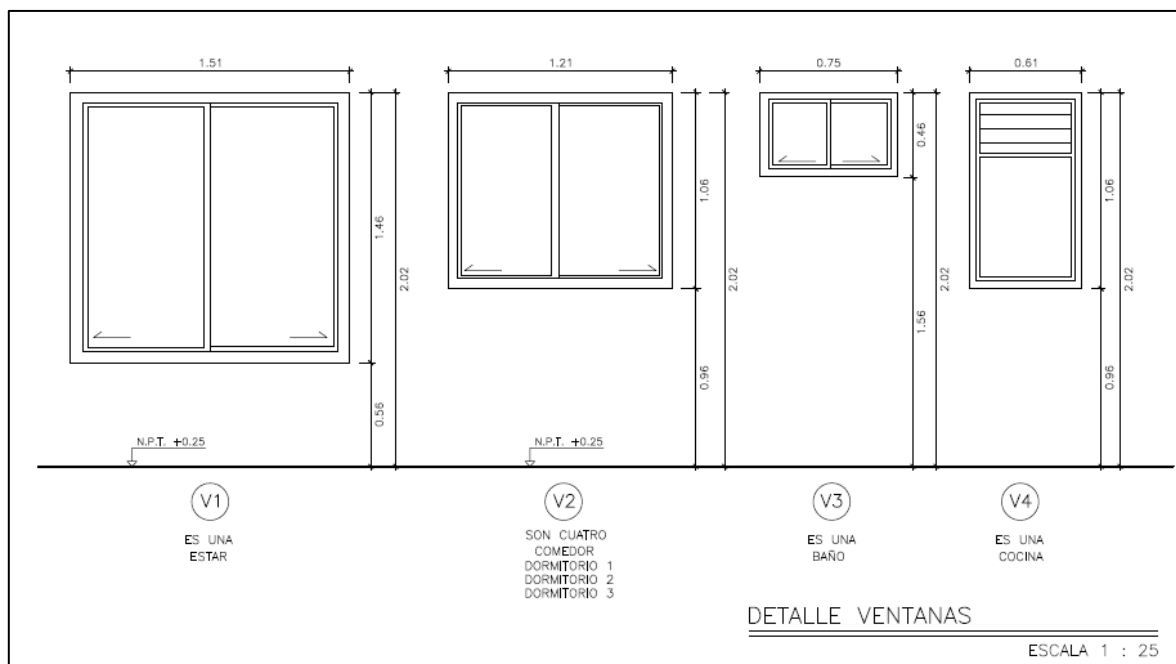


Figura 34. Plano planta vivienda modelo (proyecto D.S. N° 10).

Y por otra parte, considerando las ventanas y puertas de los planos de la vivienda modelo, se tienen las siguientes medidas y cantidades de estos elementos (ver Figura 35):



*Figura 35. Planos de ventanas vivienda modelo.*

*Tabla 25. Medidas vivienda modelo.*

MEDIDAS PLANTA VIVIENDA MODELO		
PERIMETRO PLANTA	36,06	[m]
ÁREA PLANTA	63,67	[m <sup>2</sup> ]
MEDIDAS ELEVACION VIVIENDA MODELO		
ALTURA MUROS	2,36	[m]
ÁREA PAREDES EXTERIORES	85,10	[m <sup>2</sup> ]
VOLUMEN VIVIENDA MODELO		
VOLUMEN	150,26	[m <sup>3</sup> ]

A continuación, se presentan los valores de las superficies de cada elemento de la vivienda:

*Tabla 26. Superficies de los elementos de la vivienda.*

ÁREA ELEMENTOS		
ÁREA VENTANAS	8,33	[m2]
ÁREA PUERTAS	4,00	[m2]
ÁREA MUROS LADRILLOS	72,78	[m2]
ÁREA PISOS	63,67	[m2]
ÁREA TECHUMBRE	63,67	[m2]

Dados los resultados anteriores, en conjunto con las superficies que componen, podemos concluir lo siguiente de cada elemento:

*Tabla 27. Resultados pérdidas de calor por elemento.*

TRANSMITANCIAS ELEMENTOS	U [W/ m2 K]	ÁREA [m2]	PÉRDIDAS CALOR [W/K]
PISOS (U LINEAL) [W/m K]	1,40	36,06	50,48
PUERTAS	2,21	4,00	8,84
VENTANAS DVH	2,80	8,33	23,31
TECHUMBRE	0,33	63,67	21,00
MUROS DE LADRILLOS	2,34	72,78	170,29
<b>TOTAL ELEMENTOS VIVIENDA</b>			<b>273,93</b>

Donde cada complejo de la envolvente térmica se puede expresar como una “pérdida de calor” en Watts por cada grado [°C] (o K) de diferencia entre la temperatura interna y externa. Sin fijar aun las temperaturas internas y externas, pero sabiendo que la Zona 2 y Zona 7 son condiciones completamente diferentes.

Por lo tanto, la vivienda modelo pierde 273,93 [W] por cada grado [°C] de diferencia entre la temperatura interna y externa de la casa.

## 3.2 Transmitancia Térmica Modelo con aislación EIFS

Para este caso, dado que la adición de aislación ocurre en los muros de la vivienda, calcularemos cuanto mejoran los valores de Transmitancia y Resistencia térmica de los muros con instalación de EIFS. Para ello, los valores anteriormente calculados y presentados de techumbre, pisos, ventanas y puertas se conservan.

### 3.2.1 Propuesta Zona 2

#### Especificaciones técnicas EIFS Zona 2

Las especificaciones de la vivienda modelo (proyecto D.S. N°10) contemplan la instalación de sistema EIFS en los muros exteriores de la vivienda, para ello propone que el componente aislante sea Poliestireno expandido de densidad  $20 \left[ \frac{kg}{m^3} \right]$  y de espesor  $50 [mm]$ . En base a esto, calcularemos la nueva transmitancia de los muros de la vivienda.

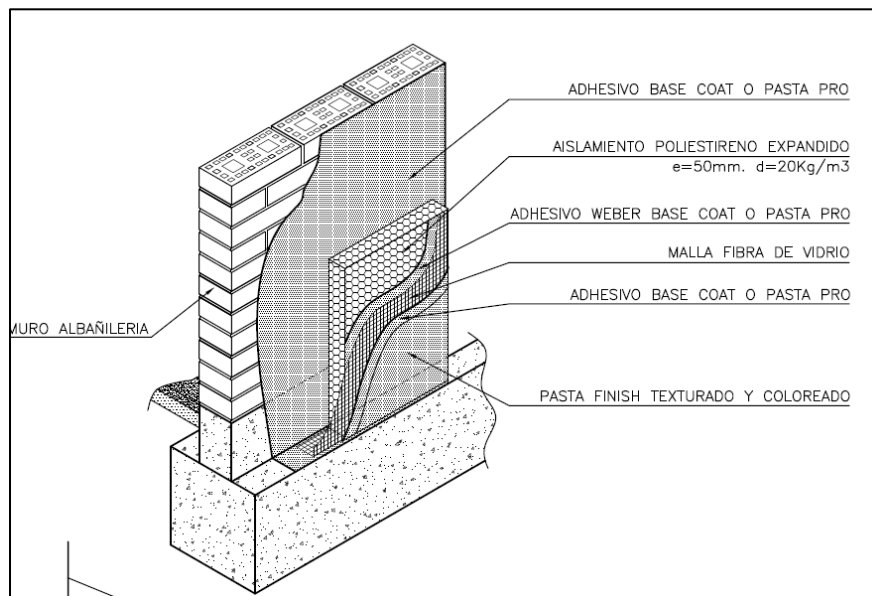


Figura 36. Especificaciones EIFS Proyecto vivienda D.S. N°10.

En este punto es importante destacar, las capas que componen el sistema EIFS son despreciables en cuanto a espesor (milímetros) y conductividad térmica que poseen, y no ayudan significativamente en mejorar la resistencia total del muro. Como ya sabemos, las capas de adhesivos, mallas y texturizador final son elementos constructivos que permiten que el poliestireno expandido se adhiera a los muros y eventualmente no sufra daños por agua o desprendimiento.

Por lo tanto, se considera la utilización de EPS con los siguientes datos según NCh 853.

*Tabla 28. Datos poliestireno EIFS proyecto vivienda D.S. N°10 (NCh 853, 2007).*

MURO CON AISLACION		
AISLANTE	ESPESOR [mm]	CONDUCTIVIDAD TERMICA [W/mK]
POLIESTIRENO EXPANDIDO 20 [kg/m3]	50	0,0384

La resistencia de este material por sí solo se obtiene de la siguiente forma:

$$R_{EPS} = \frac{e_{EPS}}{\lambda_{EPS}}$$

Donde,

$R_{EPS}$  : Resistencia poliestireno expandido

$e_{EPS}$  : Espesor poliestireno expandido

$\lambda_{EPS}$  : Conductividad térmica poliestireno expandido

$$R_{EPS} = \frac{0,05 [m]}{0,0384 \left[ \frac{W}{m K} \right]}$$

$$R_{EPS} = 1,302 \left[ \frac{m^2K}{W} \right]$$

## Resistencia térmica muros Nueva ( $R^*$ ) Zona 2

Ya que al modelo básico de vivienda estamos adicionando una capa de poliestireno por fuera, despreciando las milimétricas capas de adhesivos y demás, es posible calcular primero la resistencia total del nuevo muro. Para ello utilizamos la resistencia del muro “caso base” que obtuvimos en la sección anterior *Transmitancia Térmica Modelo Base*.

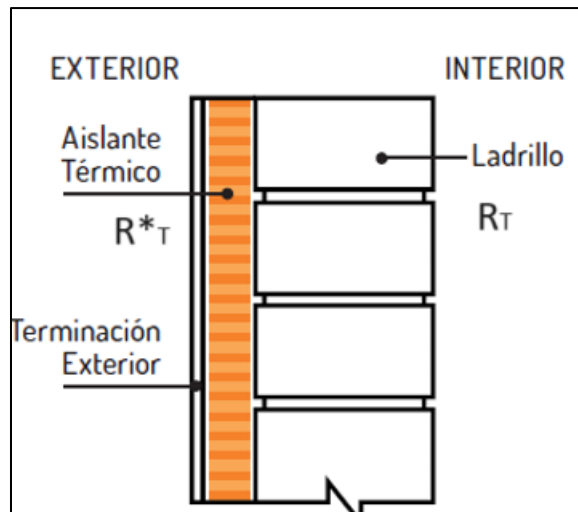


Figura 37. Ilustración resistencias muros con EIFS.

$$R^*_T = R_T + R_{EPS}$$

$$R^*_T = 0,428 \left[ \frac{m^2K}{W} \right] + 1,302 \left[ \frac{m^2K}{W} \right]$$

$$R^*_T = 1,730 \left[ \frac{m^2K}{W} \right]$$

## Transmitancia térmica muros Nueva ( $U^*$ ) Zona 2

Como ya hemos visto anteriormente, podemos obtener la transmitancia térmica del elemento ( $U$ ), si dividimos 1 por la Resistencia térmica total del muro. Con ello obtendremos los nuevos parámetros mejorados finales para esta propuesta de acondicionamiento térmico.

$$U^*_T = \frac{1}{1,730 \left[ \frac{m^2 K}{W} \right]}$$

$$U^*_T = 0,578 \left[ \frac{W}{m^2 K} \right]$$

Con estos resultados podemos decir que la propuesta de aislación en la vivienda pierde 0,578 [W] de energía por cada metro cuadrado de superficie por cada grado ( $^{\circ}C$ ) de diferencia de temperatura entre el interior y exterior de la vivienda.

Tabla 29. Comparación transmitancias térmicas muros sin y con aislación.

TRANSMITANCIAS TÉRMICAS ENTRE MURO CASO BASE Y MURO CON EIFS			
TRANSMITANCIA TOTAL MUROS S/A	2,335	[W/ m2 K]	<b><math>\Delta U</math> MUROS</b>
TRANSMITANCIA TOTAL MUROS C/A	0,578	[W/ m2 K]	<b>-75,2%</b>

En comparación con la transmitancia calculada correspondiente a los muros de la vivienda modelo, la nueva transmitancia térmica del muro con aislación ha mejorado 75,2 %.

En otra perspectiva, contemplando la casa en su totalidad con todas las componentes de la envolvente térmica y la superficie que estas poseen, incluidas las mejoras realizadas a los muros, tenemos el siguiente resumen:

Tabla 30. Resultados pérdidas de calor por elemento vivienda con EIFS.

TRANSMITANCIAS ELEMENTOS	U [W/ m2 K]	ÁREA [m2]	PÉRDIDAS CALOR [W/K]
PISOS (U LINEAL) [W/m K]	1,40	36,06	50,48
PUERTAS	2,21	4,00	8,84
VENTANAS DVH	2,80	8,33	24,15
TECHUMBRE	0,33	63,67	21,00
MUROS DE LADRILLOS	0,58	72,78	42,06
<b>TOTAL ELEMENTOS VIVIENDA</b>			<b>146,53</b>

Según la Tabla 30 de resultados, la propuesta de implementación de EIFS en la vivienda modelo da como resultado una pérdida de energía térmica de 146,53 Watts [W] por cada grado °C de diferencia existe entre la temperatura interior y exterior de la vivienda.

Por lo tanto, las mejoras de la vivienda en comparación a las condiciones bases han mejorado 46,5 %. Lo cual quiere decir que la vivienda ha ahorrado 46,5% de energía, que eventualmente se verá reflejado en la economía del hogar.

Tabla 31. Comparación pérdidas de calor vivienda sin y con aislación.

PÉRDIDAS CALOR ENTRE VIVIENDA BASE Y VIVIENDADA CON EIFS			
PÉRDIDA CALOR VIVIENDA BASE	273,93	[W/K]	<b>Δ PÉRDIDA CALOR</b>
PÉRDIDA CALOR VIVIENDA C/A	146,53	[W/K]	<b>-46,5%</b>

### 3.2.2 Propuesta Zona 7

#### Especificaciones técnicas Zona 7

La solución constructiva para esta zona considera el muro de albañilería existente con aislación térmica EIFS, que consiste en un revestimiento térmico exterior de poliestireno expandido de 110 [mm] de espesor, en densidad de 15 [kg/m<sup>3</sup>], pegada al muro mediante adhesivo para poliestireno. Sobre el aislante otra capa de adhesivo, reforzada con malla de fibra de vidrio. El sistema se completa con una capa de pasta texturizada final.

Cabe destacar que esta propuesta descrita está planteada por Serviu y analizaremos sus mejoras. Como siempre, las capas milimétricas de adhesivo, malla y texturizado son despreciables en el cálculo.



*Figura 38. Propuesta Solución EIFS Zona 7 (PDA Coyhaique, 2018).*

Este tipo de poliestireno tiene las siguientes especificaciones según la NCh 853.

*Tabla 32. Datos Poliestireno Expandido según NCh 853, Zona 7 (NCh 853, 2007).*

MURO CON AISLACION		
AISLANTE	ESPESOR [mm]	CONDUCTIVIDAD TERMICA [W/mK]
POLIESTIRENO 15 [kg/m3]	110	0,0413
RESISTENCIA TÉRMICA	2,663	[m2 K/W]

Con estos datos podemos determinar que la resistencia térmica de la plancha de EPS propuesta para la solución constructiva de la Zona 7 es  $2,663 \left[ \frac{m^2 K}{W} \right]$ .

### Resistencia térmica muros Nueva ( $R^*_T$ ) Zona 7

De la misma forma que se realizó en la propuesta para la Zona 2, la nueva resistencia térmica total del muro con aislación EIFS se puede calcular como:

$$R^*_T = R_T + R_{EPS}$$

$$R^*_T = 0,428 \left[ \frac{m^2 K}{W} \right] + 2,663 \left[ \frac{m^2 K}{W} \right]$$

$$R^*_T = 3,092 \left[ \frac{m^2 K}{W} \right]$$

### Transmitancia térmica muros Nueva ( $U^*$ ) Zona 7

Como se realizó anteriormente con la propuesta para la Zona 2, podemos obtener la Transmitancia térmica del elemento ( $U$ ), si dividimos 1 por la

Resistencia térmica total del muro. Con ello obtendremos los nuevos parámetros mejorados finales para esta propuesta de acondicionamiento térmico.

$$U^*_T = \frac{1}{3,092 \left[ \frac{m^2 K}{W} \right]}$$

$$U^*_T = 0,323 \left[ \frac{W}{m^2 K} \right]$$

En este caso, podemos concluir que esta configuración de EPS acondiciona a la vivienda con la pérdida de calor a razón de 0,323 [W] para cada metro cuadrado de muro de ladrillos y por cada [°C] de diferencia entre la temperatura interior y exterior de la vivienda.

*Tabla 33. Resultados Transmitancia y Resistencia térmica para la propuesta Zona 7.*

RESULTADOS TÉRMICOS MURO CON AISLACION ZONA 7		
RESISTENCIA TOTAL MURO	3,092	[m <sup>2</sup> K/W]
TRANSMITANCIA TOTAL MURO	0,323	[W/m <sup>2</sup> K]

De acuerdo con la reglamentación nacional (O.G.U.C.), esta determina que la Zona térmica 7 debe tener como mínimo una resistencia térmica total de muros de 1,67  $\left[ \frac{m^2 K}{W} \right]$  y transmitancia térmica total de muros máxima de 0,6  $\left[ \frac{W}{m^2 K} \right]$ . En este sentido, la propuesta cumple con la ordenanza y la vivienda se encuentra dentro de los parámetros para entregar un hogar con las condiciones necesarias para alcanzar el confort térmico.

La solución constructiva otorga a los muros de la vivienda una mejora de 86,2% (Tabla 34) en comparación con los muros sin aislación, considerando la cantidad de energía térmica que pierde por cada metro cuadrado y por cada grado [°C] de diferencia de temperatura.

Tabla 34. Comparación transmitancias térmicas muros sin y con EIFS Zona 7.

TRANSMITANCIAS TÉRMICAS ENTRE MURO CASO BASE Y MURO CON EIFS (ZONA 7)			
TRANSMITANCIA TOTAL MUROS S/A	2,335	[W/ m2 K]	<b>Δ U MUROS</b>
TRANSMITANCIA TOTAL MUROS C/A	0,323	[W/ m2 K]	<b>-86,2%</b>

A modo de resumen final, hay que recordar que la transmitancia de techumbre de Zona 7, tiene sus especificaciones propias y que los demás elementos como pisos, puertas y ventanas conservan los mismos valores de la vivienda modelo “caso base”, también destacar que las superficies de la componente de la envolvente térmica no han cambiado, se tiene lo siguiente:

b

Tabla 35. Resumen pérdidas de calor por elemento con aislación de muros Zona 7.

COMPLEJO	U [W/ m2 K]	AREA [m2]	PÉRDIDAS CALOR [W/K]
PISOS (LINEAL) [W/m K]	1,40	36,06	50,48
PUERTAS	2,21	4,00	8,84
VENTANAS DVH (DOBLE HERMETICO)	2,80	8,33	24,15
TECHUMBRE	0,24	63,67	15,15
MUROS DE LADRILLOS	0,32	72,78	23,51
<b>TOTAL ELEMENTOS VIVIENDA</b>			<b>122,13</b>

En este caso, la vivienda pierde 122,13 [W] de energía térmica por cada grado Celsius de diferencia entre la temperatura interior y exterior de la casa.

Tabla 36. Comparación pérdidas de calor sin y con EIFS, Zona 7.

PÉRDIDAS CALOR ENTRE VIVIENDA BASE Y VIVIENDADA CON EIFS (ZONA 7)			
PÉRDIDA CALOR VIVIENDA BASE	273,93	[W/K]	<b>Δ PÉRDIDA CALOR</b>
PÉRDIDA CALOR VIVIENDA C/A	122,13	[W/K]	<b>-55,4%</b>

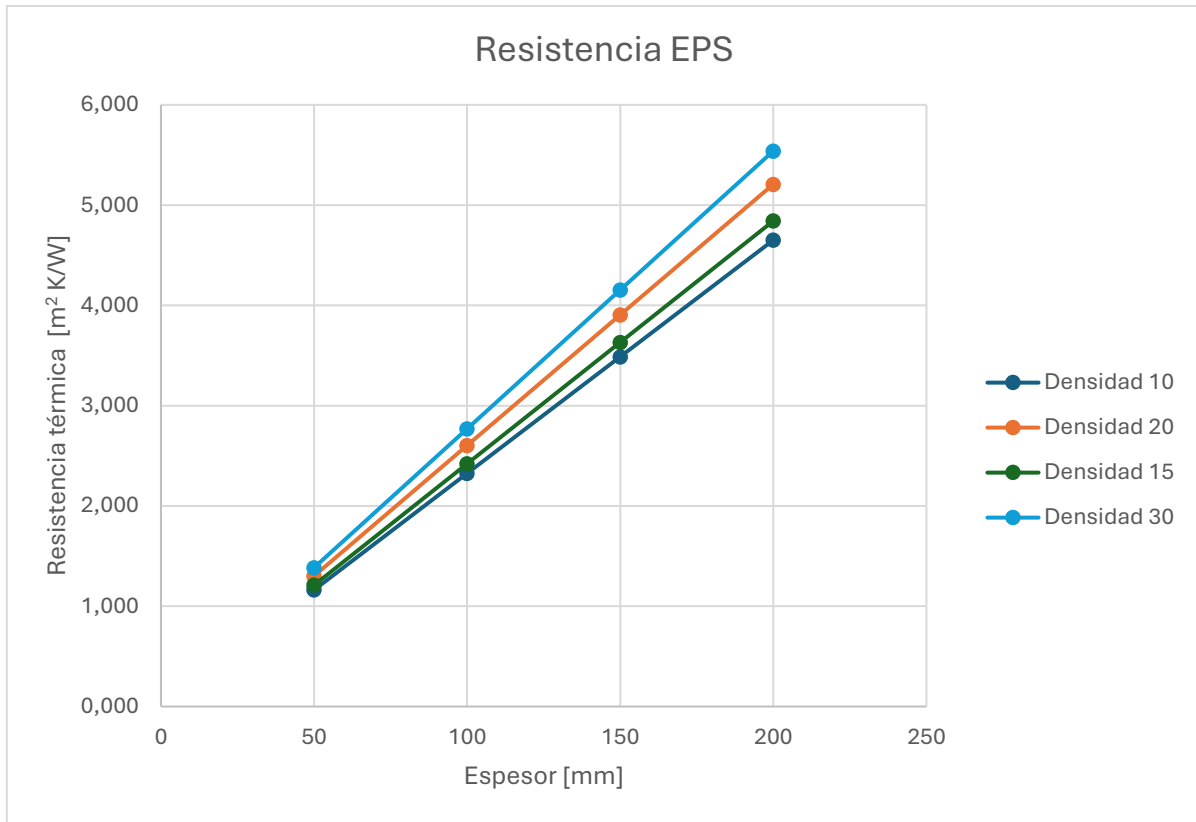
Finalmente, la vivienda completa, considerando todos sus elementos, ha mejorado 55,4 % su aislación térmica en comparación a la configuración básica del “caso base”.

Cabe destacar que las Zonas 2 y 7, son zonas que se caracterizan por su gran diferencia entre las temperaturas promedio del exterior de la vivienda, sobre todo en invierno, por lo que la energía que pierden al enfrentarse a las condiciones exteriores son muy diferentes y por consiguiente, la demanda energética que estos dos casos requieren.

### **3.3 Propuestas alternativas**

Es posible plantear soluciones diferentes pero que generen el mismo efecto aislante en la vivienda, y para ello con los datos que tenemos de conductividad térmica de poliestireno expandido en sus diferentes densidades podemos desarrollar soluciones dependiendo del espesor de las planchas.

La resistencia térmica de la plancha de poliestireno expandido está determinada por su conductividad térmica y espesor del material. Cada valor de resistencia térmica, teniendo como variable el espesor, genera una tendencia en el comportamiento de este material y nos hace posible encontrar la misma solución con otra combinación de densidad y espesor, según el requerimiento que busquemos.



*Figura 39. Gráfico de resistencia térmica soluciones alternativas.*

La formulación de este comportamiento en el material nos ayuda a explorar las soluciones de la una forma más rápida y eficiente para proponer y simular las opciones que tenemos a mano en cuanto a optimizar recursos y la eficiencia energética del hogar.

Por ejemplo, según el gráfico de la Figura 39, para los casos de estudio la vivienda modelo en la Zona 2 y la Zona 7 podría configurarse con las siguientes alternativas para obtener el mismo resultado.

Estos resultados alternativos según el gráfico anterior se detallan en la Tabla 37 a continuación.

*Tabla 37. Soluciones alternativas espesor EPS.*

<b>EQUIVALENCIAS DENSIDADES EPS</b>			
<b>ZONA 2</b>		<b>ZONA 7</b>	
<b>R eps [m2 K/W]</b>	<b>1,302</b>	<b>R eps [m2 K/W]</b>	<b>2,663</b>
<b>EPS</b>	<b>[mm]</b>	<b>EPS</b>	<b>[mm]</b>
Densidad 10	56,0	Densidad 10	114,5
Densidad 15	53,8	Densidad 15	110,0
Densidad 20	50,0	Densidad 20	102,3
Densidad 30	47,0	Densidad 30	96,1

Es posible plantear estas equivalencias con otros materiales del mercado, sin embargo, el alcance de este estudio considera la utilización de poliestireno expandido EPS, material que es fácil de trabajar, adherir a los muros y por sus beneficios costo versus efectividad no se compara con los demás materiales.

### 3.4 Demanda de Energía en el hogar

La demanda energética es la energía necesaria para mantener las condiciones de confort térmico al interior de la vivienda. Depende de las características térmicas de la envolvente, su orientación, condiciones de uso y clima del lugar de emplazamiento. La demanda de energía de una vivienda se expresa en  $\left[ \frac{Wh}{m^2 \text{ año}} \right]$ .

$$\text{Demanda Energía} = \text{Pérdidas Térmicas} - \text{Ganancias Térmicas}$$

En este caso debemos considerar que las ganancias térmicas de los electrodomésticos de la vivienda no se consideran por su bajo valor, así como las ganancias internas del ser humano son despreciables en el calor del hogar.

En el caso de las ganancias solares, no se ha definido en este estudio ubicación y orientación de la vivienda para calcular sus ganancias solares, y aunque así fuera el factor sombra es muy importante y no conocemos el terreno de emplazamiento, por lo que para este estudio no es factible incluir las ganancias solares.

#### 3.4.1 Inercia térmica en la vivienda

La inercia térmica es un concepto fundamental en la ingeniería de edificios y el diseño de sistemas de climatización que se refiere a la capacidad de un material o estructura para almacenar y liberar calor. Este fenómeno es crucial para gestionar la temperatura y mejorar el confort térmico en un entorno construido. La inercia térmica juega un papel clave en la eficiencia energética y el rendimiento térmico de las edificaciones, influyendo en cómo se mantienen las temperaturas interiores en respuesta a las variaciones exteriores.

## ***Concepto Básico***

### **Almacenamiento de Calor:**

La inercia térmica está relacionada con la capacidad de un material para absorber y almacenar calor. Los materiales con alta inercia térmica pueden acumular grandes cantidades de calor y liberarlo lentamente, ayudando a moderar las fluctuaciones de temperatura.

### **Propiedades Térmicas:**

La inercia térmica de un material se define por su capacidad calorífica (cantidad de calor que puede almacenar por unidad de masa) y su conductividad térmica (facilidad con la que el calor puede transferirse a través del material). La combinación de estas propiedades determina cómo se comporta el material en respuesta a los cambios de temperatura.

### **Reducción de Fluctuaciones de Temperatura:**

Los materiales de alta inercia térmica moderan las variaciones de temperatura, reduciendo el impacto de los cambios bruscos de temperatura exterior y ayudando a mantener un ambiente interior más estable y cómodo.

## ***Ventajas de la Inercia Térmica en una Vivienda***

### **Confort Térmico:**

Una vivienda con alta inercia térmica suele ser más confortable, ya que evita cambios bruscos de temperatura, proporcionando un ambiente interior más agradable.

### **Eficiencia Energética:**

Al almacenar y liberar calor de manera más eficiente, los materiales con alta inercia térmica pueden reducir la necesidad de calefacción y refrigeración, lo que puede disminuir los costos energéticos y la huella de carbono del hogar.

## **Protección Contra Condiciones Climáticas Extremos:**

La inercia térmica ayuda a proteger el interior de la vivienda contra condiciones extremas, tanto en invierno como en verano, al moderar las temperaturas interiores.

### ***Beneficios Adicionales***

## **Sostenibilidad:**

La utilización de la inercia térmica no solo mejora el confort y reduce costos, sino que también contribuye a un enfoque más sostenible y ecológico en la construcción.

### ***Aplicación Práctica de la Inercia Térmica.***

## **Selección de Materiales:**

La elección de materiales con alta masa térmica, como el concreto, ladrillo y piedra, es fundamental. Estos materiales tienen una alta capacidad de almacenamiento de calor y pueden moderar las fluctuaciones térmicas.

## **Diseño Arquitectónico:**

El diseño de la vivienda puede aprovechar la inercia térmica al orientarse adecuadamente para maximizar la captación de calor solar durante el invierno y minimizarla en el verano. La colocación de ventanas optimizar el rendimiento térmico.

## **Aislamiento y Ventilación:**

La combinación de materiales con alta inercia térmica con un buen aislamiento y sistemas de ventilación controlada puede maximizar la eficiencia energética y el confort térmico en el interior de la vivienda.

La inercia térmica es una característica clave en el diseño de edificios que afecta significativamente el confort térmico y la eficiencia energética. Comprender cómo seleccionar y aplicar materiales con alta inercia térmica, junto con un

diseño adecuado, puede transformar un edificio en un espacio más cómodo y eficiente, adaptado a las condiciones climáticas específicas de su ubicación. La integración efectiva de la inercia térmica contribuye a la sostenibilidad y al bienestar en el entorno construido.

### 3.4.2 Coeficiente volumétrico global de pérdidas

Por lo tanto, según método de coeficiente volumétrico global de pérdidas térmicas de la Norma NCh 1960 del mismo nombre, podemos determinar la demanda de energía (NCh 1960, 1989).

Según la NCh 1960, los flujos térmicos de los edificios se producen principalmente a través de cinco vías: muros, superficies vidriadas de la envolvente, techumbre, piso y ventilación.

Esto permite calcular ciertos coeficientes de pérdidas térmicas del edificio. Estos coeficientes están referidos a la unidad de volumen del edificio y a una diferencia de temperatura de 1°C (1 K) entre el interior y el exterior.

El coeficiente volumétrico global de pérdidas totales viene dado por la siguiente expresión:

$$G_v = \frac{\sum U_i * S_i}{V} + 0,35n$$

Donde:

$G_v$  : coeficiente volumétrico global de pérdidas  $\left[ \frac{W}{m^3KW} \right]$ .

$U_i$  : transmitancia térmica de cada elemento de la envolvente térmica, muros, techumbre, pisos, ventanas y puertas.

$S_i$  : superficie de cada elemento de la envolvente térmica.

$V$  : volumen de la vivienda.

$n$  : número de renovaciones de aire por hora del volumen considerado.

En cuanto al número de renovaciones de aire por hora, la norma estima un número  $n$  para los espacios de la casa que nos sirva como guía para poder desarrollar el cálculo.

Tipo de recinto	Renovaciones de aire de cálculo por hora
- Baño con W.C.	2 – 3
- Baño con ducha	5 – 8
- Cocina	3 – 4
- Lavado y secado de ropa	6 – 8
- Estar, comedor	1 – 1,5
- Dormitorio (1 cama)	1
- Dormitorio (2 camas)	1 – 1,5
- Dormitorio (3 ó 4 camas)	1,5 – 2
- Otros recintos habitables	1 – 1,5

Figura 40. Renovaciones de aire por hora según NCh 1960 (NCh 1960, 1989).

En este caso, teniendo en cuenta el espacio más grande de la casa como son la sala de estar y comedor, en base a ello estimaremos el valor de  $n$  como 1,5 (según Figura 40).

Este coeficiente de pérdidas lo utilizamos para obtener la demanda de energía de la vivienda según:

$$\text{Demanda Energía} = \frac{(G_v * V * 24 * GD)}{1000}$$

Donde:

$G_v$  : coeficiente volumétrico global de pérdidas  $\left[ \frac{W}{m^3K} \right]$ .

$V$  : volumen de la vivienda.

$GD$  : grados/día anuales correspondiente a la zona térmica.

Grados/día: Es la diferencia entre la temperatura fijada como “base”, y la media diaria de las temperaturas bajo la temperatura de base, igualando a la “base” aquellas superiores a ésta. Dependiendo del período de tiempo utilizado, se puede hablar de grados/día, grados/hora, grados/año, etc. (Cabello, 2011).

Los grados de un período determinado de tiempo (una semana, un mes, etc.) son la suma, para todos los días de ese período de tiempo, de la diferencia entre una temperatura fija o “base” y la temperatura media del día.

En base a lo anterior, junto a los valores que se encuentran en la Tabla 4, se determina que, para la Zona 2 consideraremos los grados días como su máximo valor de 750 y para la Zona 7 como su valor de 2000.

### 3.4.3 Demanda energía vivienda modelo “caso base” Zona 2

Ya que las condiciones de la Zona 2 nos indican que el valor de los grados días anuales corresponde como máximo a 750, se procede a calcular la demanda energética de la vivienda sin considerar la aislación de muros.

El volumen calculado de la vivienda corresponde al volumen habitable y al cual se pretende calefaccionar, vale decir, la superficie de la vivienda por la altura de los muros.

*Tabla 38. Volumen vivienda modelo según planos de arquitectura proyectos D.S. N°10.*

VOLUMEN VIVIENDA MODELO		
SUPERFICIE	63,67	[m2]
ALTURA	2,36	[m]
VOLUMEN	150,26	[m3]

Luego, utilizando los datos obtenidos en la sección anterior de la vivienda sin aislación de muros, donde calculamos los valores de transmitancia térmica de cada una de las componentes de la envolvente y su correspondiente superficie, se obtiene:

$$G_v = \frac{\sum U_i * S_i}{V} + 0,35n$$

$$G_v = 2,35 \left[ \frac{W}{m^3K} \right]$$

Donde,

$$Demanda\ Energía = \frac{(2,35 \left[ \frac{W}{m^3K} \right] * 150,26 [m^3] * 24 \left[ \frac{h}{dia} \right] * 750 \left[ \frac{dia}{año} \right])}{1000}$$

$$\text{Demanda Energía} = 6.350,68 \left[ \frac{kWh}{\text{año}} \right]$$

La vivienda “caso base” ubicada en la Zona térmica 2, sin aislación, pierde en promedio 6.350,68 [kWh] al año.

#### 3.4.4 Demanda energía vivienda modelo “caso base” Zona 7

Ya que las condiciones de la Zona 7 nos indican que el valor de los grados días anuales corresponde a un máximo de 2000, se procede a calcular la demanda energética de la vivienda sin considerar la aislación de muros.

El volumen calculado de la vivienda corresponde al volumen habitable y al cual se pretende calefaccionar, vale decir, la superficie de la vivienda por la altura de los muros.

Al igual que el ejercicio anterior el coeficiente volumétrico global se calcula mediante la fórmula presentada en la Nch 1960. Este nuevo valor es diferente al “caso base” de la Zona 2, ya que la transmitancia térmica de la techumbre es diferente en ambos casos, para poder dar cumplimiento a la ordenanza general.

Posteriormente se calcula la demanda energética utilizando los datos presentados en la sección anterior de la vivienda sin aislación de muros, donde se obtuvieron los valores de transmitancia térmica de cada uno de los elementos de la envolvente y su correspondiente superficie, se obtiene:

$$G_v = \frac{\sum U_i * S_i}{V} + 0,35n$$
$$G_v = 2,31 \left[ \frac{W}{m^3K} \right]$$

Luego,

*Demanda Energía*

$$= \frac{(2,31 \left[ \frac{W}{m^3 K} \right] * 150,26 [m^3] * 24 \left[ \frac{h}{dia} \right] * 2000 \left[ \frac{dia}{año} \right])}{1000}$$

$$Demanda Energía = 16.678,29 \left[ \frac{kWh}{año} \right]$$

Ahora bien, la misma vivienda sin aislación en la Zona 7 requiere de 16.678,29 [kWh] al año, producto de la diferencia que existe en los grados días anuales propias de la ubicación de la zona.

### **3.4.5 Demanda energética con solución EIFS Zona 2**

En este caso para calcular la demanda de la vivienda utilizando la propuesta de aislación exterior EIFS, cambia el valor de la transmitancia térmica de muros de la vivienda por lo tanto cambia el valor del Coeficiente volumétrico global de pérdidas.

Como hemos visto anteriormente, el valor de la transmitancia térmica de muros de la solución de la vivienda en la Zona 2 disminuye a  $0,578 \left[ \frac{W}{m^2 K} \right]$ , por lo tanto, el nuevo coeficiente resulta:

$$G_v = \frac{\sum U_i * S_i}{V} + 0,35n$$

$$G_v = 1,50 \left[ \frac{W}{m^3 K} \right]$$

Una vez obtenido el nuevo coeficiente de pérdidas globales, la propuesta de vivienda con aislación, considerando 750 grados días anuales, requiere la siguiente demanda de energía:

$$Demanda\ Energía = \frac{(1,50 \left[ \frac{W}{m^3K} \right] * 150,26 [m^3] * 24 \left[ \frac{h}{dia} \right] * 750 \left[ \frac{dia}{año} \right])}{1000}$$

$$Demanda\ Energía = 4.057,46 \left[ \frac{kWh}{año} \right]$$

En este caso, las mejoras realizadas a la vivienda considerando su ubicación en la Zona 2 corresponde a una demanda térmica de 4.057,46 [kWh] anualmente.

### 3.4.6 Demanda energética con solución EIFS Zona 7

Al igual que el ejercicio anterior, la propuesta de solución constructiva para la vivienda en la Zona 7, en la que dadas las normativas vigentes son mayores las exigencias, por lo tanto, la transmitancia de muros de la Zona 7 es menor en comparación con la Zona 2, lo que resulta un coeficiente volumétrico global de pérdidas menor.

Por lo tanto,

$$G_v = \frac{\sum U_i * S_i}{V} + 0,35n$$

$$G_v = 1,34 \left[ \frac{W}{m^3K} \right]$$

Dado este resultado, lo siguiente es calcular la demanda energética basado en el volumen de vivienda y los grados día anuales correspondiente de la Zona 7, que corresponde a 2000:

*Demanda Energía*

$$= \frac{(1,34 \left[ \frac{W}{m^3 K} \right] * 150,26 [m^3] * 24 \left[ \frac{h}{dia} \right] * 2000 \left[ \frac{dia}{año} \right])}{1000}$$

$$Demanda Energía = 9.648,84 \left[ \frac{kWh}{año} \right]$$

Finalmente, la propuesta de aislación de muros de la vivienda disminuye la demanda de energía térmica a 9.648,84 [kWh] al año.

### 3.4.7 Resumen Demanda Energética

Recopilando los resultados anteriores, podemos comparar las demandas energéticas requeridas por las viviendas considerando su configuración básica y posteriormente con las mejoras de aislación EIFS.

En la Zona 2 nos encontramos con una disminución de la demanda de energía térmica de 2.293,22 [kWh] al año, que son equivalentes en un ahorro de energía de 36,11% (Tabla 39).

*Tabla 39. Ahorro energético Zona 2.*

RESULTADOS DEMANDA ENERGÉTICA		
ZONA 2		
SIN AISLACION [kWh/año]	CON AISLACION [kWh/año]	REDUCCION DEMANDA %
6350,68	4057,46	-36,11%

Y en el caso de la Zona 7, las mejoras propuestas a la vivienda le otorgan a esta el ahorro de energía 7.029,45 [kWh] al año, que a su vez se puede expresar como un ahorro de 42,15% de energía (Tabla 40).

Tabla 40. Ahorro energético Zona 7.

RESULTADOS DEMANDA ENERGETICA		
ZONA 7		
SIN AISLACION [kWh/año]	CON AISLACION [kWh/año]	REDUCCION DEMANDA %
16678,29	9648,84	-42,15%

### 3.5 Consumo de energía

El consumo energético corresponde a la cantidad de energía real requerida para satisfacer la demanda, lo que depende del rendimiento del sistema de calefacción. Como el rendimiento de los sistemas convencionales de calefacción utilizados tienen generalmente valores inferiores al 100% el consumo será, por lo tanto, mayor a la demanda de energía.

$$\text{Consumo} = \frac{\text{Demanda Energía}}{\text{Eficiencia equipo}}$$

Podemos pensar como equipos de calefacción estufas a parafina o gas, o chimeneas a leña, todos métodos convencionales que no poseen eficiencia de 100% entre el combustible que consumen y la energía que generan.

En este caso los equipos eléctricos son considerados la alternativa más eficiente, de menos inversión inicial, sin embargo, el costo por [kWh] de estos equipos no es el más económico, por otro lado, si poseen la ventaja que su precio no tiene grandes fluctuaciones como otras fuentes de energía donde su precio cambia semana a semana.

Es importante definir que, para la realización de este proyecto, lo más óptimo es tener un valor de [kWh] estable en el desarrollo de los cálculos que sea representativo y útil por el mayor tiempo posible.

Se define entonces la fuente de calefacción a través de equipos eléctricos para suplir la demanda de energía térmica antes calculada.

### 3.5.1 Consumo Eléctrico

Se considera la utilización de energía eléctrica en los hogares como método de calefacción de los hogares que se están analizando, aunque es un hecho que la Zona 2 y Zona 7 tienen sus propias fuentes de energía, a modo de estandarizar la evaluación económica de la demanda de energía en el hogar se define la utilización de un artefacto eléctrico como fuente de calor, y de esta forma presentar resultados comparables en el orden de costos y beneficios monetarios.

La electricidad, dentro del hogar, es una energía que no libera gases, ya que no realiza combustión para funcionar. Es adaptable, ya que existen equipos para abarcar distintos tamaños de recintos y generalmente son portátiles. Este tipo de calefactores entrega calor a partir de una resistencia eléctrica.

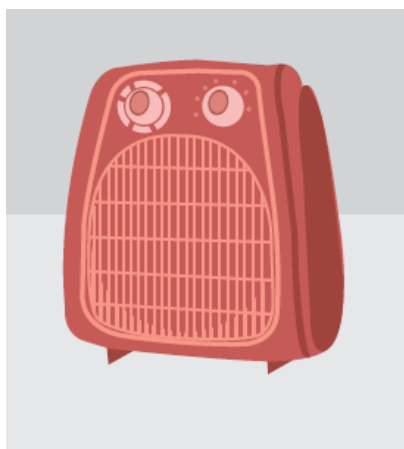
Por la forma de entregar calor al ambiente a través de energía eléctrica, se pueden diferenciar en 2 grupos: calefactores convectivos y calefactores radiactivos. Se debe aclarar que desde el punto de vista eficiencia energética, todos los calefactores tienen la misma eficiencia (100%), independiente de su valor de compra.

También se tiene en consideración los sistemas de climatización tipo “Bomba del calor” en el hogar, equipos altamente eficientes entre 3 y 5 COP (coeficiente de rendimiento), sin embargo, a lo que a este estudio se refiere, es un sistema de inversión alta y aun nuevo en el mercado de la calefacción del hogar en Chile (Ministerio de Energía, Bombas de calor Una guía para el usuario, 2020). Aunque la climatización por medio de Bomba de calor sea altamente eficiente energéticamente, en la práctica las “viviendas tipo” analizadas, vale decir viviendas de gobierno, no cuentan con este sistema, por lo cual no es factible estimar un ahorro energético y monetario con este sistema.

Dado lo anterior, se proponen los sistemas de calefacción eléctricos convencionales y que se pueden encontrar en cualquier hogar. Podemos presentar dos tipos de calefactores que son económicos y eficientes como alternativas de calefacción en el hogar.

### ***Calefactor eléctrico por convección convencional***

Este tipo de calefactor es también llamado termoventilador. Este se compone de un ventilador el que hace circular el aire a alta velocidad a través de una resistencia eléctrica, donde el aire caliente es impulsado al recinto. Normalmente tiene un termostato que permite que se apaguen automáticamente cuando se llega a la temperatura deseada y un selector de potencia que permite trabajar con 2 o 3 niveles de potencia.

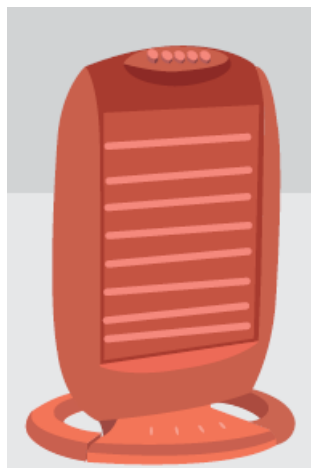


*Figura 41. Ilustración de calefactor por convección.*

### ***Calefactor eléctrico por radiación convencional***

Este tipo de calefactor también es llamado tipo halógeno o calefactor a cuarzo. La característica principal es que la resistencia eléctrica alcanza una alta temperatura y una parte importante del calor emitido lo hace por radiación. Este equipo tiene la ventaja de que, si la persona se ubica frente al calefactor, aunque el aire ambiente aun no este caliente, siente una sensación de confort debido a la radiación emitida. En todo caso, después de un tiempo encendido también se calienta el aire. Normalmente tiene un termostato que permite que se apague automáticamente cuando se llega a la temperatura deseada y un selector que permite trabajar con 2 o 3 niveles de potencia.

Este tipo de calefactores tiene ventajas importantes frente a los convectivos cuando se tiene un gran flujo de aire de ventilación o en lugares semi abiertos y se desea calentar directamente a la persona por radiación. También se usan en lugares cerrados para provocar una sensación de confort a la persona que está frente a él, antes de que se caliente el aire.



*Figura 42. Ilustración de calefactor por radiación.*

En base a la información del valor de [kWh] que podemos obtener de los archivos de tarifas mensuales de CGE (Compañía General de Electricidad), obtenidos en línea, para las Zonas 2 y 7 se tienen los siguientes valores:

*Tabla 41. Tarifas BTI [\$/kWh] octubre 2024 (CGE, 2024).*

VALORES [\$/kWh]	
<b>ZONA 2</b>	\$ 183,6
<b>ZONA 7</b>	\$ 177,5

Considerando el valor de cada [kWh] para las Zonas 2 y 7, podemos finalmente determinar el beneficio monetario de la implementación de un sistema de aislación externa en muros.

Este beneficio se ve reflejado en el ahorro anual por concepto de calefacción del hogar, de acuerdo con la cantidad de energía térmica demandada según los resultados anteriores.

*Tabla 42. Resultados consumo eléctrico Zona 2.*

CONSUMO ELÉCTRICO			
ZONA 2		[kWh/año]	[\$/año]
	SIN AISLACION	6350,68	\$ 1.165.984
	CON EIFS	4057,46	\$ 744.950
	AHORRO	2293,22	\$ 421.034

En el caso de la Zona 2 las estimaciones indican que la vivienda modelo, de casi 64 [m<sup>2</sup>], una familia desembolsa cerca de \$ 1.165.984 anualmente para mantener su vivienda calefaccionada y a una temperatura de confort térmico.

Entregada la solución EIFS, la misma familia gastará solo \$ 744.950 al año para el mismo propósito, ahorrando cerca de \$ 421.034 cada año desde la implementación de aislación exterior EIFS.

*Tabla 43. Resultados consumo eléctrico Zona 7.*

CONSUMO ELÉCTRICO			
ZONA 7		[kWh/año]	[\$/año]
	SIN AISLACION	16678,29	\$ 2.960.396
	CON EIFS	9648,84	\$ 1.712.669
	AHORRO	7029,45	\$ 1.247.727

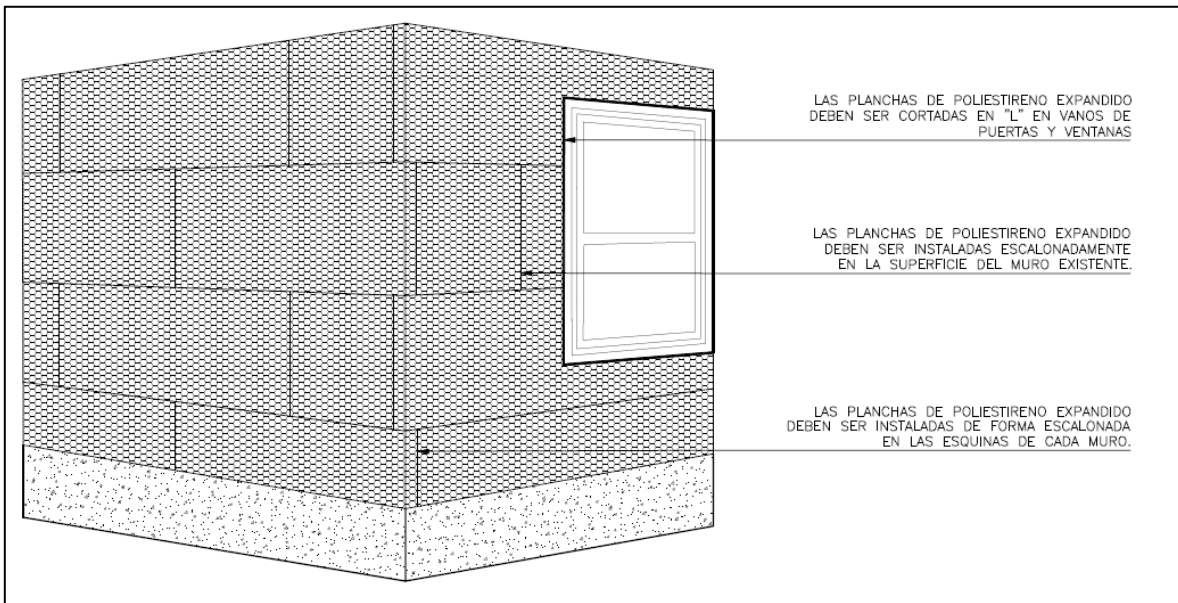
En cambio, una familia con la misma vivienda ubicada en la Zona 7 utilizando energía eléctrica, gasta en promedio \$ 2.960.396 al año para calefaccionar su hogar a una temperatura de confort térmico. La misma familia implementando un sistema EIFS en su vivienda puede disminuir su consumo a \$ 1.712.669 al año, ahorrando \$ 1.247.727 cada año desde la implementación de su mejora a la vivienda en adelante.

### 3.6 Costos EIFS

Para los costos asociados a la implementación de sistema EIFS en las viviendas, se consideran los costos de los materiales que son necesarios y también los costos asociados a la mano de obra de instalación de los materiales.

Si bien nos hemos referido a las ventajas de este sistema como fácil y rápido de instalar, siempre se recomienda que esto lo haga una empresa constructora o mano de obra especializada.

Por ejemplo, la imagen siguiente nos indica la forma específica en que se deben instalar las planchas en el encuentro de las esquinas de tal forma de evitar puentes térmicos o infiltraciones en las uniones, por lo que se recomienda siempre tercerizar la instalación.



*Figura 43. Detalle instalación planchas de poliestireno expandido sobre muros de ladrillos.*

### 3.6.1 Costos de materiales y mano de obra

En esta sección revisaremos los costos asociados a los materiales del sistema EIFS y el costo asociado a la mano de obra instaladora de este sistema en una vivienda.

Como referencia tenemos los valores de materiales de la vivienda modelo, casa de 63,67 [m<sup>2</sup>] adquirida por subsidio D.S. N°10.

La empresa Icufer Construcciones (Llay Llay) a cargo de la construcción de la vivienda nos entrega los costos de materiales y mano de obra asociados a este proyecto.

Los valores de los precios unitarios se obtienen de la compra de proveedor Gexa Construcción (Gexa, 2024) , empresa especialista en productos de EIFS.

Como resumen se tienen las cantidades reales utilizadas en el proyecto de estudio “Proyecto D.S. N°10 Beneficiario Manuel Zamora”.

La cotización corresponde a valores actuales para junio 2024.

#### *Costos Zona 2*

*Tabla 44. Listado de precios materiales EIFS según cotización.*

MATERIALES EIFS			
PRODUCTO	DETALLE	VALOR NETO	CANTIDAD
PANEL FIX ADHESIVO	Bolsa 25 [Kg]	\$ 10.400	30
MALLA DE REFUERZO EIFS	1,22 x 45,7 [m]	\$ 35.100	2
PLANCHA AISLAPOL 20 [kg/m <sup>3</sup> ]	0,5 x 1,0 [m] x 50 [mm]	\$ 1.980	180
PANEL FINISH BLANCO	Balde 25 [kg] grano fino	\$ 31.500	18
ESQUINERO	2,5 [m]	\$ 2.700	40
MALLA DETALLE	0,1 x 45 [m]	\$ 3.200	2

En relación con la mano de obra, la empresa constructora estima una semana de jornada laboral para la instalación de EIFS. La empresa contempla un equipo de trabajo de 3 personas, que en conjunto son suficientes para realizar la instalación.

*Tabla 45. Remuneraciones mensuales mano de obra.*

<b>VALOR MANO DE OBRA EMPRESA</b>		
<b>REMUNERACIONES MENSUAL</b>		
MAESTRO MAYOR	\$	750.000
MAESTRO SEGUNDA	\$	650.000
JORNAL	\$	550.000

*Tabla 46. Costo de mano de obra durante el periodo de instalación.*

<b>VALOR MANO DE OBRA INSTALACION EIFS</b>		
<b>COSTOS SEMANA LABORAL</b>		
MAESTRO MAYOR	\$	187.500
MAESTRO SEGUNDA	\$	162.500
JORNAL	\$	137.500
<b>TOTAL</b>	<b>\$</b>	<b>487.500</b>

Considerando estos valores de costos otorgados por la empresa, tenemos un total parcial de costos de materiales y mano de obra de \$ 2.177.300.

Cabe destacar que la empresa constructora presupuesta una utilidad estimada de 20%, que proviene del rango en el cual siempre ronda entre 20% y 25% de utilidades por proyecto, y se ve afectado por imprevistos en obra principalmente.

*Tabla 47. Costo final instalación EIFS.*

<b>COSTOS EIFS GLOBAL</b>		
<b>COSTOS TOTAL EN MATERIALES</b>	<b>\$</b>	<b>1.689.800</b>
<b>VALOR MANO DE OBRA</b>	<b>\$</b>	<b>487.500</b>
<b>TOTAL COSTOS</b>	<b>\$</b>	<b>2.177.300</b>
<b>UTILIDAD EMPRESA (20%)</b>	<b>\$</b>	<b>435.460</b>
<b>COSTO INSTALACIÓN</b>	<b>\$</b>	<b>2.612.760</b>

Finalmente, el presupuesto asociado a la instalación de EIFS de una familia para acondicionar su vivienda tiene un total de \$ 2.612.760.

Para estandarizar tal costo de inversión, podemos decir también que la vivienda de 65,67 metros cuadrados, la cual cuenta con 72,78 [m<sup>2</sup>] de superficie de muros, restando el área de las puertas y ventanas, tiene un valor por metro cuadrado de \$ 35.890.

*Tabla 48. Costo de inversión por metro cuadrado de muros.*

VALOR METRO CUADRADO	
SUPERFICIE DE MUROS [m <sup>2</sup> ]	72,78
VALOR METRO CUADRADO	\$ 35.899

Tal valor es nuestro parámetro para extrapolar el costo de inversión a otros proyectos de viviendas que se deseen acondicionar con sistema EIFS, bajo condiciones similares.

## Costos Zona 7

En este caso, la misma vivienda ubicada en la Zona 7, de acuerdo a su propia solución constructiva requiere de aislación exterior de EPS de 15 [kg/m<sup>3</sup>] con espesor de 110 [mm], y de esta forma cumplir con los estándares de la reglamentación chilena en materia de aislación térmica.

El costo de los materiales en este caso es mayor, producto del aumento del espesor de EPS, al cual le daremos solución con 2 planchas de 40 [mm] espesor unidas a una tercera plancha de 30 [mm] para formar una placa final de 110 [mm], combinando las opciones que tenemos en el mercado.

Tabla 49. Costos materiales EIFS para Zona 7.

MATERIALES EIFS			
PRODUCTO	DETALLE	VALOR NETO	CANTIDAD
PANEL FIX ADHESIVO	Bolsa 25 [Kg]	\$ 10.400	30
MALLA DE REFUERZO EIFS	1,22 x 45,7 [m]	\$ 35.100	2
PLANCHA AISLAPOL 15 [kg/m <sup>3</sup> ]	0,5 x 1,0 [m] x 40 [mm]	\$ 1.450	360
PLANCHA AISLAPOL 15 [kg/m <sup>3</sup> ]	0,5 x 1,0 [m] x 30 [mm]	\$ 1.080	180
PANEL FINISH BLANCO	Balde 25 [kg] grano fino	\$ 31.500	18
ESQUINERO	2,5 [m]	\$ 2.700	40
MALLA DETALLE	0,1 x 45 [m]	\$ 3.200	2

Los costos asociados solo a materiales de esta solución ascienden a \$ 2.118.200.

Ahora, considerando la jornada laboral de 1 semana al igual que el ejercicio de cálculo de mano de obra realizado para la Zona 2, el costo total de la instalación de EIFS corresponde a la suma de \$ 2.605.700.

Tabla 50. Costos por instalación EIFS en Zona 7.

COSTOS EIFS GLOBAL	
<b>COSTOS TOTAL EN MATERIALES</b>	\$ 2.118.200
<b>VALOR MANO DE OBRA</b>	\$ 487.500
<b>TOTAL COSTOS</b>	\$ 2.605.700
<b>UTILIDAD EMPRESA (20%)</b>	\$ 521.140
<b>COSTO INSTALACIÓN</b>	\$ 3.126.840

Donde, considerando la utilidad de la empresa constructora que realiza la instalación, se tiene un costo de instalación de \$ 3.126.840. Monto que una familia con esta vivienda modelo ubicada en la Zona 7 debe desembolsar.

En una forma más estandarizada, este costo corresponde a decir que cada metro cuadrado de superficie de muros a revestir con EIFS tiene un valor de \$ 42.963.

*Tabla 51. Costo inversión por metro cuadrado, Zona 7.*

VALOR METRO CUADRADO	
SUPERFICIE DE MUROS [m2]	72,78
VALOR METRO CUADRADO	\$ 42.963

Este valor por metro cuadrado es de utilidad para proyectar presupuestos de otras viviendas o edificaciones donde se desee instalar sistema EIFS, en condiciones similares.

Cabe destacar que, ya que este estudio considera la construcción de viviendas sociales a través de subsidios entregados por el estado, las familias no llegan a desembolsar tal cantidad de dinero.

Es decir, su subsidio considera la instalación de EIFS como especificación técnica, bajo la normativa actual para nuevas construcciones (D.S. N°10) o a través de un subsidio de mejoramiento a la vivienda existente (MAVE) o subsidios de protección al patrimonio familiar (PPF), donde el Minvu (Ministerio de Vivienda y Urbanismo) costea la inversión.

Sin embargo, para una familia sin subsidio complementario puede implementar el sistema EIFS en su vivienda considerando un valor de \$ 35.890 por cada metro cuadrado de superficie de muros exteriores, en la Zona 2, o un valor de \$ 42.963 por metro cuadrado al encontrarse en la Zona 7.

### 3.7 Costos y beneficios


En esta última sección se presenta un resumen final de lo que fue el desarrollo de las soluciones constructivas utilizando el sistema EIFS en las viviendas modelo de superficie 63,67 [m<sup>2</sup>].

En este caso se introduce un nuevo índice de costo de efectividad de la solución constructiva. Este índice combina la mayoría de los resultados obtenidos en el desarrollo de este estudio en una expresión que muestra el valor monetario [\$] que tiene cada [kWh] ahorrado en la vivienda.

Además, se incluye el Payback en años que una familia podría ver recuperada su inversión en base a la cantidad ahorrada anualmente por concepto de aumento de eficiencia energética.

SOLUCIÓN CONSTRUCTIVA ZONA 2				
		<b>COSTO [\$/m<sup>2</sup>]</b>	<b>AHORRO ENERGÍA [%]</b>	<b>COSTO EFECTIVIDAD [\$/kWh ahorrado]</b>
		\$ 35.890	36,11%	\$ 1.139
	<b>COSTO INVERSION [\$]</b>	<b>AHORRO ENERGÍA [\$/AÑO]</b>	<b>PAYBACK [año]</b>	
	\$ 2.612.760	\$ 421.034	6,2	

Figura 44. Resumen final solución constructiva para Zona 2.

SOLUCIÓN CONSTRUCTIVA ZONA 7				
	AISLACION EXTERIOR CON POLIESTIRENO EXPANDIDO 15 [kg/m <sup>3</sup> ] ESPESOR 110 [mm]	<b>COSTO [\$ /m<sup>2</sup>]</b>	<b>AHORRO ENERGÍA [%]</b>	<b>COSTO EFECTIVIDAD [\$ /kWh ahorrado]</b>
		\$ 42.963	42,15%	\$ 445
		<b>COSTO INVERSION [\$]</b>	<b>AHORRO ENERGÍA [\$ /AÑO]</b>	<b>PAYBACK [año]</b>
	\$ 3.126.840	\$ 1.247.727	2,5	

*Figura 45. Resumen final solución constructiva Zona 7.*

Según los resúmenes finales, los resultados nos indican que el ahorro de energía térmica en las dos zonas está por sobre el 30%, valores de ahorro bastante considerables para la economía del hogar.

Sin embargo, como podemos analizar, la implementación de esta solución trae mayores beneficios a la Zona 7, lógicamente por su exposición a temperaturas extremas que aumentan la demanda energética de la vivienda.

Si bien se puede ver que su inversión es mayor comparada con la misma solución constructiva para la Zona 2, su costo por el beneficio de cada [kWh] ahorrado es más rentable, \$ 445 por cada [kWh] ahorrado en Zona 7 versus \$ 1.139 por cada [kWh] ahorrado en la Zona 2.

Sin desestimar la solución de la Zona 2, se entiende que es una inversión a largo plazo, dado las condiciones climáticas de la zona, el gasto anual en el que incurre una familia en dar calefacción a su vivienda en condiciones básicas es un poco más de un tercio de lo que gasta una familia de la Zona 7 en calefaccionar la misma vivienda. Por lo que si bien cada [kWh] ahorrado en la

vivienda le cuesta \$ 1.139, lo cual es un indicador muy alto, sus gastos energéticos siempre van a ser más reducidos comparados con la Zona 7.

Finalmente, es una realidad que los programas sociales para familias emergentes de nuestro país permiten a estas adjudicarse fondos a través de un subsidio de Gobierno que los libera de los costos de inversión. En estos casos las familias ven reflejado el ahorro desde el momento que se ha terminado la obra, percibiendo este gasto como un activo a la canasta familiar.

En otros casos, queda a criterio de las familias según los costos de inversión y el ahorro de energía implementar una solución constructiva, que, si bien es una inversión a largo plazo, es una solución definitiva y duradera que traerá ahorro tantos años como exista la vivienda.

## 4 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

---

### 4.1 Conclusiones

#### **Eficiencia Energética y Ahorro:**

La implementación del sistema EIFS (Exterior Insulation and Finish System) en viviendas modelo de 63,67 m<sup>2</sup> demuestra un ahorro de energía térmica superior al 30% en ambas zonas analizadas.

La Zona 7, con temperaturas extremas, presenta mayores beneficios debido a su mayor demanda energética, mostrando una eficiencia superior en comparación con la Zona 2.

#### **Costo y Beneficio:**

En la Zona 7, el costo por cada [kWh] ahorrado es de \$ 445, lo que indica una mayor rentabilidad en comparación con la Zona 2, donde el costo por cada [kWh] ahorrado es de \$ 1.139.

A pesar del mayor costo inicial en la Zona 7, el costo por beneficio es más favorable, haciendo que la inversión sea más rentable en áreas con climas más extremos.

#### **Payback y Recuperación de la Inversión:**

La inversión en soluciones constructivas en la Zona 7 tiene un periodo de recuperación más corto (2,5 años) debido al alto gasto energético en calefacción en condiciones extremas.

En la Zona 2, aunque el costo por [kWh] ahorrado es más alto, los gastos anuales en calefacción son menores en comparación con la Zona 7, lo que indica una

recuperación de inversión más prolongada pero aún beneficiosa a largo plazo (6,2 años).

### **Consideraciones Económicas y Sociales:**

Los programas sociales y subsidios gubernamentales pueden facilitar la implementación del sistema EIFS en familias emergentes, permitiendo que los ahorros energéticos se reflejen de inmediato sin el peso de la inversión inicial.

Para familias sin subsidios, la decisión de adoptar esta solución constructiva dependerá de una evaluación detallada de los costos iniciales frente a los ahorros energéticos a largo plazo.

La solución constructiva con EIFS es una inversión a largo plazo que proporciona beneficios significativos en términos de ahorro energético y reducción de costos de calefacción.

La elección de implementación debe considerar las condiciones climáticas específicas de cada zona y los recursos financieros disponibles, así como la posibilidad de subsidios que pueden hacer más accesible la adopción de tecnologías eficientes en el hogar.

En resumen, la adopción del sistema EIFS ofrece una solución constructiva eficiente y rentable, especialmente en zonas con mayores demandas energéticas. El análisis detallado del costo-beneficio y el apoyo de programas sociales son factores clave para maximizar los beneficios de esta inversión.

## **4.2 Recomendaciones**

Para mejorar el estudio y proporcionar datos más precisos y completos considerando desarrollar próximos trabajos sobre la implementación de sistema EIFS como método de eficiencia energética a nivel domiciliario se recomienda:

1. Realizar un Modelo Térmico Diario: Utilizar simulaciones térmicas para modelar cómo varía la temperatura interior de la vivienda durante el día. Esto puede implicar el uso de software de simulación térmica que permita

introducir parámetros como la inercia térmica de los materiales de construcción, la exposición solar, y las condiciones climáticas exteriores.

2. **Análisis de Inercia Térmica:** Evaluar cómo la inercia térmica de los materiales de construcción, como el EIFS, afecta la regulación de la temperatura interior. La inercia térmica se refiere a la capacidad de los materiales para almacenar y liberar calor, lo cual puede influir en la estabilidad de la temperatura interior y en la eficiencia energética.

Incluir datos sobre la capacidad calorífica y la conductividad térmica de los materiales en el modelo. Realizar análisis para observar cómo los materiales con alta inercia térmica (como los sistemas EIFS) ayudan a mantener temperaturas interiores más estables.

3. **Simulación de Escenarios:** Simular diferentes escenarios de uso y condiciones climáticas para ver cómo el sistema EIFS y la inercia térmica afectan el comportamiento térmico de la vivienda en diversas situaciones, como días soleados, nublados o con cambios bruscos de temperatura.
4. **Confirmación de Datos con Mediciones Reales:** instalar sensores de temperatura en el exterior de los muros y en diferentes puntos dentro de la vivienda para obtener datos reales sobre la variación de temperatura.
5. **Registro de Datos:** Realizar un registro continuo de la temperatura exterior e interior durante un período representativo (por ejemplo, una semana o un mes) para captar variaciones diurnas y estacionales.

Incorporar estos enfoques en un próximo trabajo permitirá obtener una comprensión más completa de cómo el sistema EIFS y la inercia térmica influyen en la eficiencia energética y el confort interior, proporcionando resultados más robustos y aplicables a situaciones reales.

## 5 BIBLIOGRAFIA

---

- BCN. (2018). *Resolución 3800 Exenta*.
- Blender, M. (2015). *Maria Blender Arquitecta Consultora*. Obtenido de <https://mariablender.com/nch-853/>
- Cabello, A. (2011). *TEMPERATURAS Y GRADOS-DÍA DE CIUDADES DE CHILE PARA EL CÁLCULO DE PÉRDIDAS TÉRMICAS CON FINES DE AHORRO ENERGÉTICO EN EDIFICIOS HABITACIONALES*. Universidad de Chile.
- CGE. (octubre de 2024). *Compañía General de Electricidad Industrial S.A.* Obtenido de <https://www.cge.cl/>
- Corporación de Desarrollo Tecnológico. (2016). *Manual de (Re) acondicionamiento térmico*.
- Corporación de Desarrollo Tecnológico. (2019). *Informe final de usos de la energía de los hogares Chile 2018*.
- Corporación de Desarrollo Tecnológico. (2022). *EIFS: USO DEL SISTEMA EN CONSTRUCCIÓN SUSTENTABLE*.
- Corporación de Desarrollo Tecnológico, C., & CChC. (2015). *Manual Acondicionamiento térmicos Criterios de intervención*.
- Cristales, N. (2024). *Nevika*. Obtenido de [http://www.nevika.com/datos\\_tecnicos\\_dvh.html](http://www.nevika.com/datos_tecnicos_dvh.html)
- Franco, J. T. (2018). *archdaily*. Obtenido de archdaily: <https://www.archdaily.cl/cl/893327/que-es-eifs-o-como-disenar-un-sistema-de-aislacion-termica-exterior>
- FUNDAMENTA. (2018). *Reglamentación Térmica*. Cámara Chilena de la Construcción .
- Gexa. (2024). *Gexa Construcción*. Obtenido de <https://www.gexaconstruccion.cl/>
- Ministerio de Energía. (2020). *Bombas de calor Una guía para el usuario*.

- Ministerio de Energía. (2023). *Balance Nacional de Energía año 2022*.  
División de Políticas y Estudios Energéticos y Ambientales.
- Ministerio de Energía, & CDT. (2018). *Estudio de usos finales y curvas de oferta de conservación de la energía en el sector residencial de Chile*.
- Ministerio de Vivienda y Urbanismo. (1999). *Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones*.
- Ministerio de Vivienda y Urbanismo. (1999). *Planos Zonificación Térmica Chile*.
- Ministerio de Vivienda y Urbanismo. (2007). *Ordenanza General Urbanismo y Construcciones*.
- Ministerio de Vivienda y Urbanismo. (2019). *Solución Constructiva de Acondicionamiento Térmico en Muros Plan Descontaminación Atmosférica Talca - Maule*.
- Ministerio de Vivienda y Urbanismo. (2024). *Ministerio de Vivienda y Urbanismo*. Obtenido de [www.minvu.cl](http://www.minvu.cl)
- NCh 1960. (1989). *EQUIVALENCIAS DENSIDADES EPS*. Norma Chilena Oficial.
- NCh 853. (2007). *Tipbook*. Obtenido de <https://tipbook.iapp.cl/ak/7ba2f4bd8e4ba3715cad4afabda5061914006c38/embed/view/nch853#page/32>
- PDA Coyhaique. (2018). *SOLUCION CONSTRUCTIVA DE ACONDICIONAMIENTO TÉRMICO PDA COYHAIQUE*.
- PDA Coyhaique. (2019). *CUADRO COMPARATIVO OGUC - PDA COYHAIQUE. D.S. N°7 DE 25 DE ENERO DE 2018 DEL MINISTERIO DEL MEDIO AMBIENTE*.

# 6 ANEXOS

## 1. Cotizaciones de materiales EIFS.



**GEXA CONSTRUCCIÓN SPA**  
**RUT 76.494.606-5**  
**LISTA DE PRECIOS**  
**jun-24**

codigo	familia	ASIFICAC	descripcio	U	NETO	CON IV	CATEGORIAS
GC-CL	SE	EIFS	LIMPIADOR ESPUMA PU	UN	\$ 3.380	\$ 4.022	SISTEMA EIFS
GC-E01	EIFS	EIFS	GEXACO MALLA DE REFUERZO EIFS DE 1.22 X 45.7 MTS	UN	\$ 35.100	\$ 41.769	
GC-E02	EIFS	EIFS	GEXACO ESQUINERO 2.5 MTRS	UN	\$ 2.700	\$ 3.213	
GC-E03	EIFS	EIFS	GEXACO MALLA DE DETALLE PARA EIFS 0.1X45 MTRS	UN	\$ 3.200	\$ 3.808	
GC-E07	EIFS	EIFS	GEXACO PANEL FIX BOLSA DE 25 KILOS ADHESIVO	UN	\$ 10.400	\$ 12.376	
GC-E14	EIFS	EIFS	GEXACO PROHORMIGON	UN	\$ 13.500	\$ 16.065	
GC-E11	EIFS	EIFS	POLYEST PLANCHA 30X500X1000 MM DENS 20 KGS (20)	UN	\$ 1.080	\$ 1.285	
GC-E12	EIFS	EIFS	POLYEST PLANCHA 20X500X1000 MM DENS 20 KGS (30)	UN	\$ 720	\$ 857	
GC-E13	EIFS	EIFS	POLYEST PLANCHA 50X500X1000 MM DENS 20 KGS (12)	UN	\$ 1.980	\$ 2.356	
GC-E15	EIFS	EIFS	POLYEST PLANCHA 40X500X1000 MM DENS 20 KGS (15)	UN	\$ 1.450	\$ 1.726	
GC-E18	01	EIFS	PERFIL CORTAGOTERA	UN	\$ 2.950	\$ 3.511	
GC-E70	EIFS	EIFS	GEXACO ARANDELA FIJACION EIFS PARA EPS GRIS	UN	\$ 120	\$ 143	
GC-ESP04	SE	EIFS	ESPUMA POLIURETANO SOUDABOND EASY 750 ML	UN	\$ 8.250	\$ 9.818	
GC-ESP05	SE	EIFS	ESPUMA POLIURETANO SOUDABOND EASY GENIUS GUN 750 ML	UN	\$ 8.250	\$ 9.818	
GC-P01-MAD-10	PA	EIFS	GEXACO IMPRIMADOR MADERA BALDE 10 KILOS (EIFS)	UN	\$ 42.000	\$ 49.980	
GC-PAE	SE	EIFS	PISTOLA APLICADORA ESPUMA 60 SEG	UN	\$ 17.000	\$ 20.230	
GE-6080	EIFS	EIFS	GEXACO ELASTO LATEX SIN DEFINIR COLOR	UN	\$ 30.000	\$ 35.700	
GP-FACHADA	EIFS	EIFS	GEXACO PINTURA, LATEX SIN DEFINIR COLOR	UN	\$ 27.600	\$ 32.844	
LINAG30-BL	PINTURA	EIFS	GEXALINA SIN DEFINIR COLOR NO ELASTOMERICA (G10, 20, 30)	UN	\$ 24.600	\$ 29.274	
SW-CLIENTE	EIFS	EIFS	GEXACO PANEL FINISH SIN DEFINIR COLOR	UN	\$ 31.500	\$ 37.485	
SW-ELAS-ES	EIFS	EIFS	GEXACO ELASTO ESMALTE SIN DEFINIR COLOR 25KGS	UN	\$ 55.000	\$ 65.450	
SW-ESM-AGUA	EIFS	EIFS	GEXACO PINTURA ESMALTE AL AGUA SIN DEFINIR COLOR	UN	\$ 55.000	\$ 65.450	



**FERRETERIAS DEL SUR**  
 FERRETERIAS DEL SUR SPA / COMPRA VENTA - DISTRIBUCIÓN E IMPORTACIÓN  
 DE PRODUCTOS DE FERRETERIA, HERRAMIENTAS Y EQUIPOS MATERIALES DE  
 CONSTRUCCIÓN Y PRODUCTOS PARA EL HOGAR  
 Q.C. MATRIZ: AV. JOSE MIGUEL CARRERA N° 8580 ☎ 22 558 4402 - 22 558 3356 / LA CISTERNA.  
 P. SUBURBAL: FERRETERIA SALITRE 10 ☎ 24 364 1488 / LA VILLA.

**COTIZACION**  
**FERRETERIA DEL SUR SPA**  
**76.273.341-2**  
**SALITRE 10**

<b>RUT Cliente</b> : 76.470.479-7	<b>N° NVV</b> : VL00006408
<b>Razón Social</b> : ICUFER CONSTRUCCIONES LIMITADA	<b>FECHA</b> : 24 Junio 2024
<b>Dirección</b> : CAMINO VICHICULEN 37-B SECTO	
<b>E-mail</b> :	
<b>Telefono</b> : 0	
<b>Contacto</b> :	

CANT.	CODIGO	DESCRIPCION	UN.	P. UNIT	TOTAL
1,00	0629103-03030	PL. AISLAPOL 0.50 X 1.00 X 50 MM	PL	920	1.095
1,00	0629103-03027	PL. AISLAPOL 0.50 X 1.00 X 20 MM	PL	361	430
1,00	0629103-03028	PL. AISLAPOL 0.50 X 1.00 X 30 MM	PL	534	635