



**UNIVERSIDAD DEL BÍO-BÍO**  
**FACULTAD DE ARQUITECTURA, CONSTRUCCIÓN Y DISEÑO**

ESTÁNDARES DE AISLACIÓN TÉRMICA BAJO CRITERIOS DE RENTABILIDAD SOCIAL Y ANÁLISIS DE COSTO DE CICLO DE VIDA DE LA CONSTRUCCIÓN HABITACIONAL: PROPUESTA PARA LA CIUDAD DE CONCEPCIÓN, CHILE.

**TESIS PARA OPTAR AL GRADO DE MAGÍSTER EN HÁBITAT SUSTENTABLE Y EFICIENCIA  
ENERGÉTICA**

**AUTOR: MANUEL INOSTROZA PINARES**

**Arquitecto**

**PROFESOR GUÍA: Dr. Ariel Bobadilla**

**PROFESOR CO-GUÍA: Dr. Alexis Pérez**

**CONCEPCIÓN, marzo de 2018**

A mi Familia: mi Padre, mi Madre y Hermana;

Por su incondicional apoyo.

A Bárbarita;

Por su amor y ayuda en todo momento.

A mi hermano y abuelos;

Por siempre acompañarme.

## Resumen

Se informa los resultados de una investigación conducente a definir y proponer nuevos estándares de aislación térmica para regir el diseño de envolvente de construcciones habitacionales en la ciudad de Concepción, Chile.

La presente investigación trata sobre los estándares de aislación térmica de la construcción habitacional en la ciudad de Concepción. Los actuales estándares de cumplimiento obligatorio de aislación térmica para viviendas en la ciudad de Concepción no son compatibles con las necesidades de uso mínimo óptimo de energía que demanda la sociedad actualmente. El consumo de energía en acondicionamiento térmico de viviendas, por concepto de calefacción principalmente, les irroga a las familias y al estado altos costos energéticos, es responsable además de serios problemas de contaminación ambiental. Existe un nutrido cuerpo normativo de estándares propuestos para resolver esta situación, sin embargo, estas no han logrado llegar a ser de uso obligatorio ni menos reemplazar los estándares que rigen actualmente.

Se propone definir y validar nuevos estándares de aislación térmica para envolventes de construcciones habitacionales en la ciudad de Concepción considerando criterios de rentabilidad social y análisis de costo de ciclo de vida para limitar la demanda de energía a valores mínimo óptimos aceptables socialmente, como se impone en las sociedades modernas más avanzadas.

Con ese objetivo se definen y estudian viviendas representativas de la construcción habitacional de la ciudad, las cuales se simularon para conocer su consumo energético y realizar análisis de costo de ciclo de vida en fase operación en condición base (estado con estándares actuales) y en condición propuesta (estado con nuevos estándares).

El trabajo concluye que la incorporación de los estándares propuestos genera cortos periodos de recuperación de la inversión, cumpliendo con el criterio rector establecido, además de generar importantes reducciones en el consumo energético, bajos incrementos de costos de inversión y grandes ahorros en el consumo energético anual. Finalmente se realiza un análisis comparado de las distintas propuestas de mejoramiento de la cual se deduce aquella que genera los mayores índices de rentabilidad y mejor relación costo-eficiencia.

**Palabras claves:** Estándar, Aislación térmica, Vivienda, Costo de ciclo de vida y Rentabilidad social.

## Abstract

It is reported on the research results conducive to define and propose new insulation standards to regulate the design of covering on home construction in Concepcion City, Chile.

The present research would inform us about the insulation standards on housing construction in Concepcion City. The current obligatory-fulfillment standards of insulation for housing in Concepcion City are not compatible with the needs of optimal-minimum use of energy that the current society demands. The energy consumption in housing insulation, under calefaction mainly, steals from families and cost the state a lot in energy. Besides it is responsible for serious problems of environmental contamination. It exists a large standards body of laws recommended to solve this situation. However these have not become obligatory use but they should be strongly considered to replace the standards that are in place.

It is proposed to define and validate new insulation standards for covering of housing construction in Concepcion City evaluating criterions for social benefit and analysis of cost of the cycle life to limit the energy demand to optimum minimum values acceptable socially, as it is applied in the most advanced modern societies.

With that objective representatives homes of the housing construction of the city are defined and studied which were simulated to know their energy consumption and carry out cost analysis of life cycle. During operational phase on base condition (state with current standards) and during proposed condition (state with new standards).

The work concludes that the incorporation of the proposed standards produces short periods of invest recovery accomplishing with the main established criterion. Besides producing important saves in the energy consumption, low increases of investment costs and big saves in the energy consumption a year. Finally as you can see this compared analysis of the different proposals of improvement of which is deduced, which one produce the most beneficial indexes and best cost-efficiency relation.

Key words: standard, insulation, housing, life Cycle Costing and social rentability.

## GLOSARIO

**Análisis de Costo de ciclo de vida:** Herramienta para la evaluación del costo total de transformación de un activo con el tiempo, incluyendo la adquisición, operación, mantenimiento y costos de desconstrucción, es decir, de la cuna a la tumba. Su uso principal es la evaluación de diferentes opciones para alcanzar los objetivos de un determinado proyecto, donde las alternativas no sólo difieren en sus costos iniciales, sino también en sus costos operativos posteriores.

**Aislación térmica:** Capacidad de oposición al paso de calor de un elemento o conjunto de elementos, y que en construcción se refiere esencialmente al intercambio de energía calórica entre el ambiente interior y el exterior.

**Consumo energético:** Es la energía necesaria para satisfacer la demanda energética de los servicios de calefacción, refrigeración, ACS y, en edificios de uso distinto al residencial privado, de iluminación, del edificio, teniendo en cuenta la eficiencia de los sistemas empleados. En el contexto de este documento, se expresa en términos de energía primaria y en unidades kWh/m<sup>2</sup> año, considerada la superficie útil de los espacios habitables del edificio.

**Complejo de muro:** Conjunto de elementos constructivos que lo conforman, tales como estructura, revestimiento exterior e interior, aislación térmica y cuyo plano de terminación interior tenga una inclinación de más de 60º sexagesimales, medidos desde la horizontal.

**Complejo de piso:** Conjunto de elementos constructivos que lo conforman tales como estructura, revestimiento de piso, aislación térmica y de la humedad, ya sea piso ventilado o piso en sótano. Los planos inclinados inferiores de escaleras o rampas que estén en contacto con el exterior también se considerarán como pisos.

**Complejo de techumbre:** Conjunto de elementos constructivos que lo conforman tales como cielo, cubierta, aislación térmica, cadenetas, vigas y cuyo cielo tenga una inclinación de 60º sexagesimales o menos medidos desde la horizontal

**Complejo de ventana:** Conjunto de elementos constructivos que conforman los vanos traslúcidos de la edificación, tales como marco y panel vidriado (practicable o no) y que forman parte de los complejos de muros, puertas, pisos o techumbre.

**COP (Coeficiente de Performance):** Eficiencia de un sistema, representa la razón entre el calor suministrado al ambiente a calefaccionar y el trabajo suministrado a la máquina.

**Demanda energética:** Es la energía necesaria para mantener en el interior del edificio unas condiciones de confort definidas reglamentariamente en función del uso del edificio y de la zona climática en la que se ubique. Se compone de la demanda energética de calefacción y refrigeración, correspondientes a los meses de la temporada de calefacción y refrigeración respectivamente.

**Edificación de uso residencial:** Edificio o zona destinada a alojamiento permanente, cualquiera que sea el tipo de edificio: vivienda unifamiliar, edificio de pisos o de apartamentos, etc.

**Envolvente térmica:** Se compone de los cerramientos del edificio que separan los recintos habitables del ambiente exterior y las particiones interiores que separan los recintos habitables de los no habitables que a su vez estén en contacto con el ambiente exterior.

**Estándar:** Nivel de desempeño establecido como referencia para las exigencias definidas a considerar en una vivienda o alguna de sus partes, siendo lo óptimo para el clima en el cual se emplaza.

**Hermeticidad al aire:** Característica física de la envolvente que describe su capacidad para oponerse a las infiltraciones. Está relacionada con la materialidad de la envolvente y la calidad de la ejecución.

**Infiltración de aire:** Ingreso de aire a un recinto en forma indeseada a través de grietas, intersticios propios de los elementos que conforman la envolvente, causado por presiones de viento o diferencias en la densidad del aire interior y exterior. Normalmente se asocia a pérdidas de energía al intercambiar aire acondicionado por aire exterior.

**Inversión:** Acto mediante el cual se adquiere ciertos bienes con el ánimo de obtener ingresos, rentas o beneficios a lo largo del tiempo.

**Ordenanza General de Urbanismo y Construcción (OGUC):** Reglamento de la Ley General de Urbanismo y Construcciones y contiene las disposiciones reglamentarias de la ley, regula los procedimientos administrativos, el proceso de la planificación urbana, la urbanización de los

terrenos, la construcción y los estándares técnicos de diseño y construcción exigibles en la urbanización y la construcción.

**Rentabilidad social:** Valor que los proyectos aportan a la sociedad como beneficios a adquirir una vez se ejecuten y se pongan en marcha. Esta rentabilidad puede ser positiva independientemente de si la rentabilidad económica del proyecto lo es o no.

**Simulación:** Modelización de un edificio o conjunto de edificios y su entorno para analizar su comportamiento en términos de intercambio de energía, emisiones de CO<sub>2</sub>, cargas del sistema, insolación de las superficies envolventes, recorrido de las sombras, entre otros. Con estos cálculos se puede estimar el comportamiento de un edificio o conjunto de edificios en términos de sostenibilidad.

**Transmitancia Térmica** También conocido como valor U, se refiere al flujo de calor que pasa por unidad de área de un elemento constructivo y por el grado de diferencia de temperatura entre dos ambientes que se encuentran separados por dicho elemento.

**Ventilación:** Proceso de renovación del aire de los locales para limitar el deterioro de su calidad, desde el punto de vista de su composición, que se realiza mediante entrada de aire exterior y evacuación de aire viciado.

**Vivienda Base:** Edificación que cumple con los estándares indicados de Levantamiento de información en viviendas de la Región del Biobío. Vivienda la cual sirve de línea de base para apreciar costos y desempeños energéticos de propuestas de mejora planteadas.

**Vivienda Mejorada:** Edificación que tiene la misma situación de emplazamiento, orientación y tamaño que la edificación base, pero que incorpora propuestas de mejora de estándares para limitar a valores uso mínimo óptimo el consumo energético en acondicionamiento térmico.

## Índice

|   |    |
|---|----|
| CAPITULO 1: INTRODUCCIÓN .....  | 1  |
| 1.1 Hipótesis.....  | 3  |
| 1.2 Objetivo General .....  | 3  |
| 1.3 Preguntas de Investigación.....   | 3  |
| 1.4 Objetivos Específicos .....   | 4  |
| 1.5 Metodología Propuesta .....   | 5  |
| CAPITULO N°2: CALIDAD ENERGÉTICA DE LA CONSTRUCCIÓN HABITACIONAL EN CHILE .....   | 7  |
| 2.1 Ley General de Urbanismo y Construcción de Chile (L.G.U.C) .....  | 8  |
| 2.2 La Reglamentación Térmica de Viviendas en Chile.....  | 10 |
| 2.2.1 Evolución de las Regulaciones en Materia Energética de la vivienda en Chile: .....  | 11 |
| 2.2.2 Normas técnicas vinculadas al comportamiento energético de viviendas en Chile.....  | 11 |
| 2.3 Limitaciones de la Reglamentación Térmica.....  | 19 |
| 2.3.1 Estándar aislación térmica de la envolvente .....   | 19 |
| 2.3.2 Zonificación térmica: .....   | 21 |
| 2.3 Normas en Estudio .....   | 24 |
| 2.3.1 Normas Técnicas Minvu (NTM) .....   | 27 |
| 2.3.2 Estándares de Construcción Sustentable para Viviendas de Chile (ECSV) .....   | 32 |
| 2.3.3 Planes de Prevención y Descontaminación Atmosférica (PPDA) .....  | 36 |
| 2.3.4 Proyecto Innova: Innovaciones de los procesos de diseño y fiscalización de obras de construcciones habitacionales administradas por el servicio de la vivienda y urbanismo de la región del Biobío 15.244-in.iip..... | 39 |
| 2.3.5 ¿Por qué no se han oficializado los estándares de estas normativas?.....  | 42 |
| CAPITULO 3: RENTABILIDAD SOCIAL Y ANÁLISIS DE COSTO DE CICLO DE VIDA.....   | 44 |
| 3.1 Rentabilidad Social .....   | 44 |
| 3.2 Análisis de Costo de Ciclo de Vida .....  | 47 |

|  |  |     |
|--|--|-----|
| 3.2.1  | Cálculo de Costo de Ciclo de Vida.....   | 51  |
| 3.2.2  | Ejemplos metodologías de evaluación de Rentabilidad Social y Análisis de Costo de Ciclo de Vida..... | 53  |
| CAPITULO 4: CONSTRUCCIÓN HABITACIONAL EN CONCEPCIÓN..... |  | 56  |
| 4.1  | Construcción Habitacional en Chile.....  | 56  |
| 4.1.1  | Materialidad predominante construcción habitacional.....   | 56  |
| 4.1.2  | Comportamiento energético.....   | 61  |
| 4.1.3  | Aislación térmica.....   | 66  |
| 4.1.4  | Hermeticidad.....  | 67  |
| 4.2  | Construcción habitacional en Concepción.....   | 68  |
| 4.2.1  | Levantamiento de muestra construcción habitacional Concepción.....                                   | 70  |
| 4.2.2  | Clima Concepción.....  | 73  |
| 4.2.1.1  | Análisis Climat Consultant.....  | 73  |
| CAPITULO 5: METODOLOGÍA.....                             |  | 77  |
| 5.1  | Enfoque metodológico.....  | 78  |
| 5.1.1  | Vivienda Base 1 (V1), Vivienda de madera de una planta.....  | 78  |
| 5.1.2  | Vivienda Base 2 (V2), Vivienda de madera o metalcon de dos plantas.....                              | 81  |
| 5.1.3  | Vivienda Base 3 (V3), Vivienda de albañilería y madera de dos plantas.....                           | 83  |
| 5.2  | Definición Estándares.....   | 85  |
| 5.2.1  | Zonificación Higrotérmica.....   | 86  |
| 5.2.2  | Estándares para limitar a valores de uso mínimo óptimo el consumo energético de calefacción.....     | 89  |
| 5.2.3  | Especificación de Estándares a Evaluar.....  | 98  |
| 5.3  | Simulaciones Energéticas.....  | 103 |
| 5.3.1  | Input de Simulación.....   | 106 |
| 5.4  | Análisis Costo de Ciclo de Vida.....   | 110 |

|  |  |     |
|--|--|-----|
| 5.4.1  | Supuesto de evaluación.....  | 111 |
| 5.4.2  | Indicadores económicos considerados.....   | 112 |
| 5.4.3  | Cálculo de costo de ciclo de vida.....   | 113 |
| CAPITULO 6: RESULTADOS Y ANÁLISIS.....                   |  | 117 |
| 6.1  | Consumo Energético.....  | 117 |
| 6.2  | Análisis Costo de Ciclo de Vida.....   | 120 |
| 6.2.1  | Costos de inversión inicial.....   | 120 |
| 6.2.2  | Costos de inversión inicial por propuestas de mejora.....  | 123 |
| 6.2.3  | Análisis de Costo de Ciclo de Vida.....  | 127 |
| 6.2.4  | Periodo de recuperación de la inversión ponderado.....   | 130 |
| CAPITULO 7: ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS..... |  | 132 |
| 7.1  | Consumo anual de energía eléctrica para calefacción frente al periodo de recuperación de la inversión..... | 133 |
| 7.2  | Consumo anual de energía eléctrica para calefacción frente al incremento de inversión inicial 135          |     |
| 7.3  | Ahorro consumo anual frente al incremento costo de inversión inicial.....                                  | 138 |
| 7.4  | Ahorro consumo anual frente al periodo de recuperación de la inversión.....                                | 141 |
| CAPITULO 8: CONCLUSIONES.....                            |  | 146 |
| ANEXOS A: CALCULO ANÁLISIS COSTO DE CICLO DE VIDA.....   |  | 152 |
| REFERENCIAS.....   |  | 176 |
| BIBLIOGRAFÍA.....  |  | 179 |

**FIGURAS**

|  |    |
|--|----|
| Figura 1: Normas de aplicación obligatoria para la construcción de viviendas en Chile.....                 | 9  |
| Figura 2 Zonificación Climática de Chile .....   | 16 |
| Figura 3: Zonificación de Grados Días de Calefacción a Nivel Comunal en Región del Bío Bío. ....           | 22 |
| Figura 4: Normas Vigentes por País.....  | 25 |
| Figura 5: Propuesta de Nueva Subdivisión Territorial .....   | 29 |
| Figura 6: Concepto de Sustentabilidad Edificios (EN - UNE 15978) .....                                     | 45 |
| Figura 7: Alcance de la Influencia sobre los Costos del Ciclo de Vida en el Tiempo. ....                   | 50 |
| Figura 8: Porcentaje de Representatividad de Materialidades por Zonas Térmicas.....                        | 58 |
| Figura 9: Distintas Soluciones Tecnológicas para Envoltentes en el Mercado Nacional .....                  | 59 |
| Figura 10: Distribución Porcentual de Materialidad Predominante en Muros en Edificación Habitacional. .... | 60 |
| Figura 11: Consumo Energético por Sector en Chile .....  | 62 |
| Figura 12: Uso de la Energía en el sector Residencial en Chile año 2011 .....                              | 63 |
| Figura 13: Construcciones Materializadas con Subsidio en la Región del Biobío.....                         | 71 |
| Figura 14: Proyectos Ejecutados en la Región del Biobío entre 2010 y 2015 .....                            | 72 |
| Figura 15: Porcentaje de participación tipologías de vivienda en la ciudad de Concepción. ....             | 72 |
| Figura 16: Rango de Temperaturas Concepción. ....  | 73 |
| Figura 17: Rango Mensual de Temperaturas y Radiación Solar.....  | 74 |
| Figura 18: Rango de Velocidad de Viento.....   | 75 |
| Figura 19: Rosa de los Vientos.....  | 75 |
| Figura 20: Temperatura Bulbo Seco y Temperatura de Punto de Rocío.....                                     | 76 |
| Figura 21: Metodología a emplear .....   | 77 |
| Figura 22: Caso V1 modelada en Design Builder .....  | 79 |
| Figura 23: Caso V2 modelada en Design Builder .....  | 81 |
| Figura 24: Caso V3 modelada en Design Builder .....  | 83 |

|  |     |
|--|-----|
| Figura 25: Niveles de Jerarquía Modelo NKB .....   | 85  |
| Figura 26: Zonificación Higrotérmica.....  | 87  |
| Figura 27: Combinaciones Paramétricas realizadas en Design Builder para Vivienda 1 .....   | 104 |
| Figura 28: Combinaciones Paramétricas realizadas en Design Builder para Vivienda 2 .....   | 105 |
| Figura 29: Combinaciones Paramétricas realizadas en Design Builder para Vivienda 3 .....   | 105 |
| Figura 30: Horario de Ocupación Lunes – Viernes.....   | 107 |
| Figura 31: Horario de Ocupación Sábado y Domingo .....   | 107 |
| Figura 32: Horario de Uso de Equipos Lunes. – Viernes .....  | 108 |
| Figura 33: Horario de Uso de Equipos Sábado y Domingo .....  | 108 |
| Figura 34: Horario de Uso de Iluminación Artificial Lunes – Viernes .....  | 109 |
| Figura 35: Horario de Uso de Iluminación Artificial Sábado y Domingo .....   | 109 |
| Figura 36: Consumo de Energía Eléctrica para Calefacción frente al Periodo de Recuperación de la Inversión, Vivienda 1 .....       | 133 |
| Figura 37: Consumo de Energía Eléctrica para Calefacción frente al Periodo de Recuperación de la Inversión, Vivienda 2 .....       | 133 |
| Figura 38: Consumo de Energía Eléctrica para Calefacción frente al Periodo de Recuperación de la Inversión, Vivienda 3 .....       | 134 |
| Figura 39: Consumo Anual de Energía Eléctrica para Calefacción frente al Incremento de Costo de Inversión Inicial, Vivienda 1..... | 135 |
| Figura 40: Consumo Anual de Energía Eléctrica para Calefacción frente al Incremento de Costo de Inversión Inicial, Vivienda 2..... | 136 |
| Figura 41: Consumo Anual de Energía Eléctrica para Calefacción frente al Incremento de Costo de Inversión Inicial, Vivienda 3..... | 136 |
| Figura 42: Ahorro Consumo Anual frente al Incremento Costo de Inversión Inicial, Vivienda 1 ....                                   | 138 |
| Figura 43: Ahorro Consumo Anual frente al Incremento Costo de Inversión Inicial, Vivienda 2 ....                                   | 139 |
| Figura 44: Ahorro Consumo Anual frente al Incremento Costo de Inversión Inicial, Vivienda 3 ....                                   | 139 |
| Figura 45: Ahorro Consumo Anual frente al Periodo de Recuperación de la Inversión, Vivienda 1 .....                                | 141 |

|   |     |
|---|-----|
| Figura 46: Ahorro Consumo Anual frente al Periodo de Recuperación de la Inversión, Vivienda 2 ..... | 141 |
| Figura 47: Ahorro Consumo Anual frente al Periodo de Recuperación de la Inversión, Vivienda 3 ..... | 142 |

## TABLAS

|   |    |
|---|----|
| Tabla 1: Descripción y Límites de Zonas. ....   | 17 |
| Tabla 2: Valores Máximos de Transmitancia Térmica de la Envolvente. ....  | 18 |
| Tabla 3: Transmitancias Térmicas Máximas. ....  | 19 |
| Tabla 4: Oscilación Térmica, Temperatura Media y Grados Día Mensuales base 15°C. ....   | 23 |
| Tabla 5: Estándares de Transmitancia Térmica de Complejos Muros de Envolvente Valor U (W/m <sup>2</sup> K). Recomendaciones según distintas fuentes para Chile.....                         | 26 |
| Tabla 6: Transmitancia Térmica "U" Máxima y Resistencia Térmica "Rt" para Complejo de Techumbre, Muro, Piso Ventilado y Puerta en Edificaciones de uso Residencial, Educación y Salud ..... | 28 |
| Tabla 7: Transmitancia Térmica "U" Máxima y Resistencia Térmica "Rt" Mínima para Complejo de Ventanas en Edificaciones en Educación y Salud .....   | 30 |
| Tabla 8: Porcentaje Máximo de Superficie de Complejo Ventana por Orientación en Edificaciones de uso Residencial.....   | 30 |
| Tabla 9: Clase de Infiltración de Aire Máxima permitida para la Envolvente Térmica de las Edificaciones de uso Residencial, Educación y Salud, excluyendo los Complejos Puerta y Ventana 31 |    |
| Tabla 10: Grados de Estanqueidad al Aire Mínima para los Complejos de Puerta y Ventana de las Edificaciones de es Residencial, Educación y Salud .....                                      | 32 |
| Tabla 11: Requerimientos Máximos de la Demanda de Enfriamiento para Vivienda Aislada por Zona Térmica.....  | 34 |
| Tabla 12: Valores de Transmitancia Térmica U (w/(m <sup>2</sup> k)) .....   | 35 |
| Tabla 13: Valores de Transmitancia Térmica para Envolvente Transparente según Zona Térmica ..   | 35 |
| Tabla 14: Porcentaje Máximo de Superficie Vidriada por Orientación según Transmitancia Térmica recomendadas por Zonas .....   | 36 |

|  |    |
|--|----|
| Tabla 15: Situación de Planes de Descontaminación Atmosférica .....  | 38 |
| Tabla 16: Estándares de Aislación Térmica según PPDA Concepción .....  | 39 |
| Tabla 17: Estándares de Transmitancia Térmica para evitar Riesgo de Condensación según Proyecto INNOVA 15.244-IN.IIP .....                                 | 41 |
| Tabla 18: Estándares de Diseño Higrotérmico, Región del Biobío .....   | 42 |
| Tabla 19: Tipo o Clase de Riesgo de Ocurrencia de Condensación .....   | 42 |
| Tabla 20: Estándares Normativos ACCV .....   | 49 |
| Tabla 21: Sistemas y Materiales Predominantes de la Construcción Habitacional de Nivel Nacional. ....  | 57 |
| Tabla 22: Demanda Energética de Construcciones Habitacionales. ....  | 64 |
| Tabla 23: Tipo de Viviendas que conforman la Muestra. ....   | 65 |
| Tabla 24: Línea Base de Infiltraciones de Aire de Construcción Habitacional en Chile por Materialidad Predominante en Muros. Fuente: Fondef D10 I1025..... | 68 |
| Tabla 25: Descripción General y Descripción Sistemas Constructivos de V1 .....   | 80 |
| Tabla 26: Descripción General y Descripción Sistemas Constructivos de V2 .....   | 82 |
| Tabla 27: Descripción General y Descripción Sistemas Constructivos de Caso V3 .....  | 84 |
| Tabla 28: Zonificación Higrotérmica Región del Bío Bío .....   | 88 |
| Tabla 29: Estándares de Aislación Térmica de Elementos de Envolverte Perimetral.....   | 90 |
| Tabla 30: Valores Límites de Hermeticidad al Aire por Provincia .....  | 91 |
| Tabla 31: Comparación de Estándares de Transmitancia Térmica de OGUC, Vivienda Base V1.M1.T1.PC6, NTM11, ECSV, PPDA, Innova y Estándar Propuesto.....      | 92 |
| Tabla 32: Comparación de Estándares de Transmitancia Térmica de OGUC, Vivienda Base V1.M3.T1.PC6, NTM11, ECSV, PPDA, Innova y Estándar Propuesto.....      | 92 |
| Tabla 33: Comparación de Estándares de Transmitancia Térmica de OGUC, Vivienda Base V1.M4.T1.PC6, NTM11, ECSV, PPDA, Innova y Estándar Propuesto.....      | 92 |
| Tabla 34: Comparación de Estándares de Transmitancia Térmica de OGUC, Vivienda Base V1.M1.T1.PV1, NTM11, ECSV, PPDA, Innova y Estándar Propuesto.....      | 93 |
| Tabla 35: Comparación de Estándares de Transmitancia Térmica de OGUC, Vivienda Base V1.M3.T1.PV1, NTM11, ECSV, PPDA, Innova y Estándar Propuesto.....      | 93 |

|  |     |
|--|-----|
| Tabla 36: Comparación de Estándares de Transmitancia Térmica de OGUC, Vivienda Base V1.M4.T1.PV1, NTM11, ECSV, PPDA, Innova y Estándar Propuesto.....          | 93  |
| Tabla 37: Comparación de estándares de Transmitancia Térmica de OGUC, Vivienda Base V2.M1.T1.PC6, NTM 11, ECSV, PPDA, Innova y Estándar Propuesto .....        | 94  |
| Tabla 38: Comparación de estándares de Transmitancia Térmica de OGUC, Vivienda Base V2.M3.T1.PC6, NTM 11, ECSV, PPDA, Innova y Estándar Propuesto .....        | 94  |
| Tabla 39: Comparación de estándares de Transmitancia Térmica de OGUC, Vivienda Base V2.M1.T2.PC6, NTM 11, ECSV, PPDA, Innova y Estándar Propuesto .....        | 94  |
| Tabla 40: Comparación de estándares de Transmitancia Térmica de OGUC, Vivienda Base V2.M3.T2.PC6, NTM 11, ECSV, PPDA, Innova y Estándar Propuesto .....        | 95  |
| Tabla 41: Comparación de estándares de Transmitancia Térmica de OGUC, Vivienda Base V3.M5P1.M1P2.T1.PC6, NTM 11, ECSV, PPDA, Innova y Estándar Propuesto ..... | 95  |
| Tabla 42: Comparación de estándares de Transmitancia Térmica de OGUC, Vivienda Base V3.M5P1.M3P2.T1.PC6, NTM 11, ECSV, PPDA, Innova y Estándar Propuesto ..... | 96  |
| Tabla 43: Medidas asociadas con la Reducción de Transmitancia Térmicas y Hermeticidad, Vivienda Base 1 (V1) / Caso V1.M1.T1.PC6 .....                          | 98  |
| Tabla 44: Medidas asociadas con la Reducción de Transmitancia Térmicas y Hermeticidad, Vivienda Base 1 (V1) / Caso V1.M3.T1.PC6 .....                          | 98  |
| Tabla 45: Medidas asociadas con la Reducción de Transmitancia Térmicas y Hermeticidad, Vivienda Base 1 (V1) / Caso V1.M4.T1.PC6 .....                          | 98  |
| Tabla 46: Medidas asociadas con la Reducción de Transmitancia Térmicas y Hermeticidad, Vivienda Base 1 (V1) / Caso V1.M1.T1.PV1 .....                          | 99  |
| Tabla 47: Medidas asociadas con la Reducción de Transmitancia Térmicas y Hermeticidad, Vivienda Base 1 (V1) / Caso V1.M3.T1.PV1 .....                          | 99  |
| Tabla 48: Medidas asociadas con la Reducción de Transmitancia Térmicas y Hermeticidad, Vivienda Base 1 (V1) / Caso V1.M4.T1.PV1 .....                          | 99  |
| Tabla 49: Medidas asociadas con la Reducción de Transmitancia Térmicas y Hermeticidad, Vivienda Base 2 (V2) / Caso V2.M1.T1.PC6 .....                          | 99  |
| Tabla 50: Medidas asociadas con la Reducción de Transmitancia Térmicas y Hermeticidad, Vivienda Base 2 (V2) / Caso V2.M3.T1.PC6 .....                          | 100 |
| Tabla 51: Medidas asociadas con la Reducción de Transmitancia Térmicas y Hermeticidad, Vivienda Base 2 (V2) / Caso V2.M1.T2.PC6 .....                          | 100 |

|   |     |
|---|-----|
| Tabla 52: Medidas asociadas con la Reducción de Transmitancia Térmicas y Hermeticidad, Vivienda Base 2 (V2) / Caso V2.M3.T2.PC6 .....   | 100 |
| Tabla 53: Medidas asociadas con la Reducción de Transmitancia Térmicas y Hermeticidad, Vivienda Base 3 (V3) / Caso V3.M5P1.M1P2.T1.PC6.....   | 100 |
| Tabla 54: Medidas asociadas con la Reducción de Transmitancia Térmicas y Hermeticidad, Vivienda Base 3 (V3) / Caso V3.M5P1.M3P2.T1.PC6.....   | 101 |
| Tabla 55: Sistema de Ventilación Natural.....   | 101 |
| Tabla 56: Sistema de Ventilación Mecánica .....   | 102 |
| Tabla 57: Línea Base de Hermeticidad y Desviación Estándar para la Edificación Habitacional .....   | 106 |
| Tabla 58: Consumo Energético Caso Vivienda Base 1 .....   | 117 |
| Tabla 59: Consumo Energético Propuesta de Mejora Vivienda 1.....  | 117 |
| Tabla 60: Consumo Energético Caso Vivienda Base 2 .....   | 118 |
| Tabla 61: Consumo Energético Propuesta de Mejora Vivienda 2.....  | 118 |
| Tabla 62: Consumo Energético Caso Vivienda Base 3 .....   | 118 |
| Tabla 63: Consumo Energético Propuesta de Mejora Vivienda 3.....  | 118 |
| Tabla 64: Costos de Inversión Inicial para Envoltente Térmica de Viviendas base 1, 2 y 3 (UF/m <sup>2</sup> ) .....   | 120 |
| Tabla 65: Costos de Inversión Inicial para Aislación Térmica, Sellado de la Envoltente para Hermeticidad de Vanos, en función de la exigencia de la Hermeticidad de Propuesta de Mejora Vivienda 1 (UF/m <sup>2</sup> ).....  | 121 |
| Tabla 66: Costos de Inversión Inicial para Aislación Térmica, Sellado de la Envoltente para Hermeticidad de Vanos, en función de la exigencia de la Hermeticidad de Propuesta de Mejora Vivienda 2 (UF/m <sup>2</sup> ) ..... | 121 |
| Tabla 67: Costos de Inversión Inicial para Aislación Térmica, Sellado de la Envoltente para Hermeticidad de Vanos, en función de la exigencia de la Hermeticidad de Propuesta de Mejora Vivienda 3 (UF/m <sup>2</sup> ).....  | 122 |
| Tabla 68: Costos Iniciales para Dispositivos de Ventilación Natural y Mecánica (UF) .....   | 122 |
| Tabla 69: Costos e Incrementos de Inversión Inicial por Paquete para Vivienda Base 1 y Casos Mejorados sobre esta (UF).....   | 124 |

|   |     |
|---|-----|
| Tabla 70: Costos e Incrementos de Inversión Inicial por Paquete para Vivienda Base 2 y Casos Mejorados sobre esta (UF).....   | 125 |
| Tabla 71: Costos e Incrementos de Inversión Inicial por Paquete para Vivienda Base 3 y Casos Mejorados sobre esta (UF).....   | 126 |
| Tabla 72: Costo Ciclo de Vida por Paquete de Mejora para Vivienda Base 1 y Propuesta de Mejora, Diferencia con respecto a Vivienda Base y Periodo de Retorno de la Inversión..... | 128 |
| Tabla 73: Costo Ciclo de Vida por Paquete de Mejora para Vivienda Base 2 y Propuesta de Mejora, Diferencia con respecto a Vivienda Base y Periodo de Retorno de la Inversión..... | 128 |
| Tabla 74: Costo Ciclo de Vida por Paquete de Mejora para Vivienda Base 3 y Propuesta de Mejora, Diferencia con respecto a Vivienda Base y Periodo de Retorno de la Inversión..... | 129 |
| Tabla 75: Resultado de Evaluación Costos Eficiencia .....   | 144 |

**ECUACIONES**

|   |     |
|---|-----|
| Ecuación 1: Conductividad Térmica.....  | 13  |
| Ecuación 2: Cálculo de Transmitancia Térmica de Muro considerando Riesgo de Ocurrencia de Condensación..... | 40  |
| Ecuación 3: Beneficios Económicos.....  | 46  |
| Ecuación 4: Período de Recuperación de la Inversión .....   | 46  |
| Ecuación 5: Costo de Ciclo de Vida.....   | 51  |
| Ecuación 6: Valor presente de una cantidad futura, considerando costos de mantención y reemplazo .....      | 52  |
| Ecuación 7: Valor presente de una cantidad futura, considerando costos anuales .....                        | 52  |
| Ecuación 8: PRI Ponderado.....  | 130 |

## CAPITULO 1: INTRODUCCIÓN

Uno de los mayores desafíos de la arquitectura y la construcción es optimizar la relación entre la energía que consumen las edificaciones, la calidad de los servicios que proporcionan y el costo al que se obtienen.

Pese a que en Chile existe una amplia literatura sobre eficiencia energética para la construcción habitacional, el desempeño energético de estas no lo refleja, presentando serias deficiencias. A nivel nacional, las viviendas demandan el doble de la energía necesaria para satisfacer las necesidades de confort térmico de sus habitantes (Bobadilla, 2014).

Los estándares de aislación térmica de la construcción habitacional que establece la NCh 1970 a través de los límites de transmitancia térmica de la envolvente no son compatibles con el uso mínimo de energía que demanda la sociedad actualmente. Gran parte de la normativa que regula la calidad ambiental de las construcciones son antiguas, por lo que sus estándares no responden a las actuales tecnologías de materiales, soluciones constructivas y a las demandas de la sociedad de hoy.

En el caso de la ciudad de Concepción, establece bajas exigencias para la envolvente térmica de las viviendas, fijando una transmitancia de muro de  $1,7 \text{ W/m}^2 \text{ K}$ . Este bajo poder aislante, entre otras variables de diseño y estándares mal manejados, explican el mal desempeño energético y problemas ocasionados por patologías derivadas de la condensación.

Según normativas internacionales, el comportamiento ambiental y energético de los edificios es sólo un aspecto para evaluar su sustentabilidad. Aspectos como el comportamiento social y económico de las edificaciones también debieran considerarse en la evaluación del ciclo de vida de un proyecto de eficiencia energética.

En Chile no se han manejado criterios de rentabilidad social y análisis de costo de ciclo de vida en la definición de estándares de aislación térmica de la construcción habitacional, como si se impone en las sociedades modernas. Los proyectos de eficiencia energética que pretenden reducir el consumo, impacto medioambiental y mejorar las condiciones de confort, requieren una evaluación global, es decir, que abarque todas las etapas del ciclo de vida de la vivienda y que, a la vez, permitan evaluar la rentabilidad social y económica de estos.

Esta investigación se desarrolla en torno a la problemática de los estándares de transmitancia térmica de la envolvente aplicables a la construcción habitacional en la ciudad de Concepción. Para la evaluación de los nuevos estándares de aislación térmica de la envolvente se priorizará un análisis costo-eficiencia, determinando que medidas generan una mejor relación costo-eficiencia, generando y validando estándares de transmitancia térmica desde una perspectiva de rentabilidad social y análisis de costo de ciclo de vida.

Considerando la información recaba en el marco teórico, se propone estudiar la rentabilidad social y evaluación de análisis de costo de ciclo de vida de diferentes propuestas de mejora del estándar de transmitancia térmica de la envolvente para tipologías representativas de la construcción habitacional de la ciudad de Concepción. Para así, priorizar aquellas propuestas de mejora que generen una mejor relación costo-eficiencia que, al implementarlas, sean eficientes, con cortos y medianos periodos de retorno de inversión y alta rentabilidad social, además de los beneficios de reducción del consumo energético en acondicionamiento térmico, mayor confort y calidad de vida para sus habitantes.

Este proyecto de investigación se vincula y se desarrolla en el contexto del proyecto INNOVA: INNOVACIONES DE LOS PROCESOS DE DISEÑO Y FISCALIZACIÓN DE OBRAS DE CONSTRUCCIONES HABITACIONALES ADMINISTRADAS POR EL SERVICIO DE LA VIVIENDA Y URBANISMO DE LA REGIÓN DEL BIOBÍO 15.244-IN.IIP.

La investigación se estructura de la siguiente manera: En la primera etapa, se desarrolla el marco teórico: calidad energética de la construcción habitacional en Chile, rentabilidad social y análisis de costo de ciclo de vida y la construcción habitacional en la ciudad de Concepción; en las cuales se profundiza y analiza sobre estos temas y sobre cómo serán orientados en esta investigación.

En la segunda etapa se definen las tipologías de viviendas de estudio en base al levantamiento de información y los estándares a evaluar. Luego se realizan simulaciones energéticas y análisis de costo de ciclo de vida de los casos de estudio en su condición de Vivienda Base y Vivienda mejorada.

Finalmente, en la tercera etapa se realiza el análisis de los resultados para determinar cuáles propuestas tienen mayor rentabilidad sobre otras y realizar la validación, o no, de los estándares

propuestos limitar a valores de uso mínimo óptimo el consumo energético considerando la evaluación de rentabilidad social y análisis de costo de ciclo de vida.

### **1.1 Hipótesis**

Es posible definir nuevos estándares de aislación térmica para la construcción habitacional de la ciudad de Concepción, que permitan limitar a valores de uso mínimo óptimo el consumo energético en acondicionamiento térmico manejando criterios de Rentabilidad Social y Análisis de Costo de Ciclo de Vida. Análisis que permitiría justificar económica y socialmente los incrementos de inversión en mejoras en el estándar con respecto a la actual normativa de la OGUC y a las diferentes propuestas de mejora de esta (Normas Técnicas MINVU, Estándares de Construcción Sustentable para Viviendas y Planes de Prevención y Descontaminación Atmosférica), consiguiendo estándares con una mejor relación costo-eficiencia desde una perspectiva social.

### **1.2 Objetivo General**

Definir estándares de aislación térmica que permitan limitar a valores de uso mínimo óptimo el consumo energético manejando criterios de Rentabilidad Social y Análisis de Costo de Ciclo de Vida que permitan justificar incrementos de inversión en mejoras al estándar de aislación térmica en tipologías de vivienda unifamiliar de la ciudad de Concepción, comparables a lo establecido en Normas Técnicas MINVU, Estándares de la construcción Sustentable de Viviendas y Planes de prevención y Descontaminación Atmosférica.

### **1.3 Preguntas de Investigación**

Para responder al objetivo mencionado, se plantean las siguientes preguntas de investigación, las que se responderán a través del desarrollo de los objetivos específicos

1. ¿Cómo se regula el diseño y estándar de aislación térmica de la construcción habitacional en Chile? ¿Cómo se fijó el estándar de aislación térmica de la envolvente y valor transmitancia térmica de  $1,7 \text{ W/m}^2 \text{ K}$ ? ¿Cuál es el criterio rector técnico para fijar una estándar de aislación térmica?

2. ¿Cuáles son las características de la construcción habitacional en Chile y en específico en la ciudad de Concepción? ¿Cómo es el consumo energético de la construcción habitacional en la ciudad de Concepción? ¿Cuáles son las principales tipologías de construcción habitacional en la ciudad de Concepción?
3. ¿Cuál es el estándar de aislación térmica que debiera manejarse para limitar a valores de uso mínimo óptimo el consumo energético si se consideraran criterios de rentabilidad social y análisis de costo de ciclo de vida?
4. ¿Cómo medir la rentabilidad social y análisis de costo de ciclo de vida de las propuestas de mejora?
5. Entre las propuestas de mejora realizadas. ¿Cómo determinar cuál es la que genera mejor relación costo beneficio a lo largo del ciclo de vida?

#### **1.4 Objetivos Específicos**

- *Objetivo específico 1:* Conocer el Estado del Arte en materia de estándares de aislación térmica de la envolvente de la construcción habitacional en Chile y de las diferentes iniciativas que plantean modificar los actuales estándares, para así establecer línea base del nivel de exigencia que rige actualmente.
- *Objetivo específico 2:* Identificar tipologías representativas de la construcción habitacional en la ciudad de Concepción y su consumo energético, para así conocer cuáles son sus necesidades y definir modelos que sirvan de base para las evaluaciones.
- *Objetivo específico 3:* Definir propuestas de mejora de estándar de aislación térmica que permitan limitar a valores de uso mínimo óptimo el consumo energético de viviendas en la ciudad de Concepción.
- *Objetivo específico 4:* Investigar y aplicar metodología de evaluación de rentabilidad social y análisis de costo de ciclo de vida para evaluar las propuestas de mejora de estándar

- *Objetivo específico 5:* Determinar cuáles alternativas generan mejor relación costo-eficiencia a lo largo de su ciclo de vida para establecer que propuesta es la más rentable en cada tipología evaluada.

## 1.5 Metodología Propuesta

El desarrollo de este proyecto de investigación se llevará a cabo a través de la siguiente metodología:

En primer lugar, se desarrollará una metodología de investigación del estado del arte. En la cual se investigará y profundizará en el cuerpo normativo que regula los estándares de diseño energético de la construcción habitacional en nuestro país, ahondando en los estándares de aislación térmica de la envolvente en viviendas.

Posteriormente se investigará acerca el estado de la construcción habitacional en la ciudad de Concepción. Buscando reconocer tipologías representativas, soluciones constructivas y sus estándares. El objetivo de esta etapa es definir tipologías representativas de vivienda de Concepción las cuales sirvan de referencia para la etapa de modelación y simulación posterior.

Siguiendo con la metodología del estado del arte, se investigará acerca de la evaluación de rentabilidad social y análisis de costo de ciclo de vida, profundizando en sus criterios y metodologías de evaluación aplicables a la construcción habitacional, para así establecer que metodología se utilizará para el análisis de la rentabilidad de los estándares propuestos.

Se definirán las medidas asociadas limitar a valores de uso mínimo óptimo el consumo energético través de mejoras en la aislación térmica de la envolvente de la vivienda base, las cuales se evaluarán de agrupada en combinaciones de propuestas de mejora para su análisis en la etapa de simulación. Ya definida la tipología de vivienda base y propuestas de mejora, se procederá a desarrollar el experimento de simulación energética a través de software Design Builder para definir los consumos energéticos de la vivienda base y las distintas propuestas.

Luego de las simulaciones, se procederá a desarrollar análisis de costo de ciclo de vida y rentabilidad social de la vivienda base y las diferentes propuestas, para definir la rentabilidad de

cada una de estas y la relación costo-eficiencia que generan, para posteriormente priorizar aquellas que generen una mejor relación costo-eficiencia, y permitan definir estándares de aislación térmica que consideren la rentabilidad social y costo de ciclo de vida.

## **CAPITULO N°2: CALIDAD ENERGÉTICA DE LA CONSTRUCCIÓN HABITACIONAL EN CHILE**

En la primera parte esta investigación y como desarrollo del marco teórico, se ahondará en el estado del arte del cuerpo normativo que regula los estándares de diseño energético de la construcción habitacional de Chile y específicamente, en los estándares de aislación térmica aplicables a la zona climática de Concepción. Se explica resumidamente en qué consisten las actuales normativas de aislación térmica de la envolvente de las viviendas en la ciudad de Concepción; cómo esta variable incide en el consumo energético por acondicionamiento térmico, que normativa regula actualmente su diseño y nivel de exigencia, además sobre el trabajo que se ha realizado para mejorar su estándar.

Actualmente, uno de los mayores desafíos de la arquitectura y la construcción es optimizar la relación entre la energía que consumen las edificaciones, la calidad de los servicios que proporcionan y el costo al que se obtienen. Reducir la cantidad de energía consumida en los edificios, obteniendo así desempeños socialmente aceptables y sustentables, son demandas sociales que obligan a revisar periódicamente la actividad de todo el colectivo que participa en la construcción de la ciudad; en particular la destinada a establecer las normas y regulaciones que rigen el diseño y construcción de edificios (Bobadilla, 2014).

El Inter-jurisdictional Regulatory Collaboration Committe IRCC define desempeño energético socialmente aceptable como "la condición que se consigue cuando se logran consumos mínimos óptimos de energía sin degradar el confort interior y bajo impacto ambiental" (IRCC, 1988). Wouters, (Wouters, P. 2000). El diseño de la construcción habitacional con eficiencia energética, es decir, "La condición que se consigue cuando se logran en el edificio niveles de clima interior apropiados para sus usuarios con un limitado o uso mínimo de energía". (Wouters, 2000) depende de una serie de variables para conseguir esta condición óptima: Protección de la envolvente térmica, ventilación, hermeticidad, entre otros, los cuales, en su conjunto, contribuyen a generar esta condición de confort con un menor uso de energía. Las legislaciones incorporar estos requisitos en la forma de normas, itemizados técnicos, reglamentos y ordenanzas. Se entienden así instrumentos jurídicos destinados a garantizar que el edificio, una vez construido y utilizado de acuerdo con los reglamentos, ofrezca desempeños aceptables para los usuarios y la comunidad (Meachman, y otros, 2002)

## **2.1 Ley General de Urbanismo y Construcción de Chile (L.G.U.C)**

La L.G.U.C es el cuerpo legal que contiene los principios, atribuciones, potestades, facultades responsabilidades, derechos, sanciones y demás normas que rigen a los organismos, funcionarios, profesionales y particulares en las acciones de planificación urbana, urbanización y construcciones, que se desarrollen en torno a la nación (MINVU, 2016). Esta sirve para que todas las acciones de construcción y urbanización que se realizan en Chile se enmarquen dentro de las condiciones mínimas que en sus diversos artículos se establecen. Para operar, esta contiene tres niveles de acción:

- La misma LGUC, “que contiene los principios, atribuciones, potestades, facultades, responsabilidades, derechos, sanciones y demás normas que rigen a los organismos, funcionarios, profesionales y particulares, en las acciones de planificación urbana, urbanización y construcción”.
- La OGUC, “que contiene las disposiciones reglamentarias de esta ley y que regula el procedimiento administrativo, el proceso de planificación urbana, urbanización y construcción, y los estándares técnicos de diseño y construcción exigibles en los dos últimos”.
- Las Normas Técnicas, “que contienen y definen las características técnicas de los proyectos, materiales y sistemas de construcción y urbanización, de acuerdo a los requisitos de obligatoriedad que establece la Ordenanza General”.

El 21 04 2016 se actualizó y publicó el texto de la O.G.U.C que actualmente rige.

El MINVU, además, debe evaluar, estudiar y realizar las modificaciones que requiera la Ley y su Ordenanza General, para así actualizarla y mantener al día el cuerpo normativo de acuerdo al avance tecnológico y desarrollo socioeconómico, las que deben ser aprobadas por Decreto Supremo. Para dichas modificaciones, el MINVU “podrá oír a los respectivos Colegios Profesionales y asesorarse por los técnicos que estime conveniente”.

## CAPITULO 2: CALIDAD ENERGÉTICA DE LA CONSTRUCCIÓN HABITACIONAL EN CHILE

Existe un volumen importante de normas con reconocimiento de norma oficial, sin embargo, se consideran como obligatorias sólo aquellas incorporadas a la O.G.U.C u otro documento ordenador con fuerza de ley.

Al mes de marzo del 2017, el cuerpo normativo del área de construcción y urbanismo de cumplimiento obligatorio en nuestro país está constituido por 188 normas, Figura 1; 63 de la O.G.U.C. De estas, sólo 37 se relacionan con el Acondicionamiento ambiental de la construcción, de las cuales 28 abordan la seguridad y prevención de incendios, tres de protección acústica y sólo seis normas abordan temas de aislación y comportamiento térmico de las edificaciones. Profundizando aún más, de estas seis normas; cuatro están incorporadas en la Ordenanza General de Urbanismo y Construcción, y, por lo tanto, son aplicables a todas las viviendas construidas en Chile, mientras que las otras dos normas sólo se aplican a viviendas sociales del programa Fondo Solidario de Viviendas.

Además, de estas seis normas, dos son de cálculo, tres de ensayo y sólo una corresponde a zonificación térmica y recomendaciones de diseño. Con esta breve descripción, se evidencia la limitada normativa que regula el comportamiento térmico y eficiencia energética de la construcción de viviendas en Chile, aún más la de tipo obligatorio.



**Figura 1: Normas de aplicación obligatoria para la construcción de viviendas en Chile.**

**Fuente: Elaboración propia con datos de MINVU**

## 2.2 La Reglamentación Térmica de Viviendas en Chile

El diseño y construcción de viviendas que entreguen condiciones de confort ambiental a sus habitantes: confort térmico, acústico, higrotérmico, calidad del aire, reduciendo a la vez el consumo energético para conseguirlo, es una de las principales misiones y labores de la normativa que regula el diseño de la aislación térmica de la construcción habitacional en nuestro país.

Desde la actual necesidad de disminuir el consumo energético del parque habitacional, hasta la crisis energética de los 70, en todo el mundo se ha investigado y trabajado en estrategias para hacer un uso más eficiente de la energía, proceso del cual Chile se ha hecho presente. Este último, es uno de los pioneros en Latinoamérica que ha trabajado y fijado una reglamentación obligatoria que mejorar las prestaciones y eficiencia energética de viviendas.

En la elaboración del cuerpo normativo que regula el diseño energético de viviendas en nuestro país, el Ministerio de Vivienda y Urbanismo realizó en el año 1994 un estudio sobre la reglamentación térmica de la vivienda en su plan de acción (Minvu, 2002). Posteriormente en el año 2000, el resultado de este trabajo más la revisión de la experiencia europea e investigación realizada desde el mundo académico, Chile se convirtió el primer país de Latinoamérica en incorporar exigencias de reglamentación térmica para viviendas en su normativa de construcción, cuyos principales objetivos son:

- "Mejorar la calidad de vida de la población, mediante un mejor confort térmico y los beneficios que ello reporta: mayor habitabilidad, mejor salud, menor contaminación y mayor durabilidad de la vivienda, etc."
- "Optimizar y/o reducir el consumo de combustibles destinados a calefaccionar y refrigerar las viviendas"
- Promover y estimular la actividad productiva, industrial, académica, gremial y de investigación aplicada.

**2.2.1 Evolución de las Regulaciones en Materia Energética de la vivienda en Chile:**

- Año 1991 - NCh 853 of 1991: Acondicionamiento térmico, Envolvente térmica de edificios, cálculo de resistencias y transmitancias térmicas.
- Año 2000 - Reglamentación térmica etapa 1: Aislación térmica de techumbre
- Año 2006 - Actualización y estudio de Normas CNNC: Estándares aislación térmica, estándares de hermeticidad al aire, zonificación y otros.
- Año 2007 - Reglamentación térmica etapa 2: Aislación térmica de muros y pisos ventilados y Valor de transmitancia térmica (Valor U) ponderado de la envolvente.
- Año 2008 - NCh 1079 of 2008: Zonificación climático habitacional para Chile y recomendaciones para el diseño arquitectónico.

NCh 850 of 2008: Determinación de resistencia térmica en estado estacionario y propiedades relacionadas

NCh 851 of 2008: Aislación térmica- Determinación de coeficientes de transmisión térmica por el método de la cámara térmica.

- Año 2012 - Itemizado y otros: Itemizados técnicos y otros estándares mínimos adicionales a la Ordenanza General de Urbanismo y Construcción.
- Año 2014 - Reglamentación térmica etapa 3: Sistema de calificación energética

Actualizaciones y estudio de Normas DITEC MINVU: Estándares de aislación, estándares de hermeticidad, zonificación y otros.

**2.2.2 Normas técnicas vinculadas al comportamiento energético de viviendas en Chile**

La reglamentación que rige el comportamiento energético de la construcción habitacional en nuestro país se encuentra en los siguientes documentos oficiales:

- La Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones, en su artículo 4.1.10; que incluye la Reglamentación Térmica de Viviendas que rige para todo tipo de viviendas

- Normas técnicas oficiales que abordan la aislación térmica y están incorporadas en la Ordenanza.
- Itemizados técnicos nacionales y regionales de viviendas que cuentan con financiamiento del Estado.

La ordenanza General de Urbanismo y Construcción cuenta con cuatro normas técnicas que regulan el comportamiento energético de la vivienda:

**1. NCh 853 Of 2014: "Acondicionamiento térmico - Envoltente térmica de edificios - Cálculo de resistencias y transmitancias térmicas"**

Esta norma es producto del estudio que se realizó a través del Comité técnico *Aislación térmica* con el objetivo de establecer los procedimientos de cálculo para determinar las resistencias y transmitancias térmicas de los elementos constructivos que configuran la envoltente térmica de la edificación, a los cuales corresponden los muros perimetrales, complejos de techumbres y pisos, y en general, cualquier otro elemento que separe ambientes de temperaturas distintas.

Esta norma fue la primera norma técnica obligatoria asociada al comportamiento energético de construcción habitacional en Chile; incorporándose a la OGUC en el año 1991.

Los procedimientos de cálculo que se establecen en esta norma están basados en la Ley de Fourier, en régimen estacionario. Los valores determinados según esta norma son útiles para el cálculo de transmisión de calor, potencia de calefacción, refrigeración, energía térmica y aislaciones térmicas de envolventes en la edificación. Esta norma establece métodos de cálculo para determinar la resistencia térmica total y de la transmitancia térmica de elementos constructivos que configuran la envoltente de la edificación, estableciendo procedimientos de cálculo para definir las Resistencias térmicas de superficie, de elementos simples y homogéneos, elementos compuestos por capas homogéneas, elementos compuestos por capas heterogéneas, elementos y complejos de espesor variable, pisos en contacto con el terreno, cálculo de resistencia térmica de losas o complejos de pisos ventilados.

En el año 2013, se puso en consulta pública una nueva norma de cálculo que reemplazó la vigente desde el año 2007. Su estudio se realizó a través del Comité Técnico CL034/SC5 *Comportamiento térmico y uso de la energía*, para determinar el método de cálculo de la resistencia y transmitancia

térmica de los componentes y elementos de la edificación, exceptuando puertas, ventanas y otros elementos vidriados, componentes que implican transmisión de calor hacia el suelo, y componentes diseñados para que sean permeables al aire.

Evaluaciones realizadas en CITEC UBB a fines del 2013, demuestra los avances de esta norma en la precisión de cálculo. Sin embargo, la mayor complejidad de la norma no ayuda necesariamente a una mejor estimación de las prestaciones térmicas de los elementos. Se desconocen aún las propiedades térmicas de muchos materiales y se asumen valores por defecto que no siempre son correctos, tampoco se consideran correcciones para la humedad (Bobadilla, 2014).

## **2. NCh 850 Of83: Determinación de coeficientes de la conductividad térmica en estado estacionario por medio del anillo de guarda.**

La Nch850 se basa en la Norma internacional ACTM C177: "Standard Test Method for Steady-State Heat Flux Measurements and Thermal Transmission Properties by Means of the Guarded Hot Plate Apparatus". Esta es la primera norma de ensayo de materiales del área, siendo declarada Norma Oficial el año 1983.

Esta norma establece un procedimiento para determinar la conductividad térmica, bajo régimen estacionario por el método del anillo de guarda. Es aplicable en materiales homogéneos, cuyas características de densidad, humedad y temperatura media son conocidas, por ejemplo, para materiales aislantes térmicos u otros materiales. Este procedimiento es válido sólo para temperaturas comprendidas entre los 0°C y los 100°C.

Este método permite determinar la conductividad térmica en probetas de materiales de construcción, sean estos aislantes térmicos u otros en forma de plancha los cuales posean un coeficiente de transmisión térmica no exceda los 60 W/ (m<sup>2</sup> K) y que el espesor máximo de la probeta cumpla con los requisitos dimensionales pertinentes.

De acuerdo a esta norma, la conductividad térmica se determina según la Ecuación 1:

**Ecuación 1: Conductividad Térmica**

$$\lambda = \frac{\phi \cdot e}{2 \cdot A \cdot (T_2 - T_1)}$$

Donde:

$\lambda$  = Conductividad térmica,  $\left[ \frac{W}{(m \cdot K)} \right]$ .

$\phi$  = Potencia eléctrica disipada en la placa caliente,  $[W]$ .

$e$  = Espesor promedio de las probetas,  $[m]$ .

$A$  = Área de la placa de calentamiento,  $[m^2]$ .

$T_2, T_1$  = Temperaturas de las caras caliente y fría respectivamente,  $[K]$

Los resultados de estas mediciones de conductividad térmica son aplicables sólo a las muestras en las condiciones en que han sido ensayadas, por lo que es muy importante indicar las características de los materiales sometidos a ensayo.

En el año 2008, la Norma de ensayo se reemplazó por la Norma internacional ISO 8302; 1991 Thermal insulation - Determination of steady-state thermal resistance and related properties - Guarded hot plate apparatus", norma que fue traducida al español y rige actualmente. Esta nueva norma utiliza el mismo procedimiento de ensayo, con algunos cambios para mejorar la precisión de los resultados.

### **3. NCh 851 anexada en 2008: Aislación térmica- Determinación de coeficientes de transmisión térmica por el método de la cámara térmica.**

Esta norma se basa íntegramente en la norma ASTM C236: "Standard Test Method for Steady-State Thermal Performance of Building Assemblies by Means a Guarded Hot Box". Establece un método para determinar de forma experimental, los coeficientes de transmisión térmica de elementos como muros, tabiques, entre otros, a través del método de la cámara térmica.

A diferencia del método del anillo de guarda contemplado en la NCh 850, este método permite la determinación del coeficiente de transmisión térmica de elementos de construcción no homogéneos como muros, tabiques, antepechos, puertas, ventanas u otros elementos de la construcción de diversa composición. Para su determinación, se requiere conocer la densidad aparente, temperatura media y contenido de humedad.

En el año 2008, la norma se reemplaza por la Norma internacional ISO 8990:1994: Thermal insulation - Determination of steady-state thermal transmission properties - Calibrated and

guarded hot box. Norma que se traduce íntegramente al español y se asume como norma chilena. Esta nueva norma, incorpora mejoras en la precisión y confiabilidad de las mediciones, mejorando además los principios de diseño de la cámara de medición y requisitos para la medición en laboratorio. La adaptación de esta nueva norma, obligó a los laboratorios a modificar los equipos de medición y capacitación de sus laboratoristas.

**4. NCh 1079 anexada 2008 Zonificación climático habitacional para Chile y recomendaciones para el diseño arquitectónico.**

Esta norma define una zonificación climático habitacional, dividiendo a Chile en nueve zonas climáticas (Tabla 1 y Figura 2) y realizando recomendaciones para el diseño, con el objetivo de facilitar el adecuado diseño arquitectónico en cada una de estas. Incorpora, en anexos que no son parte de la norma y por tanto no son obligatorios, exigencias de aislación térmica recomendados para la envolvente térmica en cada una de las zonas y datos climáticos de las principales ciudades de Chile.

Se considera esta norma como la primera en relacionar el clima con la arquitectura en Chile. Se oficializó en 1977, sólo unos años después de la denominada crisis de la energía de la década de los 70. Planteando por primera vez, exigencias de aislación térmica para los elementos de la envolvente térmica de viviendas.



**Figura 2 Zonificación Climática de Chile**

**Tabla 1: Descripción y Límites de Zonas.****(Fuente: NCh 1079, of. 2008)**

| Zona  | Características Generales   |
|-------|---|
| 1 NL  | Norte Litoral: Zona desértica con clima dominante marítimo. Se extiende desde el límite con el Perú hasta el río Aconcagua, ocupando la faja costera al lado occidental de la Cordillera de la Costa, hasta donde se deja sentir directamente la influencia del mar. En los valles que rematan los ríos y quebradas se producen penetraciones de esta zona hacia el interior. Ancho variable llegando hasta 50 km aproximadamente.  |
| 2 ND  | Norte Desértica: Zona desértica, sin lluvias, calurosa, atmósfera limpia con fuerte radiación solar. Noches frías, ambiente seco. Ocupa la planicie comprendida entre las cordilleras de la Costa y de Los Andes, desde el límite con el Perú hasta la altura de Potrerillos, Pueblos Hundido y Chañaral excluidos. Como límite oriental se considera la línea de nivel 3000 m aproximadamente.   |
| 3 NVT | Norte Valles Transversales: Zona de transición, veranos largos y calurosos. Microclimas en los valles, lluvias escasas aumentando hacia el sur, fuerte radiación solar. Ocupa la región de los cordones y valles transversales al oriente de la zona NL excluida la Cordillera de los Andes por sobre 400 m y desde Pueblo Hundido hasta el valle del río Aconcagua, excluido.  |
| 4 CL  | Central Litoral: Zona de clima marítimo, inviernos cortos y lluvias importantes. Cordón costero a continuación de la zona NL, desde el Aconcagua hasta el valle del Bío-Bío excluido. Penetra ampliamente en los anchos valles que abren las desembocaduras de los ríos.  |
| 5 CI  | Central Interior: Zona con clima templado, temperaturas agradables, inviernos de 4 a 6 meses con lluvia y vegetación normal, heladas en aumento. Valle central comprendido entre la zona NL y la pre cordillera de los Andes por bajo los 1000 m. Por el norte comienza con el valle del Aconcagua y por el sur llega hasta el valle del Bío-Bío excluido.  |
| 6 SL  | Sur Litoral: Zona de clima marítimo y lluvioso. Vientos fuertes de componente W. Suelo y ambiente salino y húmedo. Vegetación robusta. Continuación de zona CL desde el Bío-Bío hasta Chiloé y Puerto Montt. Variable en anchura, penetrando por los valles de los numerosos ríos que la cruzan.  |
| 7 SI  | Sur Interior: Zona lluviosa y fría, con heladas frecuentes. Veranos cortos de 4 a 5 meses. Lagos y ríos numerosos. Vegetación robusta. Continuación de zona CI desde el Bío-Bío incluido, hasta la Ensenada de Reloncaví. Hacia el este, hasta la Cordillera de los Andes por debajo de los 600m aproximadamente.   |
| 8 SE  | Sur Extremo: Zona fría y muy lluviosa, disminuyendo de W a E. Clima especialmente marítimo, fuertes vientos, nubosidad casi permanente, veranos muy cortos. Suelo y ambiente muy húmedo. La constituye la región de los canales y archipiélagos desde Chiloé hasta Tierra del Fuego. Contiene una parte continental hacia el este. Se presentan variaciones climáticas considerables dentro de esta zona.   |
| 9 AN  | Andina: Zona de atmósfera seca, grandes oscilaciones de temperatura entre día y noche. Tormentas de verano en el altiplano (norte). Ventiscas y nieve en invierno. Gran contenido de ultravioleta en la radiación solar. Comprende la faja cordillerana y precordillerana superior a los 3000 m de altitud en el Norte (Zona Altiplánica) que bajando paulatinamente hacia el Sur se pierde al Sur de Puerto Montt. > 900m de altitud. Dentro de esta zona se presentan variaciones climáticas considerables. |

**Tabla 2: Valores Máximos de Transmitancia Térmica de la Envolvente.**  
(Fuente: NCh 1079. OF 2008)

| 8566 | Valores Máximos de Transmitancia térmica de la Envolvente (W/m <sup>2</sup> K) |           |                |                                |
|------|--|-----------|----------------|--------------------------------|
|      | Elementos Opacos Verticales (muros)  | Techumbre | Piso Ventilado | Elementos vidriados Verticales |
| NL   | 2,00   | 0,80      | 3,00           | 5,80                           |
| ND   | 0,50   | 0,40      | 0,70           | 3,00                           |
| NVT  | 0,80   | 0,60      | 1,20           | 3,00                           |
| CL   | 0,80   | 0,60      | 1,20           | 3,00                           |
| CI   | 0,80   | 0,50      | 0,80           | 3,00                           |
| SL   | 0,60   | 0,40      | 0,80           | 3,00                           |
| SI   | 0,50   | 0,30      | 0,70           | 3,00                           |
| SE   | 0,40   | 0,25      | 0,50           | 2,40                           |
| An   | 0,30   | 0,25      | 0,40           | 2,40                           |

De acuerdo a la Tabla 2, para cada una de las zonas climáticas, la norma establece valores límite de transmitancia térmica para los elementos de la envolvente: muros, complejo de techumbre, piso ventilado y elementos vidriados verticales.

Las recomendaciones de protección térmica de la NCh 1079 no han logrado ser exigidos de forma obligatoria, esto debido a dos fenómenos: Oposición del sector industrial a invertir más en mejores soluciones constructivas y a la resistencia del Estado a invertir más en la calidad de las viviendas, y no sólo en la cantidad de construcciones habitacionales que puede otorgar.

Se actualizó esta norma en el año 2008, donde se incorporaron bases de datos climáticos para 48 localidades del país. La norma ha adquirido en los últimos años una gran importancia por su orientación hacia el ahorro de energía y la eficiencia energética, criterios que recién hoy adquieren relevancia en el país (Bobadilla, 2014)

A las normativas antes mencionadas, se les debe sumar dos incorporadas en el año 2012, las que sin embargo sólo aplican a viviendas sociales del programa Fondo Solidario de Viviendas. Esta revisión demuestra la escasa normativa de carácter obligatorio que rigen temas de aislación

térmica y comportamiento energético de viviendas en Chile y, por tanto, la importancia de seguir investigando y aportando en este campo.

### 2.3 Limitaciones de la Reglamentación Térmica

La Reglamentación Térmica en Chile, a diferencia de normativas más avanzadas como la de Europa, se concentra únicamente en dos aspectos: los estándares de aislación térmica de la envolvente y la subdivisión territorial del país.

#### 2.3.1 Estándar aislación térmica de la envolvente:

Como se observa en la Tabla 3 los estándares de aislación térmica que contiene la reglamentación se centran en la protección térmica de la envolvente, por la vía de limitar la transmisión de calor a través de partes de los elementos que la constituyen, regulando la aislación térmica para los complejos de muro, pisos ventilados, techumbre y ventanas.

**Tabla 3: Transmitancias Térmicas Máximas.**  
(Fuente: Art. 4.1.10, OGUC)

| Zona<br>Térmica | Envolvente Opaca        |                          |                         |                          |                         |                          | Ventanas<br>% Máximo de ventanas respecto a<br>paramentos verticales de la<br>envolvente |  |                             |
|-----------------|-------------------------|--------------------------|-------------------------|--------------------------|-------------------------|--------------------------|--|--|-----------------------------|
|                 | Techumbre               |                          | Muros                   |                          | Pisos                   |                          | Vidrio<br>Monolítico   | Doble Vidriado<br>Hermético                                    |                             |
|                 | U<br>W/m <sup>2</sup> K | Rt<br>m <sup>2</sup> K/W | U<br>W/m <sup>2</sup> K | Rt<br>m <sup>2</sup> K/W | U<br>W/m <sup>2</sup> K | Rt<br>m <sup>2</sup> K/W |  | 3,6<br>W/m <sup>2</sup> K<br>>=U><br>2,4<br>W/m <sup>2</sup> K | U<=24<br>W/m <sup>2</sup> K |
| 1               | 0,84                    | 1,19                     | 4,00                    | 0,25                     | 3,60                    | 0,28                     | 50%  | 60%  | 80%                         |
| 2               | 0,60                    | 1,67                     | 3,00                    | 0,33                     | 0,87                    | 1,15                     | 40%  | 60%  | 80%                         |
| 3               | 0,47                    | 2,13                     | 1,90                    | 0,53                     | 0,70                    | 1,43                     | 25%  | 60%  | 80%                         |
| 4               | 0,38                    | 2,63                     | 1,70                    | 0,59                     | 0,60                    | 1,67                     | 21%  | 60%  | 75%                         |
| 5               | 0,33                    | 3,03                     | 1,60                    | 0,63                     | 0,50                    | 2,00                     | 18%  | 51%  | 70%                         |
| 5               | 0,28                    | 3,57                     | 1,10                    | 0,91                     | 0,39                    | 2,56                     | 14%  | 37%  | 55%                         |
| 7               | 0,25                    | 4,00                     | 0,60                    | 1,67                     | 0,32                    | 3,13                     | 12%  | 26%  | 37%                         |

La reglamentación térmica nacional posee limitaciones que impiden el cumplimiento de sus objetivos iniciales, como se describen a continuación:

## CAPITULO 2: CALIDAD ENERGÉTICA DE LA CONSTRUCCIÓN HABITACIONAL EN CHILE

1. No considera restricción de transmitancia térmica para los pisos en contacto con el terreno, sólo para pisos ventilados, por lo cual muchas viviendas a lo largo del país no poseen aislación térmica en piso, lo que genera grandes pérdidas de calor, espacios interiores fríos y considerables demandas de calefacción.
2. No considera distintos casos de ubicación de los elementos, por lo que fija igual restricción transmitancia térmica para muros en contacto con el aire exterior y muros en contacto con el terreno, sin considerar las importantes diferencias que se generan entre el muro y su entorno en ambas circunstancias.
3. No hace diferencia por grado de compacidad térmica, por lo cual no distingue entre las formas, tamaños y agrupación (pareado, aislado o continuo) que pueda tener la vivienda, no considerando así las grandes diferencias que se pueden dar en la demanda energética producto de la superficie expuesta al exterior de la vivienda.
4. No diferencia por grado de inercia o respuesta de la construcción, no considerando la capacidad de los elementos de la envolvente para acumular calor y calefaccionar de forma pasiva el interior.
5. No considera exigencias para limitar las infiltraciones de aire. Al no contemplar esta variable de diseño, se generan viviendas con envolventes térmicas que cumplen con la reglamentación, pero que sin embargo generan grandes demandas energéticas de calefacción.
6. No considera exigencia para factores solares, por lo que no regula aprovechamiento de las ganancias solares o la protección antes sobrecalentamientos. Una vivienda puede cumplir con la limitación de la transmitancia térmica de la envolvente, pero estar expuesta a sobrecalentamientos producto del no control de sus superficies acristaladas.
7. No considera exigencias para prevenir la ocurrencia de condensación superficial ni intersticial, ya que la normativa no fija estándares ni exigencias para el control de humedad y ventilación de la vivienda, el cómo estas se complementarían con la protección térmica, ni de las características de los materiales y su disposición en las soluciones constructivas de la envolvente.

Los estándares de aislación térmica de la NCh1079 de elementos de envolvente térmica de viviendas son más exigentes que los de la Reglamentación térmica. En la ciudad de Concepción, por ejemplo, la reglamentación fija la transmitancia límite para muros en  $1,7 \text{ W/m}^2 \text{ K}$  y la NCh 1079 en  $0,6 \text{ W/m}^2 \text{ K}$ . El bajo poder aislante de los muros en la ciudad de Concepción, y en todas las localidades de la zona centro sur del país, explica el mal desempeño energético del parque de viviendas y muchos de los problemas de post venta por fallas derivadas de la condensación (CITEC UBB, 2013a) (CITEC UBB, 2013b).

¿Qué explica los bajos nivel de exigencia de la reglamentación térmica? La reglamentación oficializada el año 2007 determinó el nivel de exigencia de acuerdo a las soluciones constructivas más frecuentes de la construcción en Chile, cuyas transmitancias térmicas no bajaban de  $1,8 \text{ W/m}^2 \text{ K}$ . El criterio que imperó fue alejarse lo menos posible de esa referencia, para utilizar ojalá sin cambios, las mismas soluciones y, en los casos que no sean posibles, poder utilizar las mismas soluciones con refuerzos térmicos mínimos de modo de mantener costos competitivos. (Bobadilla, 2014)

### **2.3.2 Zonificación térmica:**

La zonificación térmica es una subdivisión del país en diferentes zonas térmicas, la cual se diferencia una de otra por los grados día de calefacción, para así determinar las necesidades de aislación térmica para limitar la demanda de calefacción en cada zona.

La zonificación térmica es una subdivisión del país en siete zonas térmicas, que corresponden a zonas geográficas, las cuales se diferencian una de otra por los grados día de calefacción; las cuales requieren distintos niveles de aislación para limitar la demanda de calefacción en cada zona.

La Figura 3 muestra la zonificación de grados día de calefacción para la región del Biobío, y los rangos a los cuales estos corresponden. La región del Biobío tiene una superficie de  $37.046,9 \text{ km}^2$ , en la cual se emplazan 54 comunas ubicadas del nivel del mar hasta los 1000 metros sobre el nivel del mar. Las distancias entre las diferentes comunas son relativamente pequeñas, sin embargo, las diferencias de alturas generan grandes diferencias de demandas de calefacción. De acuerdo a la zonificación térmica, en la región se establecen tres zonas térmicas: 4, 5 y 6 con grados día entre 1000 y 2000, los cuales determinan los valores límites de transmitancia para muros entre  $1,1$  y  $1,7 \text{ W/m}^2 \text{ K}$ .



**Tabla 4: Oscilación Térmica, Temperatura Media y Grados Día Mensuales base 15°C.****(Fuente: NCH 1079)**

| Zona Térmica | Zona Climática NCh 1079 | Localidad    | Oscilación Térmica Enero | Oscilación Térmica Julio | Temperatura Media Enero | Temperatura Media Julio | Grados día Base 15°C mensuales |
|--------------|-------------------------|--------------|--------------------------|--------------------------|-------------------------|-------------------------|--------------------------------|
| Zona 4       | CI                      | Curicó       | 18,7                     | 8,9                      | 19,9                    | 7,2                     | 1147                           |
| Zona 4       | CI                      | Talca        | 18,9                     | 11,4                     | 20,3                    | 7,6                     | 965                            |
| Zona 4       | CI                      | Linares      | 17,8                     | 10,2                     | 19,6                    | 6,4                     | 1075                           |
| Zona 4       | CI                      | Cauquenes    | 17,1                     | 9,0                      | 21,0                    | 8,9                     | 894                            |
| Zona 4       | CI                      | Chillán      | 17,8                     | 8,4                      | 19,1                    | 7,3                     | 1175                           |
| Zona 4       | SL                      | Talcahuano   | 7,7                      | 6,8                      | Sin dato                | Sin dato                | Sin dato                       |
| Zona 4       | SL                      | Concepción   | 12,3                     | 7,3                      | 16,3                    | 8,8                     | 1100                           |
| Zona 4       | SI                      | Los Ángeles  | 16,9                     | 8,8                      | Sin dato                | Sin dato                | Sin dato                       |
| Zona 4       | AD                      | Potrerrillos | 8,5                      | 9,1                      | Sin dato                | Sin dato                | Sin dato                       |

Las principales limitaciones de la actual Reglamentación Térmica son:

1. Bajo estándar de limitación de la transmitancia térmica de la envolvente, las cuales hacen ver el uso mínimo óptimo de energía como una meta aún lejana.
2. La zonificación térmica considera para una zona localidades con demandas de calefacción muy distintas, estableciendo para estas iguales exigencias de acondicionamiento térmico-
3. Sólo considera limitar la demanda de calefacción, y no las de refrigeración.
4. Sólo considera las pérdidas por transmisión a través de la envolvente y no incluye restricciones para limitar las infiltraciones de aire.

Los estándares de aislación térmica para construcciones habitacionales que se exigen en Chile son bajos. Las exigencias de aislación térmica para muros especialmente no se comparan bien con los de otras ordenanzas europeas que rigen en climas comparables, ni con los estándares que desde hace ya varias décadas recomiendan estudios en Chile, (Rodríguez, G. 1973; (Bodadilla, y otros, 1986) (Bodadilla , y otros, 1991); (Bustamante, 2009); (D'Alencon, 2008); (CITEC UBB, 2012a).

Los bajos estándares de aislación térmica que exige la actual normativa obligatoria en la zona sur y centro sur más poblada del país, deberían mejorarse, pasando de los actuales 1.9-1,7-1,6 W/m<sup>2</sup>K que se exigen en las zonas térmicas 3,4 y 5 respectivamente que concentran a más del 80% de la

población, a niveles de 0,4-0,6 W/m<sup>2</sup>K, cambios sustantivos que se justifican económica y socialmente (MINVU, 2013).

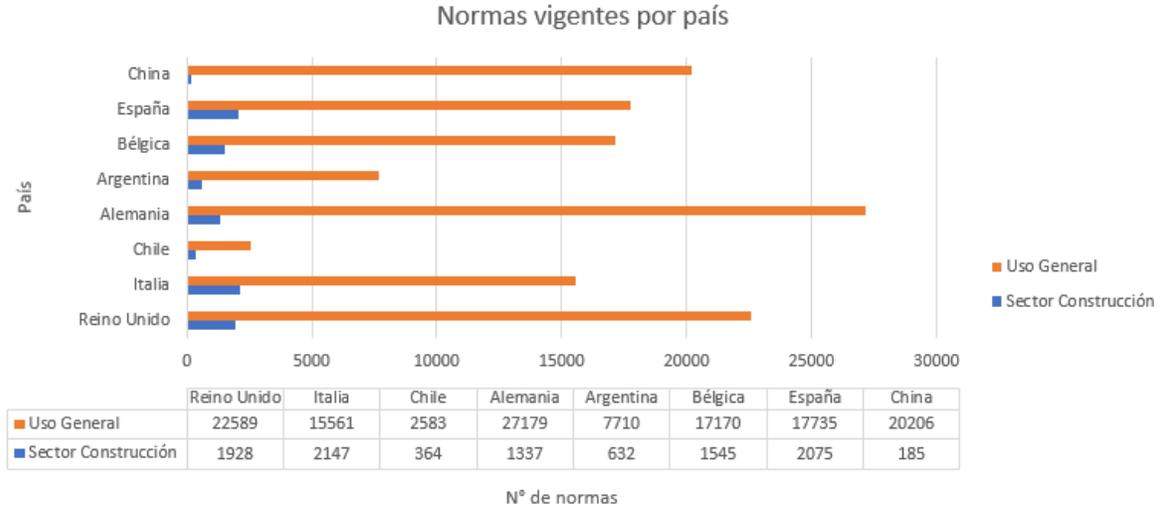
### **2.3 Normas en Estudio**

El soporte normativo que regula los estándares de aislación térmica es insuficiente y el trabajo de creación de normas es lento, entre otras razones porque las normas que elabora el Instituto Nacional de Normalización son exclusivamente aquellas encargadas y financiadas por el sector privado, por lo que su creación y actualización obedecen a los intereses de la empresa.

Los actuales estándares de aislación térmica de la envolvente son bajos y no se ajustan a las zonas climáticas en las que se emplazan las edificaciones. Con respecto a la zonificación térmica que posee la reglamentación vigente, no considera la oscilación térmica de las localidades, por lo que se manifiesta un desacople con la zonificación climática planteada en la NCh 1079. Además, se detecta un uso acrítico de las normas vigentes, las cuales en su mayoría corresponden a traducciones de ISO, ASTM o UNE, las que se plantearon en escenarios con condiciones climáticas diferentes a las nuestras y con tecnologías constructivas diferentes a las que poseía Chile al momento de su implementación.

Debido al deficiente desempeño energético de la construcción habitacional en Chile, es que constantemente la normativa que regula su diseño, construcción y operación se encuentra en estudio y en búsqueda de generar mejores prestaciones; menor consumo energético y mayor confort para sus ocupantes

Un informe del Instituto de la construcción del año 2002 (Figura 4) identifica 2.583 normas técnicas de uso general vigentes en Chile; cuerpo normativo muy inferior si se compara a países como Alemania con 27.179 normas, 17.170 en Bélgica y 7.710 en Argentina (IC, 2002). La O.G.U.C contiene 185 normas ligadas al urbanismo y construcción. La cantidad de normas parece insuficiente; muchas además son antiguas, por lo que sus reglas no ayudan adecuadamente a generar las condiciones de confort y baja demanda energética que la sociedad demanda. Se necesita implementar nuevas normas y actualizar otras, proceso que en Chile presenta una seria dificultad actualmente. (Bobadilla, 2014).



**Figura 4: Normas Vigentes por País**  
(Fuente: Instituto de la Construcción)

Con el objetivo de mejorar el cuerpo normativo del sector de la construcción, se han desarrollado a lo menos dos importantes iniciativas; la creación del Consejo Nacional de Normalización de la Construcción, el cual surge como respuesta a la necesidad de articular la demanda normativa sectorial, para así compatibilizar la realidad nacional con los criterios internacionales.

La otra importante iniciativa desarrollada es el proyecto Innova 06CN12ICM-32: “Actualización y estudio de normas chilenas para mejorar la calidad en el sector construcción”. aire de materiales y edificios, 2 sobre calidad del aire y ventilación y 2 sobre permeabilidad al agua de láminas y muros.

Ambas iniciativas contemplan un total de 24 normas relacionadas al hábitat y la eficiencia energética de las edificaciones: 15 acerca del comportamiento higrotérmico de materiales y construcciones, 4 sobre permeabilidad al aire de materiales y edificios, 3 sobre calidad del aire, ventilación y hermeticidad del edificio y 2 sobre permeabilidad al agua de fachadas.

Con la investigación y propuestas de actualización de la actual normativa térmica, se han generado diversas iniciativas para reducir la transmitancia térmica de la envolvente de la edificación residencial en diferentes proyectos de investigación, manuales de diseño, entre otros. La Tabla 5 muestra los diferentes valores de transmitancia térmica para muro de envolvente fijados por distintos proyectos y por la vigente Reglamentación térmica.

Se puede observar que para la ciudad de Concepción, zona térmica 4, la Reglamentación térmica fija un valor de 1,7 W/m<sup>2</sup>K, estándar considerablemente bajo en comparación a los valores 0,6 W/m<sup>2</sup>K para la zona climática Sur Litoral (SL) de la NCh1079 Of.2008, o los 0,3-0,8 W/m<sup>2</sup>K del Manual de Diseño Para la Eficiencia Energética en Vivienda Social, lo cual deja en manifiesto que la Reglamentación Térmica, y de uso obligatorio, que rige la actual construcción habitacional es poco exigente y responsable de los bajos desempeños energéticos y las condiciones de discomfort térmico en viviendas de nuestro país.

**Tabla 5: Estándares de Transmitancia Térmica de Complejos Muros de Envolvente Valor U (W/m<sup>2</sup>K). Recomendaciones según distintas fuentes para Chile**

| Zona Térmica | Reglamentación Térmica | NCh 1079 (2008) | Manual de Diseño para la Eficiencia Energética en Vivienda Social (2009) | Fondef D10 1025 (2013) | Manual de Diseño Pasivo y Eficiencia Energética en Edificaciones públicas (2012) | Código Técnico de la Edificación en España (2007) |
|--------------|------------------------|-----------------|--|------------------------|--|---|
| 1            | 4,0                    | 0,8-2,0         | 0,8-2,0  | 0,8-2,0                | 0,8-2,0  | -   |
| 2            | 3,0                    | 0,6-2,0         | 0,6-2,0  | 0,6-2,0                | 0,6-2,0  | -   |
| 3            | 1,8                    | 0,6-0,8         | 0,6-0,8  | 0,6-0,8                | 0,6-0,8  | 0,73  |
| 4            | 1,7                    | 0,3-0,8         | 0,3-0,8  | 0,3-0,8                | 0,3-0,8  | 0,66  |
| 5            | 1,7                    | 0,5-0,6         | 0,5-0,6  | 0,5-0,6                | 0,5-0,6  | 0,57  |
| 6            | 1,1                    | 0,4-0,6         | 0,4-0,6  | 0,4-0,6                | 0,4-0,6  | -   |
| 7            | 0,6                    | 0,3             | 0,3  | 0,3                    | 0,3  | -   |

La actitud y preocupación de nuestro país en temas de eficiencia energética, sustentabilidad y conciencia ambiental ha aumentado de forma considerable en los últimos años, lo cual se ve reflejado en el aumento de estudios de normativas y desarrollo de nuevas soluciones constructivas que permiten generar construcciones más eficientes y confortables, lo cual debiera ayudar a mejorar las tasas de renovación y actualización de normas en Chile.

### **2.3.1 Normas Técnicas Minvu (NTM)**

Como parte del Plan del Estado en materias energéticas, el Minvu trabajó en el mejoramiento y actualización de la Reglamentación Térmica, criticada por los bajos estándares de protección térmica y a las deficiencias en la zonificación térmica que realiza. En el año 2014, se realizó una consulta pública para una nueva Norma Técnica Minvu; la NTM 11 de Acondicionamiento Ambiental de Edificios. La cual reemplazaría los artículos respectivos de la O.G.U.C y, además, integraría normas para las condiciones acústicas, higrotérmicas y calidad del aire para las edificaciones residenciales, educacionales y de salud. Sin embargo, actualmente se encuentra en proceso de consulta pública y no se ha logrado oficializar ni mucho menos reemplazar normativas de uso obligatorio de la O.G.U.C.

La norma, en resumen, contiene una nueva subdivisión territorial, junto con una propuesta de modificación de los estándares de aislación térmica y de clases de hermeticidad al aire de construcciones, con lo que se consideró la variable de hermeticidad al aire por primera vez en Chile.

A partir de la determinación de la línea base de hermeticidad en edificios en Chile, el proyecto Fondef D10I1025 entregó la propuesta de valores de hermeticidad n50 límite aceptables para la construcción habitacional. Para establecer este estándar, se determinó que debían cumplir con un consumo energético de 40 kWh/m<sup>2</sup>; valor n50 esperado del 10% de las viviendas, valor n50 límite y la demanda energética por infiltración para la clase correspondiente. Las clases de infiltración propuestas, se determinaron considerando las solicitudes climáticas nacionales y a la hermeticidad medida en las construcciones en Chile.

Para la determinación de la nueva subdivisión territorial, se trabajó sobre las falencias detectadas en la zonificación térmica, incorporando la oscilación térmica diaria como criterio para la zonificación. Las principales diferencias “están dadas por la definición de 3 zonas netamente costeras (A, C y E), la definición de 2 zonas (H e I) en el sur extremo del país (al sur de la isla de Chiloé), la ampliación de la zona cordillerana y precordillerana (G) a una aproximación más cercana a la Zona Andina de la NCh 1079:2008 que a la zona 7 de la R.T. y finalmente por la separación clara entre las zonas correspondientes a los sectores norte, centro, sur y sur extremo del país.” (MINVU, 2013).

**2.3.1.1 NTM 011/2.- Requisitos y mecanismos de acreditación para acondicionamiento ambiental de las edificaciones. Parte 2: Comportamiento higrotérmico**

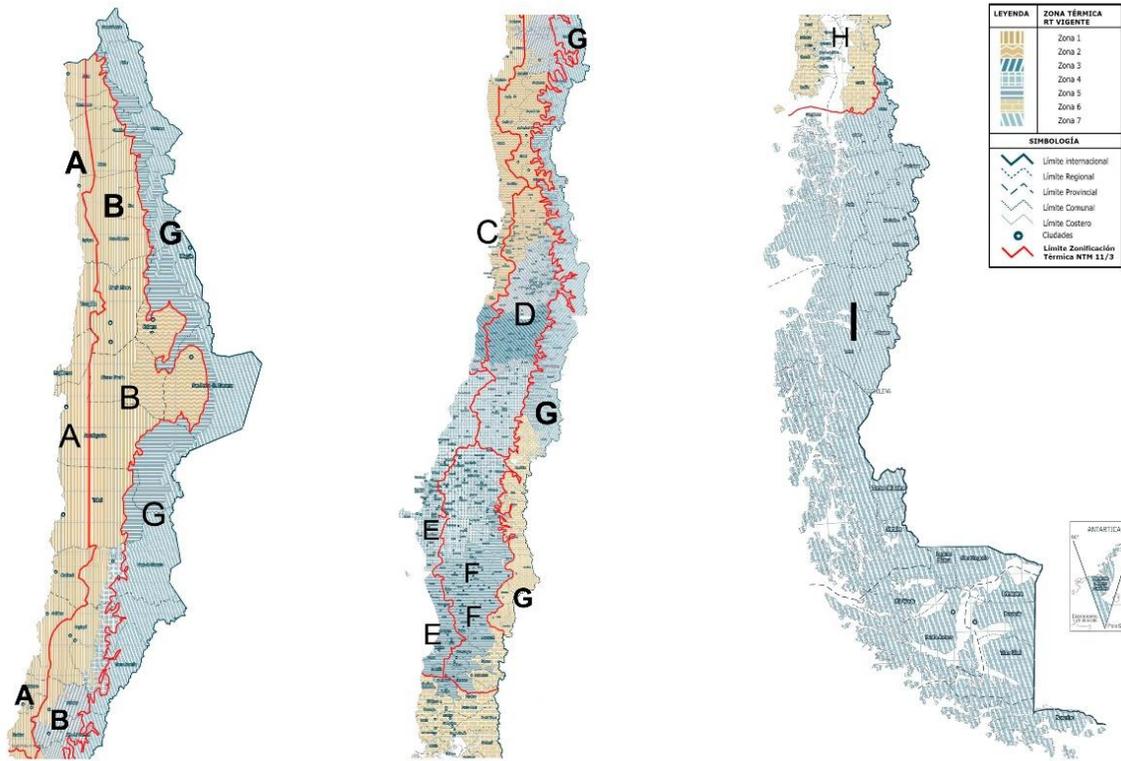
Esta norma se refiere a las características y condiciones de diseño y ejecución que deben tener los elementos que conforman las edificaciones, independiente de su uso, para cumplir con el objetivo de otorgar confort higrotérmico a los usuarios de éstas. Algunas de sus principales medidas propuestas son:

1. Acondicionamiento térmico de los elementos opacos.

Aumentar el estándar de transmitancia térmica de los elementos opacos: techumbre, muro, piso y puerta, que conforman la envolvente térmica de las edificaciones de uso residencial, educación y salud, deberán cumplir con los valores de transmitancia térmica planteados en la Tabla 6, de acuerdo a la zona térmica contenida en la Figura 5.

**Tabla 6: Transmitancia Térmica "U" Máxima y Resistencia Térmica "Rt" para Complejo de Techumbre, Muro, Piso Ventilado y Puerta en Edificaciones de uso Residencial, Educación y Salud**

| Zona<br>Térmica | Complejo de<br>Techumbre |                    | Complejo de<br>Muro |                    | Complejo de<br>Piso |                    | Complejo de<br>Puerta |                    |
|-----------------|--------------------------|--------------------|---------------------|--------------------|---------------------|--------------------|-----------------------|--------------------|
|                 | U                        | RT                 | 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 | W/m <sup>2</sup> K    | m <sup>2</sup> K/W |
| A               | 0,84                     | 1,19               | 2,10                | 0,48               | 3,60                | 0,28               | --                    | --                 |
| B               | 0,47                     | 2,13               | 0,50                | 2,00               | 0,70                | 1,43               | 1,00                  | 1,00               |
| C               | 0,47                     | 2,13               | 0,50                | 1,25               | 0,87                | 1,15               | 1,20                  | 0,83               |
| D               | 0,38                     | 2,63               | 0,60                | 1,67               | 0,70                | 1,43               | 1,20                  | 0,83               |
| E               | 0,33                     | 3,03               | 0,50                | 2,00               | 0,60                | 1,67               | 1,00                  | 1,00               |
| F               | 0,28                     | 3,57               | 0,45                | 2,22               | 0,50                | 2,00               | 1,00                  | 1,00               |
| G               | 0,25                     | 4,00               | 0,30                | 3,33               | 0,32                | 3,13               | 1,00                  | 1,00               |
| H               | 0,28                     | 3,57               | 0,40                | 2,50               | 0,39                | 2,56               | 0,80                  | 1,25               |
| I               | 0,25                     | 4,00               | 0,35                | 2,86               | 0,32                | 3,13               | 0,80                  | 1,25               |



**Figura 5: Propuesta de Nueva Subdivisión Territorial**  
**(Fuente: Norma Técnica, Minvu 11/03)**

2. Acondicionamiento térmico de los elementos translúcidos:

Aumentar el estándar de transmitancia térmica en complejos de ventanas que forman parte de la envolvente térmica de las edificaciones residenciales y de salud, deberán tener transmitancia térmica igual o menor, o una resistencia térmica total igual o superior a la señalada en la Tabla 7. Además deberán cumplir con los valores de porcentaje máximo de superficie acristalada por orientación señalados en la Tabla 8

**Tabla 7: Transmitancia Térmica "U" Máxima y Resistencia Térmica "Rt" Mínima para Complejo de Ventanas en Edificaciones en Educación y Salud**

| Zona Térmica | Complejo de ventana |                    |
|--------------|---------------------|--------------------|
|              | U                   | Rt                 |
|              | W/m <sup>2</sup> K  | m <sup>2</sup> K/W |
| A            | 5,80                | 0,17               |
| B            | 3,60                | 0,28               |
| C            | 3,60                | 0,28               |
| D            | 3,60                | 0,28               |
| E            | 3,00                | 0,33               |
| F            | 3,00                | 0,33               |
| G            | 2,40                | 0,42               |
| H            | 3,00                | 0,33               |
| I            | 3,00                | 0,33               |

**Tabla 8: Porcentaje Máximo de Superficie de Complejo Ventana por Orientación en Edificaciones de uso Residencial**

| Zona Térmica | U > 3,6 W/(m <sup>2</sup> K) |     |     |            | 3,6 ≥ U > 2,4W/(m <sup>2</sup> K) |     |     |            | U ≤ 2,4 W/(m <sup>2</sup> K) |      |      |            |
|--------------|------------------------------|-----|-----|------------|-----------------------------------|-----|-----|------------|------------------------------|------|------|------------|
|              | N                            | S   | O-P | POND       | N                                 | S   | O-P | POND       | N                            | S    | O-P  | POND       |
| A            | 70%                          | 45% | 60% | <b>30%</b> | 90%                               | 65% | 80% | <b>40%</b> | 100%                         | 100% | 100% | -          |
| B            | 30%                          | 10% | 25% | <b>12%</b> | 85%                               | 40% | 65% | <b>32%</b> | 95%                          | 60%  | 85%  | <b>40%</b> |
| C            | 40%                          | 15% | 35% | <b>15%</b> | 80%                               | 50% | 60% | <b>30%</b> | 95%                          | 65%  | 85%  | <b>40%</b> |
| D            | 25%                          | 10% | 15% | <b>10%</b> | 70%                               | 30% | 60% | <b>27%</b> | 90%                          | 50%  | 80%  | <b>37%</b> |
| E            | 0%                           | 0%  | 0%  | -          | 70%                               | 25% | 55% | <b>25%</b> | 90%                          | 45%  | 80%  | <b>37%</b> |
| F            | 0%                           | 0%  | 0%  | -          | 60%                               | 20% | 37% | <b>20%</b> | 85%                          | 40%  | 75%  | <b>35%</b> |
| G            | 0%                           | 0%  | 0%  | -          | 35%                               | 10% | 20% | <b>10%</b> | 65%                          | 20%  | 35%  | <b>20%</b> |
| H            | 0%                           | 0%  | 0%  | -          | 55%                               | 15% | 30% | <b>15%</b> | 75%                          | 25%  | 60%  | <b>27%</b> |
| I            | 0%                           | 0%  | 0%  | -          | 35%                               | 10% | 20% | <b>10%</b> | 65%                          | 20%  | 35%  | <b>20%</b> |

3. Condensación superficial e intersticial:

Los complejos de techumbre, muro, piso y puentes térmicos contenidos en estos, que forman parte de la envolvente térmica de las edificaciones de uso residencial, educación y salud, deberán verificar que no poseen riesgo de condensación superficial e intersticial para las condiciones climáticas en que se ubica el proyecto.

**2.3.1.2 NTM 011/3.- Requisitos y mecanismos de acreditación para acondicionamiento ambiental de las edificaciones. Parte 3: Calidad del aire interior**

Esta norma se refiere a las características y condiciones de diseño y ejecución que deben tener los proyectos de edificación para cumplir con el objetivo de otorgar calidad del aire en los espacios interiores a los usuarios de éstas.

1. Infiltraciones de aire

Se incorpora el estándar de clase de infiltración de aire a la envolvente térmica de las edificaciones de uso residencial, educación y salud, excluyendo de ésta a los complejos de puerta y ventana, los cuales deberán cumplir con la clase de infiltración de aire medido a 50Pa igual o menos a la clase de infiltración señalada en la Tabla 9.

**Tabla 9: Clase de Infiltración de Aire Máxima permitida para la Envolvente Térmica de las Edificaciones de uso Residencial, Educación y Salud, excluyendo los Complejos Puerta y Ventana**

| Zona Térmica | Clase de infiltración de aire |  |
|--------------|-------------------------------|--|
|              | 50Pa                          |  |
|              | Ach                           |  |
| A            | -                             |  |
| B            | 6,00                          |  |
| C            | 9,00                          |  |
| D            | 8,00                          |  |
| E            | 8,00                          |  |
| F            | 7,00                          |  |
| G            | 4,00                          |  |
| H            | 6,00                          |  |
| I            | 4,00                          |  |

Se incorpora estándar de grado de estanqueidad para los complejos de ventanas y puertas de las edificaciones de uso residencial, educación y salud, las cuales deberán tener un grado de estanqueidad al aire medido a 100Pa o mayor al señalado en la Tabla 10.

**Tabla 10: Grados de Estanqueidad al Aire Mínima para los Complejos de Puerta y Ventana de las Edificaciones de es Residencial, Educación y Salud**

| Zona térmica | Grado de estanqueidad            |
|--------------|----------------------------------|
|              | 100Pa                            |
|              | m <sup>3</sup> /h m <sup>2</sup> |
| A            | -                                |
| B            | 30 10 7                          |
| C            | 30 10 7                          |
| D            | 10 7                             |
| E            | 10 7                             |
| F            | 10 7                             |
| G            | 7                                |
| H            | 7                                |
| I            | 7                                |

## 2. Ventilación y climatización

Las edificaciones de uso residencial, educación y salud, deberán contar con un sistema de ventilación mecánico que garantice la calidad del aire interior que la conforma.

### **2.3.2 Estándares de Construcción Sustentable para Viviendas de Chile (ECSV)**

Los Estándares de Construcción Sustentable para Viviendas (ECSV) consisten en una guía de buenas prácticas para mejorar el desempeño ambiental, económico y social, mediante la definición e incorporación de criterios de sustentabilidad, basándose en parámetros objetivos y verificables; tanto para viviendas nuevas y en uso, considerando las etapas de diseño, construcción y operación. Estos estándares además buscan integrar el concepto de sustentabilidad a la calidad de la vivienda, no como atributo adicional, sino como parte inherente al diseño, construcción y operación de las mismas.

Los principales objetivos de los ECSV son:

- Mejorar las condiciones para que la industria financiera vea la diferenciación por atributos de sustentabilidad, como una oportunidad de negocio atractiva.

- Reducir asimetrías de información.
- Establecer bases para mejorar e innovar en las ofertas tradicionales, catalizando el desarrollo competitivo de la construcción sustentable.

El objetivo es minimizar al máximo el consumo energético de la construcción habitacional, lo que se propone alcanzar mediante dos alternativas. Por un lado, reduciendo la demanda de energía, y por otro, fomentando el uso de sistemas y artefactos eficientes, de bajo consumo y baja o nula emisión. También promocionando la incorporación de sistemas de autoabastecimiento, como por ejemplo sistemas solares térmicos para calefacción de agua, o sistemas fotovoltaicos para la generación de electricidad.

Los ECSV se subdividen en seis manuales en los cuales se profundiza y establecen los estándares, exigencias y métodos de verificación de cumplimiento para las diferentes variables de diseño sustentable.

- Tomo 1: Salud y Bienestar
- Tomo 2: Energía
- Tomo 3: Agua
- Tomo 4: Materiales y residuos
- Tomo 5: Impacto ambiental
- Tomo 6: Entorno inmediato

2.3.2.1 Tomo 2: Energía

Dentro de los ECSV, el tomo 2: Energía presenta los estándares de eficiencia energética para el diseño, construcción y etapa de operación de las viviendas, además de equipos de climatización, calefacción, iluminación eficiente e implementación de energías renovables para reducir el consumo energético e impacto ambiental del sector residencial, además del consecuente aumento en el bienestar de sus usuarios. Las medidas contenidas en este tomo son voluntarias y buscan mejorar los parámetros obligatorios contenidos en la OGUC.

La categoría Energía contempla estándares y exigencias para tres dimensiones del diseño, construcción y operación de viviendas: Desempeño energético eficiente, envolvente opaca eficiente y envolvente transparente eficiente.

Para el Desempeño energético eficiente, el objetivo se enfoca en reducir el consumo energético e impacto ambiental del sector residencial, para lo cual se determinan requerimientos maximos de demanda de calefaccion y refreigeración para las diferentes zonas térmicas. En la Tabla 11 se observan los valores de demandas energéticas establecidas para las diferentes zonas térmicas y la disminución progresiva de estas al año 2050.

**Tabla 11: Requerimientos Máximos de la Demanda de Enfriamiento para Vivienda Aislada por Zona Térmica**  
ECSV, basada en el estudio sobre rangos de confort térmico y riesgo de sobrecalentamiento (Bustamante, 2015)

| Zonas térmicas | Demanda de enfriamiento (kwh/m <sup>2</sup> ) |      |      |      |
|----------------|---|------|------|------|
|                | 2020  | 2030 | 2040 | 2050 |
| Zona A         | 10  | 5    | 5    | 5    |
| Zona B         | 10  | 5    | 5    | 5    |
| Zona C         | 10  | 5    | 5    | 5    |
| Zona D         | 15  | 10   | 5    | 5    |
| Zona E         | 5   | 5    | 0    | 0    |
| Zona F         | 5   | 5    | 0    | 0    |
| Zona G         | 0   | 0    | 0    | 0    |
| Zona H         | 0   | 0    | 0    | 0    |
| Zona I         | 0   | 0    | 0    | 0    |

En el caso de la Envolvente opaca eficiente, el objetivo establecido es el de reducir el consumo energético en climatización y mejorar el confort térmico al interior de las viviendas. Para esto se establecen exigentes estándares de transmitancia térmica para que la envolvente responda a las exigencias climáticas de su entorno.

En la Tabla 12 se observan los estándares de transmitancia térmica propuestos para los diferentes elementos de la envolvente opaca de vivienda en las diferentes zonas térmicas.

**Tabla 12: Valores de Transmitancia Térmica U (w/(m<sup>2</sup>k))**

**Fuente: ECSV, basada en estudio sobre rangos de confort térmico y riesgos de cobrecalentamiento (Bustamante, 2015).**

| Zona térmica  | Zona A | Zona B | Zona C | Zona D | Zona E | Zona F | Zona G | Zona H | Zona I |
|---|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Techos  | 0,84   | 0,47   | 0,47   | 0,38   | 0,33   | 0,28   | 0,25   | 0,25   | 0,25   |
| Muros   | 2,10   | 0,80   | 0,80   | 0,80   | 0,60   | 0,45   | 0,40   | 0,35   | 0,35   |
| Pisos ventilados  | 3,60   | 0,70   | 0,87   | 0,70   | 0,60   | 0,50   | 0,39   | 0,39   | 0,32   |
| Pisos sobre el terreno R100 (m <sup>2</sup> K)/W) x 100 | -      | 45,00  | 45,00  | 45,00  | 45,00  | 91,00  | 91,00  | 91,00  | 91,00  |
| Puertas   | -      | 2,00   | 1,70   | 1,70   | 1,70   | 1,70   | 1,70   | 1,70   | 1,70   |

Para la envolvente transparente de las viviendas, el manual tiene por objetivo disminuir el consumo energético en climatización y mejorar el confort térmico de las viviendas, a través de altos estándares de aislación, captación y protección solar de la envolvente transparente, respondiendo a las exigencias climáticas de su entorno.

En la Tabla 13 y Tabla 14 se observan los estándares de transmitancia térmica para la envolvente transparente según zonas térmicas y, el porcentaje máximo de superficies vidriadas según la orientación de estas.

**Tabla 13: Valores de Transmitancia Térmica para Envolvente Transparente según Zona Térmica**

**Fuente: ECSV, propuesta de actualización de la reglamentación térmica, Art. 4.1.10 de la OGUC,2016.**

| Zona térmica                          | Zona A | Zona B | Zona C | Zona D | Zona E | Zona F | Zona G | Zona H | Zona I |
|---------------------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 2014 valores U (W/(m <sup>2</sup> K)) | 5,80   | 3,60   | 3,60   | 3,60   | 3,00   | 3,00   | 2,40   | 2,40   | 2,40   |

**Tabla 14: Porcentaje Máximo de Superficie Vidriada por Orientación según Transmitancia Térmica recomendadas por Zonas**

**Fuente: ECSV, propuesta de actualización de la reglamentación térmica, Art. 4.1.10 de la OGUC y Estudio sobre rangos de confort térmico y riesgo de sobrecalentamiento en el contexto de la aplicación de nuevos estándares de desempeño térmico en viviendas.**

| Zona térmica | N   | S   | E-O | Transmitancia térmica U (W/(m <sup>2</sup> k)) |
|--------------|-----|-----|-----|--|
| Zona A       | 50% | 40% | 30% | 5,8  |
| Zona B       | 60% | 60% | 40% | 3,6  |
| Zona C       | 50% | 50% | 40% | 3,6  |
| Zona D       | 50% | 40% | 30% | 3,6  |
| Zona E       | 50% | 40% | 30% | 3,0  |
| Zona F       | 50% | 35% | 25% | 3,0  |
| Zona G       | 40% | 30% | 15% | 2,4  |
| Zona H       | 30% | 10% | 10% | 2,4  |
| Zona I       | 30% | 10% | 10% | 2,4  |

### **2.3.3 Planes de Prevención y Descontaminación Atmosférica (PPDA)**

Los Planes de Prevención y Descontaminación atmosférica, programa del Ministerio de Medio Ambiente creado en el año 2014, son una serie de medidas destinadas a disminuir los niveles de contaminación atmosférica y episodios críticos en zonas afectadas. Medidas entre las cuales destaca el reacondicionamiento térmico de viviendas, programa de recambio de calefactores y aumento de la oferta de leña seca, iniciativas orientadas a establecer y fortalecer una cultura de sustentabilidad en la ciudadanía.

Los PPDA permiten establecer medidas específicas para las zonas que están cerca o que exceden las normas de calidad ambiental del aire. Este programa se enfoca principalmente en cuatro puntos de regulación: Emisiones industriales, Emisiones residenciales, Transporte y Compensación de emisiones.

En el caso de las emisiones provenientes de la construcción habitacional a través de leña-biomasa, las medidas de control de emisiones orientadas a disminuir la carga de contaminantes en las zonas de interés, en especial cuando se observe un aumento sostenido de concentraciones de contaminantes son las siguientes:

## CAPITULO 2: CALIDAD ENERGÉTICA DE LA CONSTRUCCIÓN HABITACIONAL EN CHILE

1.Regulación del uso de estufas/cocinas que operen con leña-biomasa: Prohibición estufas hogar abierto, prohibición de uso de calefactores a leña en establecimientos comerciales y reparticiones del Estado, prohibición de calefactores hechizos-salamandras en zonas urbanas, prohibición de cocinas a leña y calefactores a leña que no cumplen norma, exigencia de uso de leña seca (<25% de humedad) y fomento de la leña seca, implementación de programas de fomento a la leña seca y recambio de calefactores a leña por sistema de calefacción menos contaminantes.

2.Reducir la demanda energética de viviendas: Subsidios de aislación térmica, promover la creación de instrumentos financieros como hipotecas verdes para aislación térmica viviendas, normas de aislación térmica más exigentes para viviendas nuevas ídem a las exigidas en los planes vigentes en la Región y promover la construcción de viviendas sociales con una solución de calefacción-aislación integra

Actualmente existen 10 planes vigentes, cinco anteproyectos, dos en etapa final y dos zonas decretadas o en proceso. En la Tabla 15 se muestran los diferentes PPDA existentes y el estado en el cual se encuentran.

**Tabla 15: Situación de Planes de Descontaminación Atmosférica**  
**Fuente: Planes de Prevención y Descontaminación Atmosférica. Estrategia 2014-2018**

| Situación                               | Área                                 |
|---|--------------------------------------|
| Planes Vigentes                         | 1.Tocopilla                          |
|   | 2.María Elena – Pedro de Valdivia    |
|   | 3.Chuquicamata                       |
|   | 4.Potrerillos                        |
|   | 5.Palpote – Tierra Amarilla          |
|   | 6.Puchuncaví y Quintero (Ventanas)*  |
|   | 7.Metropolitana de Santiago*         |
|   | 8.Valle Central de la VI Región      |
|   | 9.Caletones                          |
|   | 10.Temuco y Padre Las Casas*         |
| Anteproyectos                           | 1.Calama (Plan de Gestión)           |
|   | 2.Huasco                             |
|   | 3.Puchuncaví y Quintero (Ventanas)*  |
|   | 4.Talca - Maule                      |
|   | 5.Chillán – Chillán Viejo            |
|   | 6.Temuco y Padre Las Casas (MP2,5)*  |
|   | 7.Osorno                             |
|   | 8.Coyhaique                          |
| Proyectos                               | 1.Andacollo                          |
| Zonas por declarar Saturadas o Latentes | 1.Metropolitana de Santiago (MP2,5)* |
|   | 2.Curicó -Teno                       |
|   | 3.Gran Concepción (MP2,5)            |
|   | 4.Los Ángeles                        |
|   | 5.Valdivia                           |
|   | 6.Coyhaique (MP2,5)                  |

### 2.3.3.1 PPDA Concepción

El gran Concepción (Concepción, Talcahuano, Coronel, San Pedro de la Paz, Lota, Hualpén, Chiguayante, Tomé, Penco y Hualqui), al igual otras ciudades del centro sur de Chile, tiene altos índices de contaminación ambiental debido a las emisiones por combustión residencial e industrial a leña.

En el caso del Gran Concepción el anteproyecto del Plan de Prevención y Descontaminación Atmosférica, *ConceRespira*, (Tabla 16) fueron puestos a observación y consulta por parte de la ciudadanía y empresas, opiniones las cuales fueron recibidas por el Ministerio de Medio Ambiente, del cual debería responder prontamente para la elaboración del proyecto definitivo y tramitación final. Si se cumplen los plazos, el PPDA del Gran Concepción debería comenzar a operar durante el invierno 2018.

**Tabla 16: Estándares de Aislación Térmica según PPDA Concepción**  
**Fuente: Análisis general del impacto económico y social del plan de prevención y descontaminación para el Gran Concepción**

| Elemento       | Transmitancia térmica<br>(U w/m <sup>2</sup> K) | Vigencia |
|----------------|---|----------|
| Techo          | 0,33  | 12 meses |
| Muro           | 0,6   | 12 meses |
| Piso ventilado | 0,6   | 12 meses |
| Ventana        | Por definir MINVU                               | 24 meses |
| Puerta         | 1,7   | 24 meses |

Este Plan tiene por objetivo reducir un 17% las concentraciones diarias de MP10 (partícula fina de 10 micrones) y un 44% las concentraciones diarias de MP2,5 (partícula fina de 2,5 micrones). En el sector residencial esto se traduce en el recambio de calefactores a leña por otros más eficientes y menos contaminantes, implementación de subsidios de aislación térmica para las viviendas con el objetivo de disminuir el consumo de leña para calefacción y el incentivo de uso de leña seca.

**2.3.4 Proyecto Innova: Innovaciones de los procesos de diseño y fiscalización de obras de construcciones habitacionales administradas por el servicio de la vivienda y urbanismo de la región del Biobío 15.244-in.iip**

En la determinación de un estándar existen diferentes criterios que condicionan su definición: criterios económicos, normativos, confort ambiental, riesgo de condensación, entre otros.

En el proyecto Innova: INNOVACIONES DE LOS PROCESOS DE DISEÑO Y FISCALIZACIÓN DE OBRAS DE CONSTRUCCIONES HABITACIONALES ADMINISTRADAS POR EL SERVICIO DE LA VIVIENDA Y URBANISMO DE LA REGIÓN DEL BIOBÍO 15.244-IN.IIP, se determina un estándar considerando el riesgo de no ocurrencia de condensación superficial e intersticial de la envolvente opaca de

viviendas con clase de higrometría 5 y temperatura exterior la media de las mínimas del mes más frío del año en Concepción, en el contexto del estudio sobre el comportamiento higrotérmico de los materiales y de las soluciones constructivas utilizadas en viviendas sociales encargado por DITEC MINVU (Licitación ID 587-78-LE13 ) y Proyecto Innova Código 15.244-IN. IIP que contempló validaciones experimentales del estándar.

“La región del Biobío, y particularmente toda el área geográfica donde se ubica el gran Concepción, posee condiciones climáticas de alto riesgo de condensación: un clima exterior con altas humedades absolutas, aire que se satura fácilmente al ingresar a las viviendas y frecuentes eventos de relativamente baja temperatura exterior. Estas condiciones, sumadas a la presencia de un usuario de vivienda no preparado para “convivir” con este clima, explican gran parte de la alta ocurrencia de condensación y sus patologías asociadas, particularmente en la vivienda en altura, de por sí más expuesta a las solicitaciones del clima.” (CITEC UBB & CChC Delegación Concepción, octubre 2017)

La condensación es el principal incidente de origen climático que afecta las construcciones en la ciudad de Concepción, eventos que, dependiendo de la frecuencia y magnitud, pueden llegar a dañar las construcciones, elementos contenidos en su interior y la salud de sus habitantes.

La Ecuación 1 define el criterio técnico utilizado para determinar el estándar de aislación térmica para muros en el contexto climático de Concepción.

**Ecuación 2: Cálculo de Transmitancia Térmica de Muro considerando Riesgo de Ocurrencia de Condensación**

$$T_{pi} = T_i - \frac{U(T_i - T_e)}{h_i} = T_i - \frac{R_{si}(T_i - T_e)}{R}$$

Base condensación superficial: Condición crítica o límite cuando la temperatura  $T_{pi}$  = a la  $T$  rocío del aire ambiente bajo condiciones ambientales críticas estandarizadas.

Condiciones de borde estandarizadas:

$T_e$  °C media de las mínimas de la localidad del mes más frío y HR correspondiente. Concepción: 5,8 °C y 95% HR en junio.

$T_i$  = 19 ° C y Humedad relativa que se alcanza con clase de higrometría 5 en cada localidad. Concepción 90% HR

$R_{si} = 0,25 \text{ m}^2 \text{ K} / \text{W}$  (NCh 1973:2014 actualmente vigente)

$T_{pi} = \text{Trocío} = 17,5 \text{ }^\circ\text{C}$  con  $19 \text{ }^\circ\text{C}$  y 90% HR

U base condensación superficial de muros=  $0,48 \text{ W/m}^2 \text{ K}$

En la Tabla 17 se muestran los diferentes estándares propuestos en proyecto Innova.

**Tabla 17: Estándares de Transmitancia Térmica para evitar Riesgo de Condensación según Proyecto INNOVA 15.244-IN.IIP**

| Elemento                        | Valor U ( $\text{W/m}^2 \text{ K}$ ) |
|---------------------------------|--------------------------------------|
| Muros                           | 0,48                                 |
| Piso Ventilado                  | 0,60                                 |
| Piso en contacto con el terreno | 0,85*                                |
| Techumbre                       | 0,38                                 |
| Vanos                           | -                                    |

\* El estándar de transmitancia térmica determinado para pisos en contacto con el terreno, considera una solución de refuerzo térmico bajo radier por el borde perimetral de la solución horizontal.

Valor de transmitancia térmica U que se obtiene para la condición límite de no ocurrencia de condensación superficial ni intersticial en la envolvente opaca de viviendas, expuestas éstas a las condiciones ambientales interiores y exteriores según la zona y clase de higrometría que le corresponde a la comuna.

Si bien el proyecto establece valores de transmitancia térmica, sólo la definición de un alto estándar de transmitancia no reduce el riesgo de condensación, sino que también juega un papel importante el ordenamiento de las capas de elementos que componen los complejos de muros, pisos y cubierta. No se considera un valor de transmitancia para ventanas, debido a que se establece que cuando estas condensan, consideren un mecanismo de evacuación del agua generada, como por ejemplo despiches.

Se debe verificar que la transmitancia térmica de las envolventes sujetas de comprobación sea menores o iguales que las definidas con las condiciones ambientales interiores y exteriores estandarizadas definidas para la comuna en que se ubica el proyecto.

En la Tabla 18, se muestran las condiciones estandarizadas de referencia establecidas para determinar el estándar de no ocurrencia de condensación para las diferentes zonas higrotérmicas planteadas en el proyecto.

**Tabla 18: Estándares de Diseño Higrotérmico, Región del Biobío**  
**Fuente: Proyecto Innova Código 15.244-IN.IIP/CITEC UBB & SERVIU Biobío**

| Zona Higrotérmica | Estándar de no ocurrencia de condensación bajo las siguientes condiciones        |                   |
|-------------------|--|-------------------|
|                   | Ambiente exterior  | Ambiente interior |
| A                 | Te °C media de las mínimas de la localidad del mes más frío y HR correspondiente | Ti 19 °C y 80% HR |
| B                 | Te °C media de las mínimas de la localidad del mes más frío y HR correspondiente | Ti 19 °C y 85% HR |
| C                 | Te °C media de las mínimas de la localidad del mes más frío y HR correspondiente | Ti 19 °C y 90% HR |

La Tabla 19 define las condiciones para definir la clase de riesgo de ocurrencia de condensación definidas en el proyecto Innova.

**Tabla 19: Tipo o Clase de Riesgo de Ocurrencia de Condensación**  
**Fuente: Proyecto Innova Código 15.244-IN.IIP/CITEC UBB & SERVIU Biobío**

| Criterio  | Clase de riesgo |
|---|-----------------|
| I: Elemento libre de condensación. No se prevé la ocurrencia de condensación en alguna interfase durante el año.  | Bajo            |
| II: Se produce condensación en una o más interfases del elemento, pero en cada una de ellas la condensación se evapora durante el año. No hay acumulación neta de agua. | Moderado        |
| III: La condensación ocurrida en una o varias interfases del elemento no se evapora completamente durante el año. Hay acumulación de agua potencialmente dañosa.        | Alto            |

**2.3.5 ¿Por qué no se han oficializado los estándares de estas normativas?**

Las dificultades que enfrenta la implementación estas normas técnicas no son menores, y más aún que estas logren reemplazar los actuales estándares que contempla la OGUC. Para el caso de la

NTM11, el establecimiento de clases de hermeticidad al aire considera medir la hermeticidad del edificio mediante test de presurización según la NCh 3295 y la emisión de un certificado de cumplimiento extendido por un laboratorio oficial. La principal dificultad que enfrenta la implementación de estas normas es la falta de laboratorios preparados y autorizados para cubrir las demandas que generaría su puesta en marcha (Bobadilla, 2014)

Las principales dificultades que enfrentan los estándares propuestos en el PPDA y ECSV es que existen importantes brechas de información, difusión y capacitación, con respecto a los distintos actores de la construcción: arquitectos, ingenieros, proyectistas, revisores, constructores, instaladores y usuarios, que están lejos de llenarse. Así mismo, el mercado de materiales de la construcción, sistemas y servicios, con algunas excepciones, no está preparado para dar cumplimiento a los niveles de exigencia que plantean los nuevos estándares y requerimientos que plantea estas normas, perdiendo competitividad con respecto a otras que si pueden cumplir con los estándares requeridos.

Aunque estas normas técnicas aún no han logrado ser decretadas como obligatorias, algunos de sus estándares fueron contemplados, a modo de prueba, en los Planes de Descontaminación Atmosférica (PPDA) para las ciudades más contaminadas del sur de Chile.

Debido a las falencias de las actuales normativas térmicas, parte de importante de las viviendas se encuentra en condiciones de discomfort térmico en varios periodos del año. Aún se está lejos de cumplir los objetitos de “mejorar la calidad de vida de la población” y de “reducir el consumo de energía y contaminación al interior como al exterior de la vivienda”. La oficialización e implementación de medidas como estas podrán mejorar las condiciones de habitabilidad y disminuir las demandas de consumo energético que posee Chile en la actualidad.

## **CAPITULO 3: RENTABILIDAD SOCIAL Y ANÁLISIS DE COSTO DE CICLO DE VIDA**

En este capítulo se abordarán temas como la rentabilidad social y análisis de costo de ciclo de vida. En el primero se incluirán conceptos de beneficios económicos y el periodo de recuperación de la inversión inicial. En el análisis de costo de ciclo de vida abarcarán criterios para calcular el costo del ciclo de vida y finalmente como estos 2 temas se relacionan entre sí, lo cual es importante para validar técnica y económicamente los estándares propuestos en esta investigación

### **3.1 Rentabilidad Social**

Definir un nuevo estándar involucra no sólo reducir la propiedad de transmitancia térmica de la envolvente y con esto disminuir las pérdidas de calor desde el interior al exterior, o impedir su ingreso desde el exterior. La definición de este estándar implica variables sociales, culturales y económicas de compleja interacción, relacionadas con la capacidad económica y tecnológica de la sociedad, su grado de madurez y expectativas de calidad. En la definición y acuerdos de estos temas deberá avanzar el país en los próximos años, para conseguir finalmente un marco regulatorio adecuado y teniendo presentes las demandas sociales de uso mínimo óptimo y sustentable de energía en los edificios que se impone hoy en las sociedades modernas (CITEC UBB, 2015).

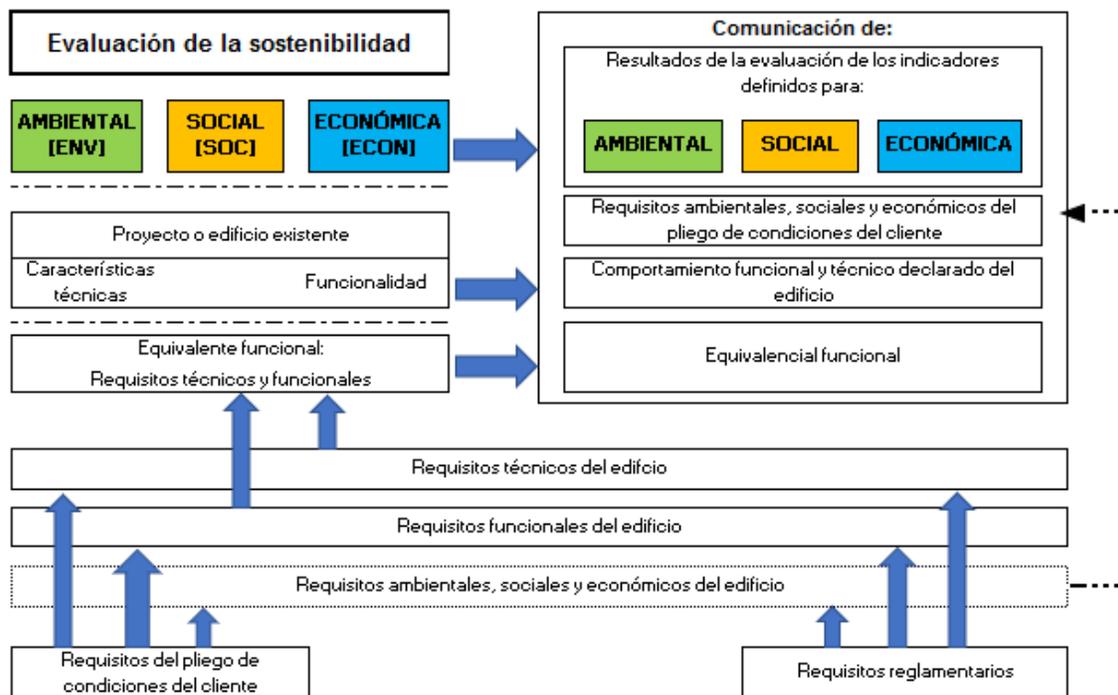
La rentabilidad social es el beneficio, valor y/o fruto que un proyecto entrega a la sociedad como aporte producto de su ejecución y puesta en marcha. Un proyecto de naturaleza social tiene el propósito, en la definición más amplia del concepto, de mejorar la calidad de vida de algún determinado grupo de individuos.

En el caso de las mejoras en la eficiencia energética de la edificación, esta rentabilidad se genera a partir de la disminución del consumo energético, reducción de costos de operación y mantención a lo largo del ciclo de vida del edificio, generadas producto de la implementación de mejoras, permitiendo un beneficio económico directo en las familias que actualmente habitan viviendas con altas demandas energéticas, mejoras en la calidad de vida y confortabilidad, además de los beneficios sociales, económicos y ambientales que significan la disminución de la demanda energética de la construcción habitacional del país.

Para determinar cuan rentable son las estrategias de mejora evaluadas, se realiza la comparación de los costos económicos involucrados tanto en la edificación con mejoras y la misma, pero en condiciones base o referencia.

En Chile, la evaluación de la rentabilidad económica y social de inversiones en mejoras de la eficiencia energética de edificaciones, y en este caso de la construcción habitacional, no se realiza o no por lo menos regularmente.

A nivel internacional existen experiencias y normativas consideran este tipo de evaluación. Según la norma europea UNE – EN 15978, el comportamiento ambiental de los edificios es sólo un aspecto de su sostenibilidad. El comportamiento social y económico del edificio, son también aspectos de sostenibilidad que debieran tratarse como parte de la evaluación total de cada proyecto; aspectos que actualmente están descritos en las normas marco (EN 15643-1, 15643-2, EN 15643-3 y EN 15643-4), entre otras, los cuales quedan representados en la Figura 6.



**Figura 6: Concepto de Sustentabilidad Edificios (EN - UNE 15978)**

De acuerdo a esto, para evaluar aspectos ambientales, sociales y económicos de mejoras de eficiencia energética en edificaciones, y así determinar su rentabilidad y beneficios que trae la implementación de estrategias de mejora, se pueden utilizar a lo menos dos indicadores:

1. **Ahorro en UF/m<sup>2</sup>:** Este indicador, mide los beneficios económicos sociales de la implementación de una estrategia de mejora en eficiencia energética de una edificación. Se calcula comparando, a valor presente, los costos sociales acumulados durante el ciclo de operación del edificio, en los escenarios de edificio base (sin mejoramientos) y edificio propuesto (con mejoramientos). Para calcular este indicador se utiliza la Ecuación 3:

**Ecuación 3: Beneficios Económicos**

$$Ahorro = VPLCC_{eb} - VPALCC_{em}$$

Donde:

$VPLCC_{eb}$  : Valor presente costo ciclo de vida de edificio base  $\left(\frac{UF}{m^2}\right)$

$VPALCC_{em}$  : Valor presente costo ciclo de vida de edificio propuesto  $\left(\frac{UF}{m^2}\right)$

2. **Periodo de recuperación de la inversión:** Este indicador, mide el tiempo necesario para recuperar la inversión en la implementación de una estrategia de mejora en eficiencia energética de una edificación; considerando para ello la actualización de los flujos de caja (período de recuperación descontado). Este se determina según la Ecuación 4

**Ecuación 4: Período de Recuperación de la Inversión**

$$PRI = a + \frac{(b-c)}{d}$$

Donde:

a: Año inmediatamente anterior en que se recupera la inversión.

b: Inversión inicial.

c: Flujo de efectivo acumulado del año inmediato anterior en que se recupera la inversión.

d: Flujo de efectivo del año en el que se recupera la inversión.

Para lograr disminuir la demanda energética de la construcción habitacional en nuestro país y a un menor costo económico, social y ambiental, es imprescindible que la evaluación de la rentabilidad de las estrategias de mejora se realice con metodologías de carácter global, las cuales consideren todas las etapas del ciclo de vida del proyecto, como el Análisis de Costo de Ciclo de vida (ACCV).

### **3.2 Análisis de Costo de Ciclo de Vida**

La industria de la construcción habitacional genera costos e impactos a lo largo de todas las etapas de su vida útil: costos de extracción de materias primas, transporte, fabricación, construcción, operación, mantenimiento y finalmente demolición de la edificación. Todas estas etapas están fuertemente relacionadas, de modo que los impactos de una etapa condicionan a las siguientes. Por ejemplo, si en la etapa de construcción de una vivienda en la ciudad de Concepción, no se considera la colocación de aislante térmico en piso en contacto con el terreno, esto generará un costo menos para en la construcción producto de la omisión de un material. Sin embargo, durante la etapa de operación, producto de la ausencia de aislante térmico en piso, y por consecuencia mayor transmitancia térmica de este, la vivienda tendrá mayores demandas de calefacción para mantener el interior en condiciones de confort térmico, mayor costo que se verá reflejado en compra de combustibles como leña o gas para acondicionar la vivienda.

Investigaciones relativamente recientes sobre la evaluación del comportamiento ambiental de las edificaciones (Wadel, CUCHI, Zabalza, Arenas) han generado ya un importante volumen de conocimientos y modelos de evaluación e identificación de impactos y beneficios sociales, económicos y ambientales específicos, entre los cuales figura el Análisis de Costo de Ciclo de Vida (ACCV) o life Cycle Costing (LCC).

El Análisis de Costos de Ciclo de Vida (ACCV) o Life Cycle Cost (LCC), es una herramienta para la evaluación del costo total de transformación de un activo con el tiempo, incluyendo la adquisición, operación, mantenimiento y costos de desconstrucción, es decir, de la cuna a la tumba. Su uso principal es la evaluación de diferentes opciones para alcanzar los objetivos de un determinado proyecto, donde las alternativas no sólo difieren en sus costos iniciales, sino también en sus costos operativos posteriores (Schneiderova, 2014).

El ACCV mide el valor presente de una propuesta de inversión en eficiencia energética, la cual se compara una condición base que cumple con iguales condiciones funcionales. Corresponde al valor presente de la sumatoria de costos de inversión, operación, mantenimiento, reparación, reemplazo y eventualmente desconstrucción durante el período de tiempo en que se haya planteado el análisis.

Se utiliza para determinar el costo total de los edificios a lo largo de su ciclo de vida, siendo una herramienta fundamental para lograr una mejor relación calidad – precio de los edificios, bienes construidos, producidos y utilizados. Permite determinar el flujo de costos actualizado neto, durante un periodo definido como ciclo de vida; que se asocian a los servicios de calefacción, refrigeración, iluminación, ventilación, provisión de agua, entre otros, dependiendo de lo que se requiera evaluar. Esto permite evaluar la rentabilidad de distintas medidas e inversiones asociadas a mejoras de eficiencia energética en edificaciones, considerando la optimización del costo de ciclo de vida de cada alternativa en un periodo de tiempo determinado.

Esta herramienta permite, además, estudiar el período de recuperación de inversión y/o reacondicionamiento de edificaciones dentro del ciclo de vida de este, pudieron determinar entre diferentes propuestas de mejora, cual es la que permite recuperar la inversión en un menor periodo de tiempo gracias a los ahorros energéticos generados.

El proceso para desarrollar un análisis de costo de ciclo de vida incluye los siguientes pasos: planning de análisis ACCV (por ejemplo, definición de objetivos), selección y desarrollo del modelo de ACCV (por ejemplo, la estructura de desglose de costos, identificación de las fuentes de datos y contingencias), aplicación del modelo de ACCV y documentación y revisión de resultados ACCV (Flanagan. R., et al, 1987).

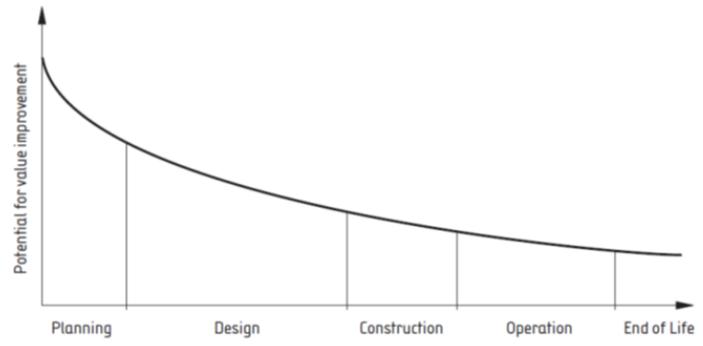
A nivel internacional existen diferentes normativas y métodos de cálculo para realizar el ACCV. En la Tabla 20 se muestran las principales normativas utilizadas.

**Tabla 20: Estándares Normativos ACCV**

| <b>Norma</b>  | <b>Referencia</b>  | <b>País</b> |
|---|--|-------------|
| UNE EN 60300 – 2009   | Cálculo Coste Ciclo de Vida<br>Gestión de Confiabilidad – Parte 3  | España      |
| ASTME 917 – 2013  | Standard Practice for<br>Measuring Life-Cycle Cost of Buildings and<br>Buildings Systems                         | EEUU        |
| ISO 15686 5: 2008   | Buildings and constructed assets – Service life<br>planning – Part 5: Life Cycle Costing                         | EEUU        |
| GUIDELINE 220: LIFE CYCLE<br>COSTING – 2006                 | German Facility Management Association (GEFMA)   | Alemania    |
| GEFMA – 2010 (German<br>Facility Management<br>Association) | Richtlinie 220 Lebenszykluskosten-rechnung   | Alemania    |
| NORWEGIAN ESTANDAR –<br>NS2454/2000                         | Life Cycle Cost for Building and<br>Engineering Work, Principles and Classification                              | Noruega     |
| ÖNORM B 1801-1 / 2007                                       | Kosten im Hoch – und Tiefbau –<br>Kostengliederung (Estructura de costos – Gestión<br>Proyectos de construcción) | Austria     |

El objetivo de este tipo de análisis es que el inversionista, o personas responsables de la toma de decisiones, visualicen los costos acumulados en una inversión. Para lo cual se consideran todos los costos a lo largo del ciclo de vida o período de estudio establecido; costos de diseño, compra, construcción, instalación, explotación, mantenimiento, reparación, sustitución y eliminación de un edificio o sistema.

Para la realización del ACCV, se consideran las diferentes etapas de ciclo de vida de un proyecto o edificación: Pre-inversión (pre-construcción), inversión (construcción), operación (uso) y etapa final (liquidación, conversión, rehabilitación, demolición, etc.). Según (ISO 15686-5:2008) el mayor potencial para una evaluación anticipada de la influencia de los costos asociados en el ciclo de vida de un edificio, están dadas en su etapa de planificación o pre-inversión, como muestra la Figura 7.



**Figura 7: Alcance de la Influencia sobre los Costos del Ciclo de Vida en el Tiempo.**  
**Fuente: ISO 15685-5, 2009**

El ACCV se puede realizar con diferentes métodos de valoración de capital, tales como la comparación de costos-beneficios, el valor actual neto (VAN), la tasa interna de retorno (TIR) o costo anual equivalente (CAE) (HATT, 2012). El primero constituye una medida de rentabilidad social debido a que se calcula utilizando precios sociales, mientras que la segunda se obtiene descontando los flujos de ingresos neto por una tasa social de descuento.

Para el caso de las edificaciones residenciales con criterios de Eficiencia Energética, la evaluación del Análisis de Costo de Ciclo de Vida (ACCV) tiene por objetivo identificar, cuantificar los costos y beneficios de proyectos de inversiones en eficiencia energética para la construcción habitacional, permitiendo comparar iniciativas y decidir la priorización y rentabilidad de cada una de las opciones de mejora.

En la realización de estos estudios en las edificaciones, el objetivo y alcance pueden variar en función del tipo y uso del edificio, localización y periodo de la vida útil del edificio en que se realice el análisis. (Pre diseño, construcción, operación o demolición).

El marco regulatorio del Análisis de Costo de Ciclo de Vida (ACCV), se sustenta en la Norma ASTM E917, 2013: Standard Practice for Measuring Life-Cycle Cost of Buildings and Building Systems. La cual entrega los lineamientos para el cálculo de Costo de Ciclo de Vida, permitiendo evaluar el impacto de distintos tipos de inversiones en eficiencia energética factibles a incorporar.

### 3.2.1 Cálculo de Costo de Ciclo de Vida

Para la realización de un ACCV asociado a mejoras en eficiencia energética implementadas se realiza la suma de los costos traídos a valor presente, utilizando la Ecuación 5:

**Ecuación 5: Costo de Ciclo de Vida**

$$VPLCC = IC + CO$$

Donde:

*VPLCC*: Valor presente costos ciclo de vida

*IC*: Costos de inversión inicial

*CO*: Valor presente costos de operación (Energía consumida)

La evaluación, los costos y procedimientos del ACCV se realizan según ASTM E917, los cuales se definen como se explica a continuación:

**Costos iniciales y/o colaterales:** Todos los costos en que se incurre para implementar estrategias de eficiencia energética en la edificación a evaluar. Se consideran los costos iniciales correspondientes a equipos, materiales y mano de obra para su implementación (corregida a valores sociales), además de incluir los costos colaterales como retiro de equipos o adaptaciones necesarias, entre otras. La implementación de estos costos queda reflejada a partir de  $N=0$  (periodo).

**Costos de mantenimiento y reemplazo:** Son aquellos costos por mantenimiento y reemplazo de las diferentes estrategias implementadas a lo largo de todo el periodo de evaluación. El impacto de estos costos en la evaluación, queda definido por su vida útil, monto de inversión que representa, tipo de uso y gastos que genere su operación.

Para su obtención, se traen a valor presente los costos correspondientes, mediante la Ecuación 6.

**Ecuación 6: Valor presente de una cantidad futura, considerando costos de mantención y reemplazo**

$$6.1 P = F \left( \frac{1}{(1+i)^N} \right)$$

$$6.2 P = A \left( \frac{(1+i)^N - 1}{i(1+i)^N} \right) N$$

Donde:

$P$  : Valor presente de una cantidad futura

$F$  : Suma futura equivalente a  $P$  al final de  $N$  periodos de tiempo a una tasa de descuento  $i$ .

$A$  : Pago al fin de un periodo, en una serie uniforme de pagos durante  $N$  periodos a una tasa de descuento  $i$ .

$N$  : Número de periodos de descuento

$i$  : Tasa de descuento

**Costos anuales o de operación:** Son aquellos que resultan de la demanda que exigen los diferentes servicios con los que funciona la edificación evaluada. Para su cálculo la norma establece la Ecuación 7:

**Ecuación 7: Valor presente de una cantidad futura, considerando costos anuales**

$$P = A0 \left( \frac{1+e}{i-e} \right) \left[ 1 - \left( \frac{1+e}{1+i} \right)^N \right]$$

Donde:

$P$  : Valor presente de una cantidad futura

$N$  : Número de periodos de descuento

$i$  : Tasa de descuento

$e$  : Tasa de aumento real de precios proyectados por periodo (escalamiento con inflación descontada)

$A_0$ : Valor inicial de un pago periódico evaluado al inicio de un periodo de estudio.

Mediante ella se obtiene el valor presente para costos que se incrementan a una determinada tasa de escalamiento en un periodo establecido.

La cuantificación de los beneficios se determina por la diferencia entre los costos de ciclo de vida de un caso base y los del mismo caso pero que integran estrategias de mejora de eficiencia energética. De acuerdo a criterios establecidos en la ASTM E917, para la valorización de los beneficios económicos que se generan se utiliza el indicador: Ahorro en UF/m<sup>2</sup>. El cual mide los beneficios económicos y sociales de la implementación de estrategias de mejora comparando a valor presente, los costos sociales acumulados durante el ciclo de operación de la edificación, para el caso base y sus propuestas de mejora.

El Análisis de Costo de Ciclo de Vida es una herramienta útil y completa para lograr disminuir los consumos energéticos e impactos del sector de la construcción, permitiendo evaluar a lo largo del ciclo de vida del proyecto, las estrategias más adecuadas y rentables no sólo del punto de vista económico, sino que también ambiental y social. Su realización de un ACCV permite además evaluar diferentes estrategias de mejora en la edificación, considerando todo el ciclo de vida, para así determinar cuál de estas es más eficiente y genera mayores beneficios.

### ***3.2.2 Ejemplos metodologías de evaluación de Rentabilidad Social y Análisis de Costo de Ciclo de Vida.***

Un ejemplo de metodología de rentabilidad social y Análisis de Costo de Ciclo de vida es la desarrollada por CITEC UBB en proyecto SERVICIO DE EVALUACIÓN DE LA RENTABILIDAD SOCIAL DE LA INCORPORACIÓN DE EFICIENCIA ENERGÉTICA EN EDIFICIOS PÚBLICOS licitación pública ID730566-15-LE14.

En el proyecto se desarrollaron tres metodologías como productos finales de la consultoría, las cuales se describen brevemente a continuación:

#### *1. Metodología general*

Basada en el análisis de costo de ciclo de vida, para el análisis ex ante de la rentabilidad social de inversiones en eficiencia energética y ahorro de agua incorporada en diseños de proyectos

públicos postulados al Sistema Nacional de Inversiones (SNI). Esta metodología es aplicable en los casos que se dispone de los diseños y especialidades del edificio, sirviendo para evaluar la rentabilidad social de las estrategias de Eficiencia Energética y Ahorro de agua incorporadas en edificios públicos de Chile.

Esta metodología, utiliza bases conceptuales y métodos derivados de la Norma E917 2013 Standard Practice for Measuring Life-Cycle Costs of Buildings and Building Systems, para estimar los costos del edificio en las diferentes etapas de su ciclo de vida, directrices de la División Social de Inversiones del Ministerio de Desarrollo social para la valoración social de costos y para la preparación y evaluación social de proyectos; herramientas y criterios aplicados en estudios de desempeño energético y ambiental de edificios, mediante métodos de simulación dinámica.

#### *2. Metodología simplificada*

Basada en el uso y análisis de cuadros de información deducidos de la aplicación de la metodología general a distintos casos de estudio en Chile. Aplica para la reparación y análisis ex ante de la rentabilidad social de inversiones en eficiencia energética y ahorro de agua incorporadas en ideas o perfiles de proyectos de edificios públicos postulados al Sistema Nacional de Inversiones.

Esta metodología es aplicable para los casos en los que no se dispone de los diseños de los edificios, sirviendo para orientar y seleccionar las mejores inversiones en Eficiencia Energética y Ahorro de Agua en la fase de diseño del edificio, en función de sus potenciales beneficios económicos y ambientales, permitiendo comparar dos o más escenarios definidos como edificio base y optimizados, es decir, edificios idénticos al base pero que incorporan las propuestas de mejora a evaluar.

Esta metodología, utiliza cuadros de información estandarizada sobre indicadores económicos y ambientales de distintas inversiones sobre mejoras de Eficiencia Energética y Ahorro de Agua en edificios públicos. Cuadros derivados de un experimento de simulación paramétrica, en el cual se determinó la rentabilidad social de distintas estrategias pasivas y activas incorporadas a tres edificios públicos tipo: oficina, salud y educación, ubicados en ciudades representativas de las nueve zonas climáticas de Chile.

3. *Metodología simplificada avanzada*

Basada en la metodología general y el uso de una herramienta informática que calcula y estima rendimientos energéticos, costos de ciclo de vida y rentabilidades sociales. Aplica a la reparación y análisis ex ante de la rentabilidad social de inversiones en eficiencia energética incorporadas en ideas y perfiles de proyectos de edificios públicos postulados al Sistema Nacional de Inversiones. Esta metodología es aplicable en los casos en que no se dispone de los diseños.

Su objetivo es entregar una guía, basada en el uso de la herramienta informática de cálculo denominada ECSE (Eficiencia y Costes Sociales en Edificios), herramienta desarrollada grupo de trabajo CITEC UBB liderada por el Dr. Alexis Pérez Fargallo. Sirve para evaluar y seleccionar inversiones según tipo de edificio y zona climática en tiempo real, en función de sus potenciales impactos energéticos, ambientales y de su rentabilidad social. Esta metodología difiere de las anteriores en sus alcances y precisión, permitiendo evaluar casos de edificios con geometrías e instalaciones mucho más diversos que los edificios utilizados para las metodologías anteriores.

Esta metodología se sostiene en uso de la herramienta ECSE, de análisis cuasi estacionario para realizar un balance calórico del edificio, estimar sus demandas y consumos de calefacción, refrigeración, costos y beneficios económicos y ambientales que tendrían ciertas estrategias en relación a otras en las distintas zonas de Chile.

Utiliza además bases de datos meteorológicos de las principales ciudades del país, información del edificio, programas de uso y cargas; bases de datos de costos de inversión y operación deducidas de estudios de presupuestos y de gastos de operación comunes en edificios públicos, y métodos y bases de cálculo de las normas: ISO 13790:2008 Energy performance of Buildings - Calculation of Energy use for space heating and cooling y; ASTM E917 2013 Standard Practice for Measuring Life-Cycle Costs of Buildings and Building Systems.

## **CAPITULO 4: CONSTRUCCIÓN HABITACIONAL EN CONCEPCIÓN**

Durante el desarrollo de este capítulo se realizará una descripción de la construcción habitacional en Chile, profundizando en la materialidad, comportamiento energético, aislación térmica y hermeticidad empleada en las diferentes zonas geográficas. Hasta finalmente abordar la construcción habitacional en la ciudad de Concepción incluyendo el comportamiento energético y climático de las viviendas en la zona.

### **4.1 Construcción Habitacional en Chile**

La construcción residencial debe albergar adecuadamente a la población, mejorando la calidad ambiental y, al mismo tiempo, reducir el consumo energético por el progresivo agotamiento de fuentes fósiles. En este sentido, Chile mantiene un proceso de constante edificación habitacional basado en programas públicos y privados que han permitido alcanzar en las últimas décadas una amplia cobertura residencial, ejemplar entre los países en desarrollo (CCHC, 2011).

El mercado de la construcción habitacional es uno de los más dinámicos y exigentes de la economía chilena actualmente. La industria se ha visto con la necesidad de mejorar sus indicadores de productividad y calidad; es decir, atender al constante aumento de demanda por más viviendas y edificios residenciales y a la vez, responder a las normas de construcción que se les exige e innovar y mejorar estándares de eficiencia energética y acondicionamiento ambiental, a través de la implementación de tecnologías de nuevos materiales, procesos y sistemas constructivos.

#### **4.1.1 *Materialidad predominante construcción habitacional***

De acuerdo con la clasificación de la Ordenanza General de Urbanismo y Construcción, bajo la denominación de material predominante de la construcción, se identifica al elemento estructuralmente soportante y transmisor de carga del sistema constructivo. En los casos que se utilizan sistemas combinados, lo habitual es que se denomina en primer lugar con el material predominante del sistema, o como un sistema mixto.

En Chile, cerca del 80% de la construcción habitacional se realiza en base a sistemas constructivos en hormigón, albañilería de ladrillos de bloque y estructuras ligeras de madera y acero.

La Tabla 21 muestra la presencia de distintos materiales en la construcción habitacional en Chile. Se observa que predomina utilización de hormigón (36,8 %) como principal sistema de construcción, sistema el cual se utiliza principalmente en edificios departamentos.

**Tabla 21: Sistemas y Materiales Predominantes de la Construcción Habitacional de Nivel Nacional.**

**Fuente: Elaboración propia con datos de INE**

| Materialidad predominante en muros | Edificación total | Número | Superficie |       |
|------------------------------------|-------------------|--------|------------|-------|
|                                    |                   |        | m2         | %     |
| Hormigón                           | 7.012.075         | 54.640 | 3.841.653  | 36,8% |
| Ladrillo                           | 4.112.918         | 47.655 | 3.389.983  | 32,5% |
| Madera                             | 2.341.414         | 28.954 | 1.819.052  | 17,4% |
| Bloque cemento                     | 470.225           | 6.790  | 425.586    | 4,1%  |
| Paneles                            | 322.888           | 3.462  | 232.206    | 2,2%  |
| Metal panel preformado             | 1.776.007         | 1.128  | 110.826    | 1,1%  |
| Adobe                              | 19.060            | 80     | 11.776     | 0,1%  |
| Otros                              | 757.062           | 8.362  | 600.806    | 5,8%  |

En la Figura 8 se muestra cómo se relacionan los distintos materiales predominantes con las zonas térmicas en que se emplean. En las primeras zonas térmicas, con climas más calurosos, predomina la construcción en pesada en base a hormigón, bloques de cemento y ladrillo, los cuales van decayendo progresivamente, especialmente la construcción en hormigón, a medida que se avanza hacia las zonas más templadas y frías del centro y sur del país. Esto se debe a que este tipo de muros requieren incorporar mayores espesores de aislación térmica para cumplir con los estándares requeridos en esas zonas térmicas, lo que significa mayores costos de inversión que les hacen perder competitividad. Desde la zona central hacia el sur, aumenta la construcción con madera y paneles, debido a su ventaja en cuanto a sus mejores propiedades de aislación térmica, y manteniéndose en menor porcentaje, la construcción en albañilería y bloques.

Representatividad de Materialidad por Zona Térmica

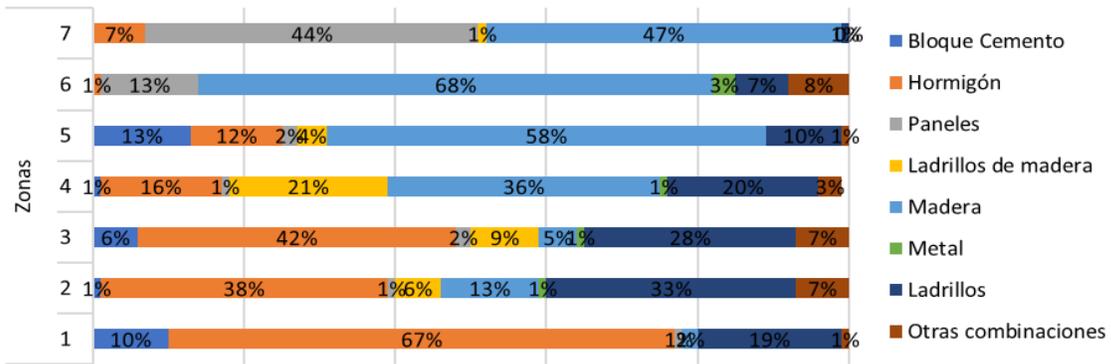
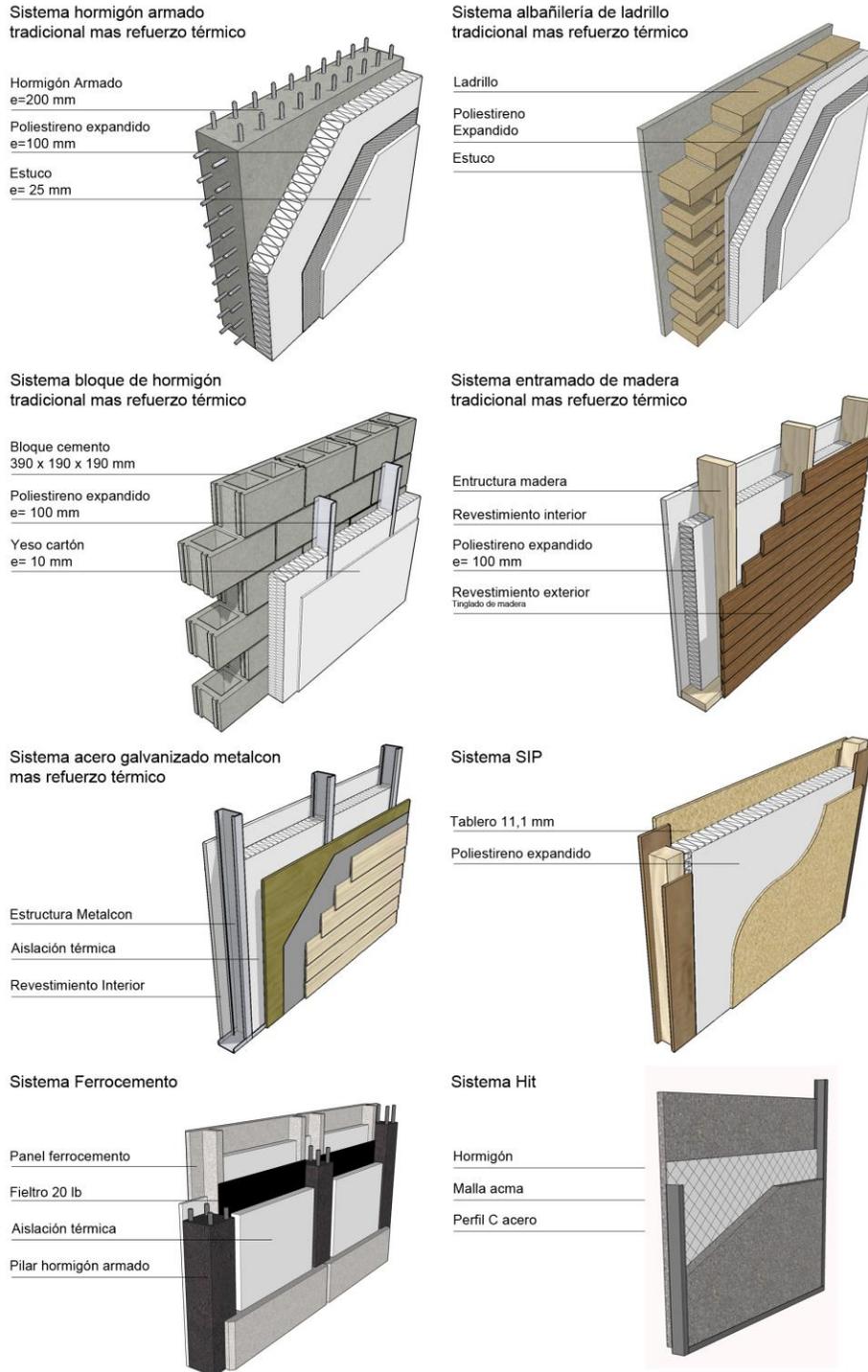


Figura 8: Porcentaje de Representatividad de Materialidades por Zonas Térmicas.

Fuente: Elaboración propia con datos de INE

En la Figura 9 se muestran las principales combinaciones de sistemas constructivos, en base a materialidades de hormigón, albañilería, madera, paneles y estructuras livianas, presentes actualmente en la construcción habitacional de Chile.

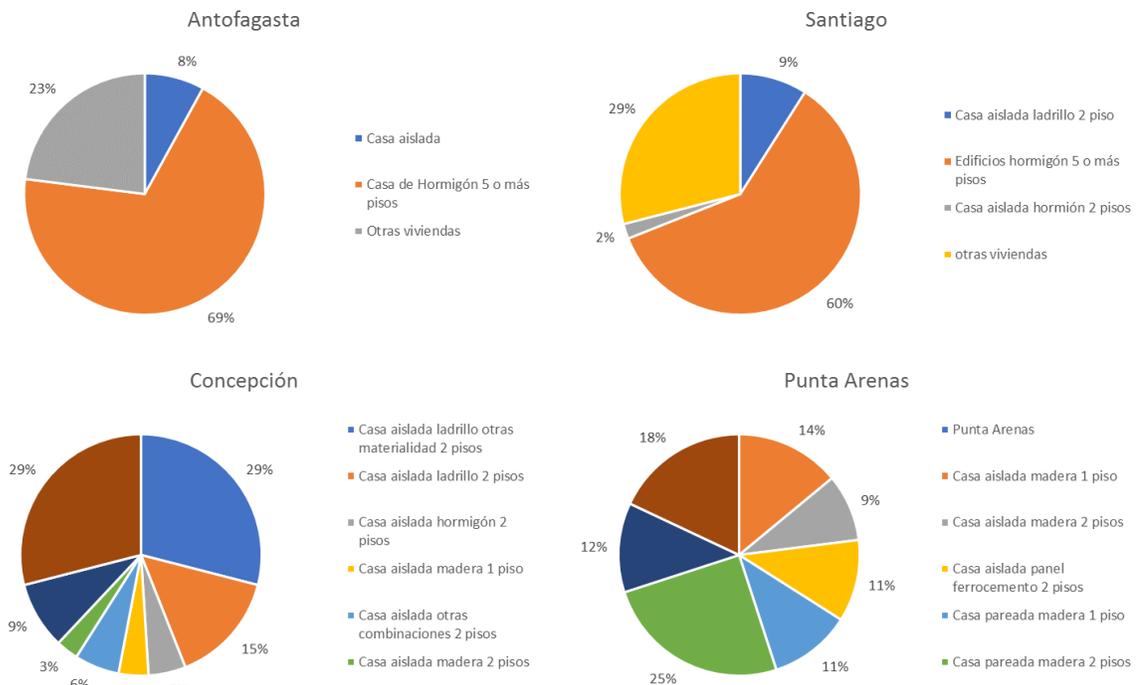


**Figura 9: Distintas Soluciones Tecnológicas para Envolventes en el Mercado Nacional (Fuente: Manual de Hermeticidad al Aire de Edificaciones, 2014).**

La construcción en base a sistemas de hormigón y albañilería, que hasta antes de la reglamentación térmica se resolvía prácticamente de la misma forma en las distintas zonas térmicas del país, debió reforzar sus propiedades de aislación térmica para poder ser empleada desde las zonas 3 a la 7 para dar cumplimiento con la reglamentación.

La construcción en base a sistemas livianos; madera, paneles y otras tecnologías, presentan ventajas en comparación al hormigón y albañilería, considerando a sus mayores atributos térmicos como ventaja diferenciadora. Sin embargo, una desventaja de la construcción en base a madera y sistemas ligeros en comparación al hormigón son las infiltraciones de aire.

Según el estudio de línea base de las infiltraciones en Chile, trabajo desarrollado por CITEC UBB en el contexto del proyecto Fondef D10 I 1025, arrojó que la media de la hermeticidad de la construcción en madera está en torno a los 25 1/h, mientras que la del hormigón es 9 1/h, siendo de 12,9 1/h la media del parque habitacional. En la Figura 10 se muestran el uso de tipologías y materialidades predominantes del parque de construcciones habitacionales en algunas ciudades de Chile.



**Figura 10: Distribución Porcentual de Materialidad Predominante en Muros en Edificación Habitacional.**

**Fuente: Elaboración propia con datos de INE**

En la ciudad de Antofagasta el 80% de las viviendas construidas corresponde a viviendas aisladas y edificios de hormigón. En Santiago, la distribución de tipologías se observa más homogéneamente distribuida, en la cual tres tipologías representan el 70% de la edificación: edificios de hormigón, vivienda aislada y vivienda aislada de albañilería.

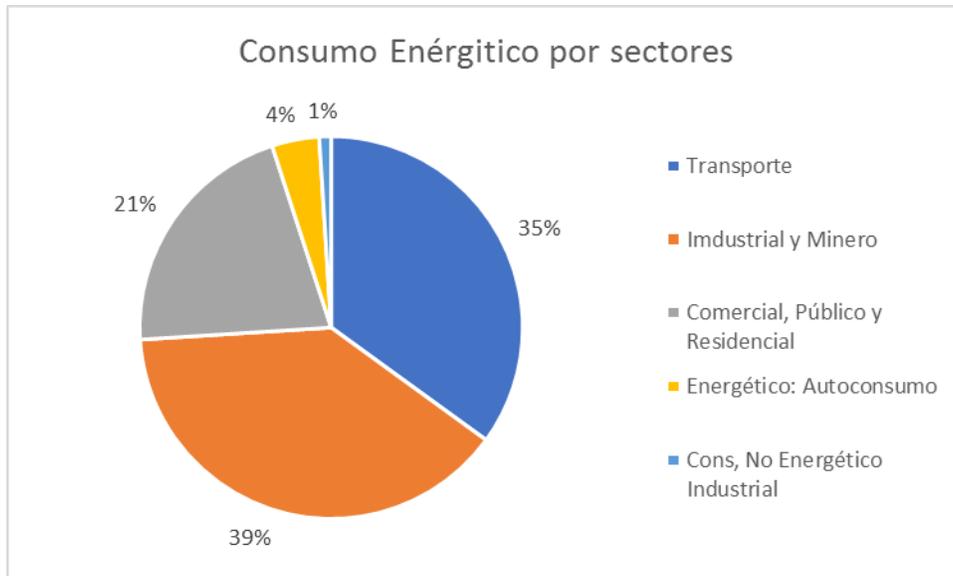
En el caso de Concepción, ciudad en la cual se centra esta investigación, el 70% de las viviendas construidas corresponde a vivienda aislada y pareada de dos niveles: con un primer nivel de albañilería y segundo de madera, viviendas y edificios de hormigón, viviendas de uno o dos niveles de madera y otras combinaciones que incorporan bloques y paneles.

En Punta Arenas, predominan las viviendas aisladas de madera de uno o dos niveles, viviendas y edificios de hormigón, y otras materialidades.

#### **4.1.2 Comportamiento energético**

Actualmente Chile presenta una crisis múltiple en el sector energético, debido a altos niveles de contaminación, elevados precios de energía, una matriz de generación escasamente diversificada y concentrada en fuentes fósiles mayoritariamente de origen extranjero, inseguridad en el abastecimiento por restricciones ambientales, inequidad en la distribución eléctrica y retraso de políticas energéticas reguladoras y promotoras de nuevas fuentes (CCTP, 2011). Es producto de esta crisis y al trabajo de investigación nacional e internacional, que las cualidades y estándares que rigen la construcción habitacional se encuentran en constante revisión, en favor de disminuir el consumo energético y a la vez, generar las condiciones de confort ambiental necesarias para el habitar.

Chile posee un consumo energético que va en aumento, consumo del cual la construcción habitacional, en conjunto con el sector público y comercial, son responsable de aproximadamente el 20% como se muestra en la Figura 11. Debido a la alta representatividad de este sector en el consumo energético nacional, entre otros factores, es que la construcción habitacional se encuentra en un proceso constante de mejoras orientadas a disminuir su consumo energético.



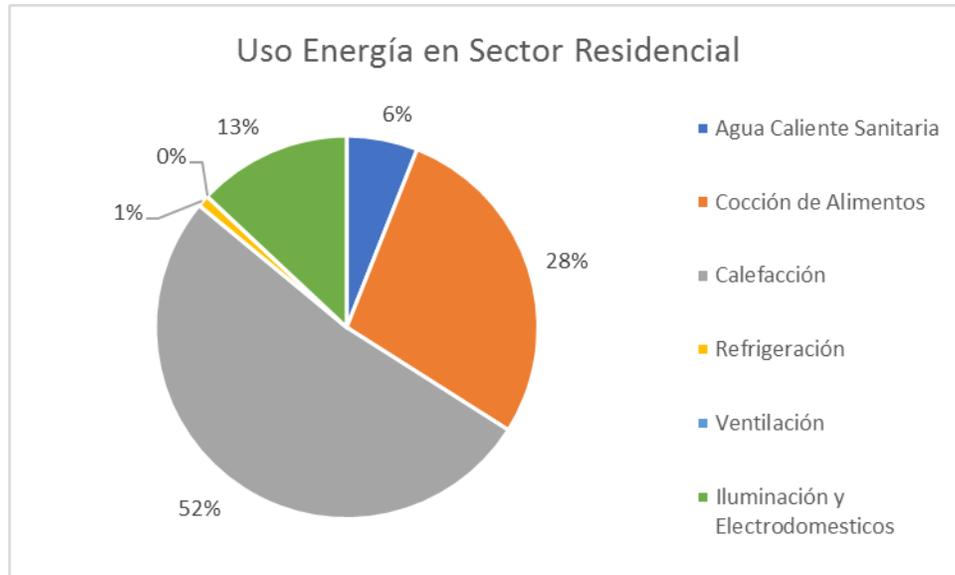
**Figura 11: Consumo Energético por Sector en Chile**  
Fuente Anuario Estadístico de Energía 2016, CNE

Durante el ciclo de vida de una vivienda, la fabricación de materiales para construir un metro cuadrado de edificación estándar, puede suponer el consumo de energía equivalente a unos 6.000 MJ. El uso del mismo edificio, en condiciones habituales, durante el periodo de un año (expresado en  $m^2$ ), puede alcanzar los 500 MJ. Considerando la energía de uso del edificio para una vida útil de 50 años y sumándola a la de producción de los materiales, se llega a un valor total de 30.000 MJ/ $m^2$  o bien 755 litros de gasolina/ $m^2$  (Wadel *et al.*, 2010).

La construcción habitacional en Chile genera altas demandas energéticas para mantener en condiciones de confort su interior, demandas que en general se traducen en calefacción, debido a la insuficiente protección térmica y falta de restricción de las infiltraciones de aire.

La unidad habitacional también tiene un ratio de esa naturaleza, y en Chile la media está en torno a \$140-%150 el kW/h el  $m^2$ , lo que es alto, y equivale a un vehículo que da 4km/litro. (A. Bobadilla, entrevista Diario Concepción, viernes 29 abril 2016).

La Figura 12 muestra la distribución de los consumos energéticos de la construcción habitacional en Chile.



**Figura 12: Uso de la Energía en el sector Residencial en Chile año 2011**  
Fuente CNE

El uso de los recursos energéticos en la construcción habitacional de Chile se distribuye de la siguiente forma: un 52% se deriva en calefacción, haciendo de esta el consumo energético más importante para una vivienda. Un 28% se deriva en la cocción y preparación de alimentos, 13% en iluminación y electrodomésticos, mientras que el 7% restante se distribuye entre agua caliente sanitaria, refrigeración y ventilación.

La Tabla 22 muestra las demandas energéticas por tipología constructiva presente en cuatro ciudades representativas del país. Demandas de calefacción, refrigeración y total, considerando la carga asociada a las infiltraciones normalizadas a cada tipo de construcción. El cuadro incluye también las demandas ponderadas por provincia, indicador que considera la participación, por superficie construida, de los distintos tipos de construcción presentes en el parque de vivienda (Bobadilla, 2014).

Las tipologías constructivas consideradas en la Tabla 22, se definen en Tabla 23.

**Tabla 22: Demanda Energética de Construcciones Habitacionales.**  
**Fuente Elaboración propia**

| Parámetros | PROVINCIA - TIPOLOGÍA |           |           |          |           |            |          |           |           |           |            |             |              |           |           |           |            |            |
|------------|-----------------------|-----------|-----------|----------|-----------|------------|----------|-----------|-----------|-----------|------------|-------------|--------------|-----------|-----------|-----------|------------|------------|
|            | Antofagasta           |           | Santiago  |          |           | Concepción |          |           |           |           |            |             | Punta Arenas |           |           |           |            |            |
|            | T6: VH2A              | T7: VDHYL | T3: VAL2A | T6: VH2A | T7: VDHYL | T3: VAL2A  | T6: VH2A | T7: VDHYL | T11: VM1A | T13: VM2A | T17: VFC2A | T19: VALM2A | T11: VM1A    | T13: VM2A | T12: VM1P | T14: VM2P | T17: VFC2A | T18: VFC2P |
| In         | 1,3                   | 1,0       | 0,9       | 0,9      | 1,6       | 1,4        | 1,5      | 2,6       | 2,3       | 2,7       | 1,7        | 1,4         | 2,9          | 3,3       | 4,0       | 3,3       | 2,1        | 1,0        |
| Cei        | 24                    | 22        | 37        | 31       | 63        | 61         | 66       | 11<br>2   | 10<br>6   | 11<br>7   | 75         | 61          | 23<br>8      | 25<br>8   | 33<br>6   | 25<br>6   | 16<br>9    | 81         |
| Dec        | 86                    | 60        | 97        | 10<br>4  | 60        | 11<br>4    | 94       | 74        | 12<br>5   | 93        | 14<br>9    | 17<br>5     | 27<br>3      | 19<br>7   | 24<br>8   | 18<br>3   | 23<br>7    | 22<br>6    |
| Der        | 9                     | 8         | 11        | 12       | 9         | -          | -        | -         | -         | -         | -          | -           | -            | -         | -         | -         | -          | -          |
| Dett       | 12<br>0               | 89        | 14<br>5   | 14<br>7  | 13<br>1   | 17<br>5    | 16<br>0  | 18<br>6   | 23<br>1   | 21<br>0   | 22<br>5    | 23<br>6     | 51<br>1      | 45<br>5   | 58<br>5   | 43<br>9   | 40<br>6    | 30<br>7    |
| Depp       | 92                    |           | 134       |          |           | 207        |          |           |           |           |            |             | 449          |           |           |           |            |            |

Donde

In : Coeficiente de infiltración normalizado (1/h)

Cei : Carga energética de infiltración (kWh/m<sup>2</sup> año)

Der : Demanda energética de refrigeración (kWh/m<sup>2</sup> año)

Dec : Demanda energética de calefacción (kWh/m<sup>2</sup> año)

Dett : Demanda energética total tipo de construcción (kWh/m<sup>2</sup> año)

Depp : Demanda energética total provincial ponderada (kWh/m<sup>2</sup> año)

**Tabla 23: Tipo de Viviendas que conforman la Muestra.**  
**Elaboración propia con datos de INE**

| Código          | Descripción  | Superficie (m <sup>2</sup> ) |
|-----------------|--|------------------------------|
| T1:VAL1A        | Vivienda albañilería de ladrillo de un piso aislada                                    | 67                           |
| T2:VAL1P        | Vivienda albañilería de ladrillo de un piso pareada                                    | 67                           |
| T3:VAL2A        | Vivienda albañilería de ladrillo de dos pisos aislada                                  | 75                           |
| T4:VAL2P        | Vivienda albañilería de ladrillo de dos pisos pareada                                  | 75                           |
| T5:VH1A         | Vivienda hormigón un piso aislada  | 66                           |
| T6:VH2A         | Vivienda hormigón dos pisos aislada  | 66                           |
| T7:VDHYL        | Vivienda departamento hormigón y albañilería ladrillo                                  | 46                           |
| T8:VBC1A        | Vivienda bloque cemento un piso aislada  | 50                           |
| T9:VBC2A        | Vivienda bloque cemento dos pisos aislada  | 75                           |
| T10:VBC2P       | Vivienda bloque cemento dos pisos pareada  | 75                           |
| T11:VM1A        | Vivienda de madera un piso aislada   | 50                           |
| T12:VM1P        | Vivienda de madera un piso pareada   | 50                           |
| T13:VM2A        | Vivienda de madera dos pisos aislada   | 80                           |
| T14:VM2P        | Vivienda de madera dos pisos pareada   | 80                           |
| T15:VPS1A       | Vivienda panel SIP un piso aislada   | 66                           |
| T16:VFC1A       | Vivienda ferrocemento un piso aislada  | 66                           |
| T17:VFC2A       | Vivienda ferrocemento dos pisos aislada  | 75                           |
| T18:VFC2P       | Vivienda ferrocemento dos pisos pareada  | 75                           |
| T19:VALM2<br>A  | Vivienda albañilería de ladrillo, segundo piso en estructura liviana de madera aislada | 75                           |
| T20:VALMS2<br>P | Vivienda albañilería de ladrillo, segundo piso en estructura liviana de madera pareada | 75                           |

Se observa la predominancia de las demandas de calefacción por sobre las de refrigeración a nivel nacional, en la cual sólo las tipologías analizadas en las ciudades Antofagasta y Santiago presentan bajas demandas de refrigeración entre 8 y 12 kWh/m<sup>2</sup> año.

Las demandas de calefacción, en las diferentes tipologías, generan variadas demandas energéticas, desde los 60 kWh/m<sup>2</sup> (T7: VDHYL) en Antofagasta, hasta los 273 kWh/m<sup>2</sup> (T11: VM1A) en Punta Arenas, lo cual se condice lógicamente con las condiciones climáticas en las cuales se emplazan las viviendas señaladas y denotan un bajo nivel de calidad energética de la construcción habitacional.

Se observa, además, como la carga energética por infiltración (kWh/m<sup>2</sup>) responde no sólo a las condiciones climáticas del emplazamiento, sino que además a la tipología constructiva y al grado de infiltración al aire que posea dicha tipología. En esta se producen grandes diferencias; desde los 24 kWh/m<sup>2</sup> de una vivienda de hormigón de dos pisos y aislada (T6: VH2A) en la ciudad de Antofagasta, hasta los 336 kWh/m<sup>2</sup> de una vivienda de madera de un nivel pareada (T12:VM1P) en la ciudad de Punta Arenas.

Las diferentes demandas de consumo energéticos registradas se deben a los distintos niveles de rigurosidad climática en la cual se emplazan las viviendas y en como la actual calidad térmica de estas se corresponde o no a los requerimientos propios de su ubicación. Dos de las variantes de acondicionamiento térmico más importantes son la aislación térmica y la hermeticidad al aire.

#### **4.1.3 Aislación térmica**

Los actuales estándares aislación térmica de cumplimiento obligatorio no están acordes a los requerimientos climáticos de las diferentes zonas térmicas, por lo cual prestaciones son incompatibles con las actuales necesidades de uso mínimo óptimo de energía que demanda la sociedad.

Las viviendas demandan el doble de energía necesaria para proveer los servicios de confort térmico. Parte importante de esto, es el bajo estándar de aislación térmica que se exige a la vivienda en la zona centro sur y sur más poblada del país. Los estándares en esas zonas debieran mejorarse, de modo de pasar, desde los actuales niveles 1,6 - 1,9 W/m<sup>2</sup>K que se exigen en el territorio comprendido por las zonas 3, 4 y 5, que concentran más del 80% de la población, a niveles de 0,4 - 0,6 W/m<sup>2</sup>K. (MINVU, 2013).

En la construcción habitacional, la práctica habitual es sólo cumplir con los estándares de aislación térmica de cumplimiento obligatorio. Situación que se da generalmente en la zona norte con la construcción en base a hormigón y bloques, mientras que, en el sur, y producto del mayor uso de la construcción en madera y a las mejores propiedades térmicas de esta en combinación a aislantes térmicos, el estándar de la construcción habitacional suele superar el estándar mínimo reglamentario.

La demanda de calefacción es el principal requerimiento de la construcción habitacional en Chile, excepto en ciudades al norte del país donde el mayor requerimiento de acondicionamiento ambiental es el enfriamiento debido a las altas temperaturas de la zona. La energía para calefaccionar varía entre 133 y 484 kWh/m<sup>2</sup> año, estándares que los expertos y la sociedad consideran excesivamente altos hoy en día. La demanda energética es entre un 50 y 200% superior, en las zonas antes mencionadas, a la que debiera tener las construcciones si sus envolventes tuviesen protecciones térmicas óptimas como establecen estudios (Damico, y otros, 2012; Escorcía et al, 2012; Trebilcock, Celis & Miotto, 2012).

#### **4.1.4 Hermeticidad**

La hermeticidad al aire de las viviendas es otro factor que explica el mal rendimiento y grandes consumos energéticos que estas generan. Actualmente, no existe una normativa obligatoria que limite las infiltraciones de aire de las construcciones habitacionales, lo cual se traduce en ausencia o uso deficiente de técnicas de sellado y de mala calidad de ejecución de encuentros y uniones.

En consecuencia, una componente importante de la demanda energética para el acondicionamiento térmico de la vivienda, que en algunos casos puede representar el 60%, no es controlada (CITEC UBB, DECON UC, 2010; Ossio, F. et al, 2012) lo cual sumado al bajo poder aislante que la normativa exige para la envolvente térmica, generan los problemas de discomfort térmico y altas demandas energéticas antes mencionadas.

En la Tabla 24 se presenta la línea base de las infiltraciones de aire, considerando las principales materialidades de viviendas en Chile. Estas propiedades se consiguieron como resultado de un extenso trabajo de campo realizado entre los años 2012 y 2013 a 191 unidades habitacionales de distintas tipologías y materialidades. Trabajo desarrollado en el contexto del proyecto Fondef D10 |1025.

**Tabla 24: Línea Base de Infiltraciones de Aire de Construcción Habitacional en Chile por Materialidad Predominante en Muros. Fuente: Fondef D10 I1025**

| Materialidad   | Valor Línea Base n50 (1/h) | Mínimo Valor Muestra n50 (1/h) | Máximo Valor Muestra n50 (1/h) | Valores esperados con un 95% de confianza |                |
|--|----------------------------|--------------------------------|--------------------------------|---|----------------|
|  |                            |                                |                                | Máx. n50 (1/h)                            | Mín. n50 (1/h) |
| Hormigón   | 9,0                        | 2,6                            | 28,6                           | 7,8                                       | 11,2           |
| Ladrillo   | 11,8                       | 4,3                            | 19,6                           | 10,9                                      | 13,4           |
| Ladr. /Estructura Liviana  | 15,0                       | 2,3                            | 49,2                           | 11,7                                      | 13,8           |
| Madera   | 24,6                       | 4,5                            | 49,8                           | 18,6                                      | 30,6           |
| Otras Combinaciones  | 10,2                       | 3,3                            | 15,7                           | 7,9                                       | 12,6           |
| Hermeticidad media construcción habitacional: 12,9 1/h a 50 Pa con valores esperados entre 11,1 y 14,7 1/h con un 95% de confianza |                            |                                |                                |   |                |

Las propuestas de mejora orientadas a disminuir el consumo energético de la construcción habitacional en Chile, y en el caso específico de esta investigación en Concepción, debieran considerar, además de mejorar el estándar de aislación térmica de las viviendas, disminuir las infiltraciones de aire y con esto mejorar la hermeticidad de las construcciones, resolviendo el problema de los altos consumos de acondicionamiento térmico de una forma más completa y eficaz, permitiendo además que las medidas sean económica y socialmente más rentables.

Es importante mencionar que pese a que la hermeticidad al aire, estanqueidad de fachada y sistemas de ventilación no son el objetivo principal ni variables de acondicionamiento ambiental en el que se desea profundizar en esta investigación, se consideraron como parte de las propuestas de mejora debido a su importancia en la consecución del objetivo de limitar a valores de uso mínimo óptimo el consumo energético, además de su repercusión en la rentabilidad de las propuestas.

#### **4.2 Construcción habitacional en Concepción**

Según diferentes estudios ambientales realizados (estudios de Ambiente Consultores, 2007; Bustamante, 2009; Centro de Desarrollo Tecnológico, 2010; Fissore, 2012) en la ciudad de Concepción una vivienda tiene una demanda energética sobre los 100 kwh/m<sup>2</sup>, los cuales son principalmente requerimientos de calefacción.

La ciudad de Concepción se localiza a 36°47' de latitud sur y 73°7' de longitud oeste, a 15 metros de altitud promedio sobre el nivel del mar.

El área metropolitana de Concepción es la segunda concentración urbana más grande del país con una población de un millón de habitantes aproximadamente, distribuidos en once comunas. La ciudad de Concepción, es el centro histórico, político y de servicios de este sistema. La ciudad, posee una población de 229.118 habitantes (INE, 2016). El área residencial construida representa 76,4% del total de superficie comunal (Salinas y Pérez, 2011).

El Área Metropolitana de Concepción ha crecido de forma similar a la mayoría de las ciudades latinoamericanas, con una concentración de servicios, expansión horizontal en el entorno geográfico, presencia ocasional de informalidad, segregación residencial y diversidad de instalaciones industriales y equipamientos (Borja, 2011).

El comportamiento térmico de la construcción habitacional es variado a lo largo del año, debido a lo marcadas que son sus estaciones. En invierno el flujo de pérdida de energía aumenta y, en consecuencia aumenta la demanda energética para calefaccionar, mientras que en verano en menor medida debido a condiciones climáticas, se generan demandas energéticas de refrigeración. La demanda energética en una vivienda tipo en Concepción, muestra que al menos 70% de la energía es para calefaccionar (independiente del combustible que se utilice para poder satisfacerla) de un total de 13,500 kWh/año (Fissore, 2009).

En el estudio del desempeño ambiental de la construcción habitacional en la ciudad de Concepción (García Alvarado, R., Herrera Ojeda, R., Muñoz Viveros, C., & Wandersleben, G. 2016) se realizaron simulaciones energéticas y monitorizaciones de las condiciones ambientales para conocer el desempeño energético de viviendas representativas de la construcción habitacional. La mayor demanda energética detectada fue la de calefacción con 134 kWh/m<sup>2</sup> aproximadamente y bajas demandas de refrigeración, lo cual se debe al contexto climático en el cual se emplazan las viviendas.

#### **4.2.1 Levantamiento de muestra construcción habitacional Concepción**

Se recabó información histórica de tres bases de datos principales:

a.- Base de datos de SERVIU Biobío, consistente en registro de construcciones habitacionales materializadas con subsidio del estado en la región del Biobío entre los años 2010-2015.

b.- Especificaciones técnicas de proyectos que forman parte de la muestra. Se obtiene de esta fuente información de viviendas, características de materialidad, agrupamiento, tipo de vivienda, entre otros.

c.- Base de datos de CITEC UBB relativa a estudios experimentales de diagnóstico de fallas realizadas en dicho centro.

El universo de estudio parte por todas las construcciones habitacionales materializadas con subsidio del estado en la región del Biobío entre los años 2010 y 2015, es decir 41.009 unidades habitacionales según informe SERVIU Biobío.

El desglose por capital provincial del universo de estudio es el siguiente y se muestran en la Figura 13:

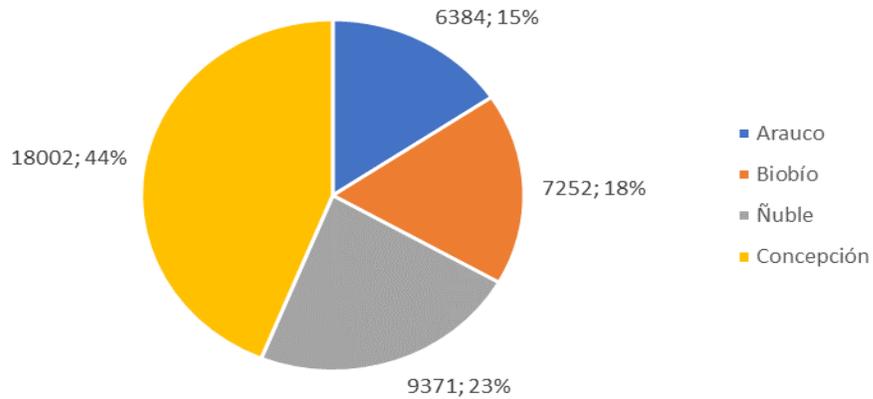
Arauco : 6.384 viviendas – 15% del universo.

Biobío : 7.252 viviendas – 18% del universo.

Ñuble : 9.371 viviendas – 23% del universo.

Concepción : 18.002 viviendas – 44% del universo.

Viviendas universo de estudio Región del Bío Bío

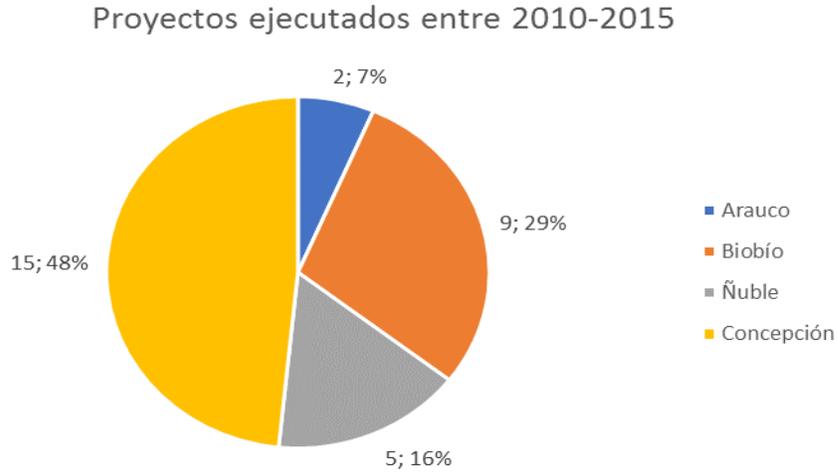


**Figura 13: Construcciones Materializadas con Subsidio en la Región del Biobío**

En tanto el universo muestral, sujeto de observación y análisis se constituyó con 6.405 casos de construcciones habitacionales (16% del universo de estudio) pertenecientes a 31 proyectos inmobiliarios ejecutados en ese período.

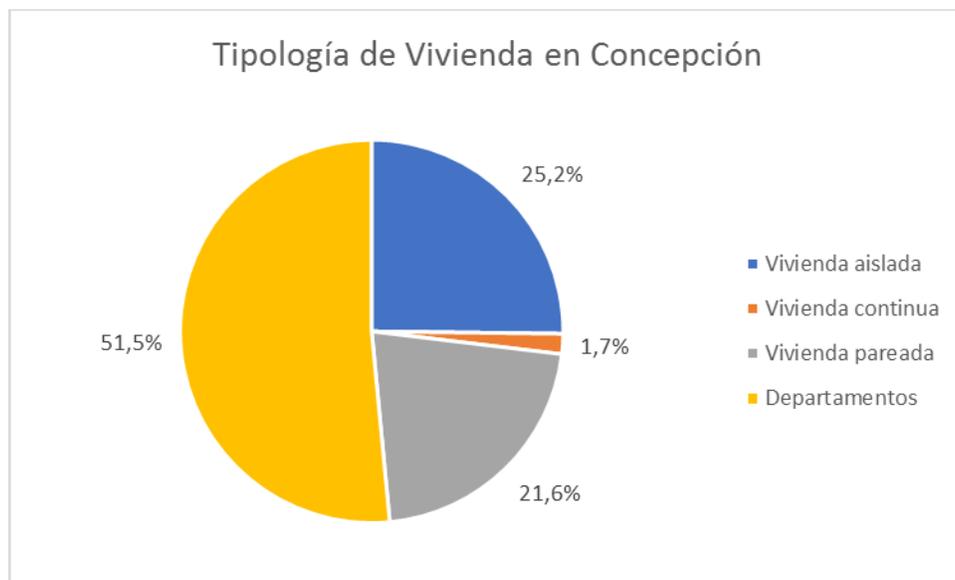
El desglose por provincia de la muestra observada es el siguiente y se muestra en la Figura 14:

|            |                    |
|------------|--------------------|
| Arauco     | 02 proyectos – 07% |
| Biobío     | 09 proyectos – 29% |
| Ñuble      | 05 proyectos – 16% |
| Concepción | 15 proyectos – 48% |



**Figura 14: Proyectos Ejecutados en la Región del Biobío entre 2010 y 2015**

Las tipologías a las cuales pertenecen estas viviendas son variadas, existiendo en la ciudad de Concepción una diversa participación de tipologías: vivienda aislada, continua, pareada y edificios residenciales. La Figura 15, muestra el porcentaje de participación de tipologías de vivienda en la ciudad de Concepción, según INE 2011. De acuerdo a esto, la tipología de vivienda individual más representativa corresponde a la vivienda aislada con un 25,2% de participación, mientras que el 51,5% corresponde a viviendas colectivas en edificios residenciales.



**Figura 15: Porcentaje de participación tipologías de vivienda en la ciudad de Concepción.**

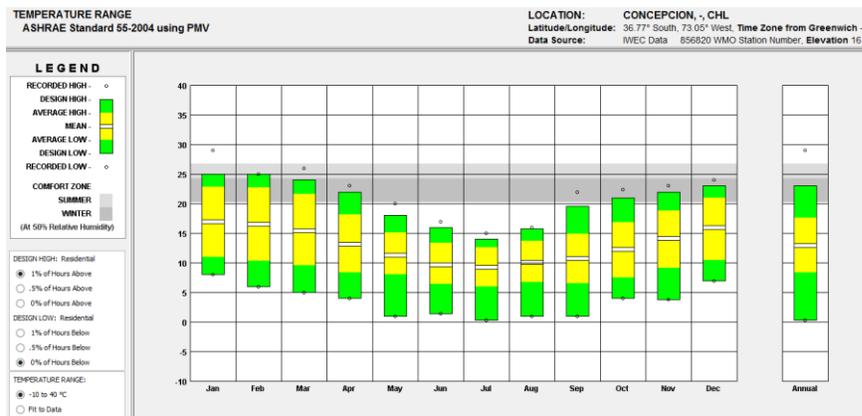
**4.2.2 Clima Concepción**

Según la clasificación de la NCh 1079, la ciudad se comprende dentro de la zona Sur Litoral. Sus principales características son inviernos lluviosos, moderadamente fríos y veranos templados, con temperaturas medias de 8,5 °C en invierno y 16,3 °C en verano. Humedad ambiente alta (70%) durante todo el año. La oscilación diaria de temperaturas es baja; 7,5 °C en enero y 10,9 °C en junio. En esta zona se dan principalmente vientos norte con precipitaciones cercanas a los 1.110 mm anuales e irradiación global media diaria de 1,8 a 6,6 kW h/ m<sup>2</sup>. El suelo y el ambiente son salinos y húmedos.

Las principales condiciones climáticas que determinan el énfasis de las estrategias de diseño en Concepción son las bajas temperaturas en invierno y las altas humedades ambiente en invierno, las que combinadas al uso y falta de ventilación, generar los problemas de condensación al interior de las viviendas.

**4.2.1.1 Análisis Climat Consultant**

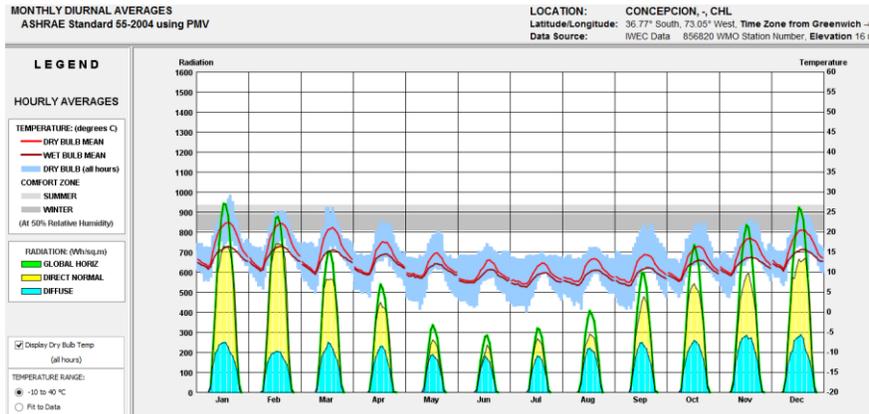
**Temperaturas:** Se observa en la Figura 16 que las temperaturas máximas no superan los 25°C en los meses de diciembre, enero, febrero y marzo. Los meses de mayo, junio, julio y agosto presentan temperaturas máximas entre los 14 y 18°C. Las medias de los meses calurosos se dan entre los 15 y 17°C, las temperaturas medias de los meses de invierno se dan entre los 9 y 11°C, mientras que la media anual se da entre los 12 y 14°C, dado que en los meses más fríos se registran temperaturas entre los 0 y 6°C.



**Figura 16: Rango de Temperaturas Concepción.**

Base Archivo Meteonorm calibrado, Gráfico Climate Consultant v6

**Temperatura y radiación solar:** Se observa en la Figura 17 una franja de rango de confort que está entre los 20 y 24°C, el cual es alcanzado y levemente superado en los meses de enero, febrero, marzo, septiembre, octubre, noviembre y diciembre. Desde mayo a agosto se observa que no se alcanza el rango de confort, periodo en el cual se generan las mayores demandas de calefacción.



**Figura 17: Rango Mensual de Temperaturas y Radiación Solar.**  
**Base Archivo Meteorologías calibrado, Gráfico Climate Consultant v6**

**Vientos:** En la Figura 18, se observa una velocidad media anual de casi 4 m/s, con una mínima inferior cercana a 1 m/s y una máxima superior de casi 8 m/s. Se observan valores máximos que en torno a los 20 m/s en los meses de agosto y septiembre. Las velocidades medias de viento más bajas se dan en los meses de mayo y junio con aproximadamente 3 m/s.

En la Figura 19 muestra las direcciones de vientos predominantes presentes en la ciudad de Concepción, se observa que los principales predominantes y con mayor presencia (horas) durante el año, son los vientos de componente suroeste y en menor magnitud, norte y sur. Mientras que los vientos de mayor velocidad se generan desde el norte con 20 m/s y sur poniente con 16 m/s.

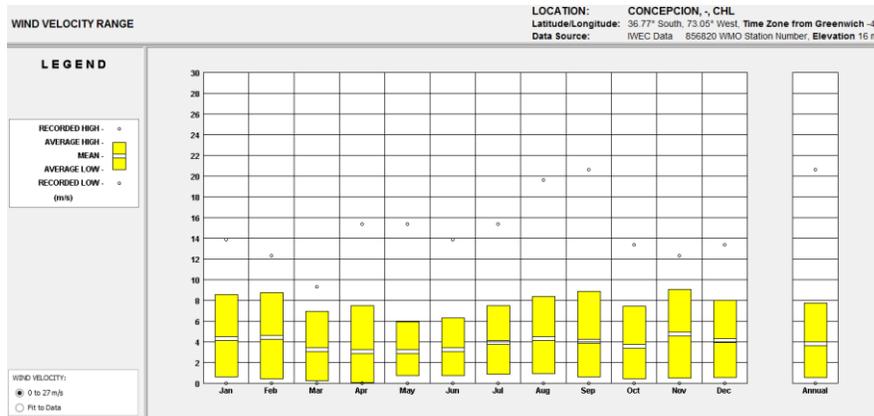


Figura 18: Rango de Velocidad de Viento.

Base Archivo Meteonorm calibrado, Gráfico Climate Consultant v.6

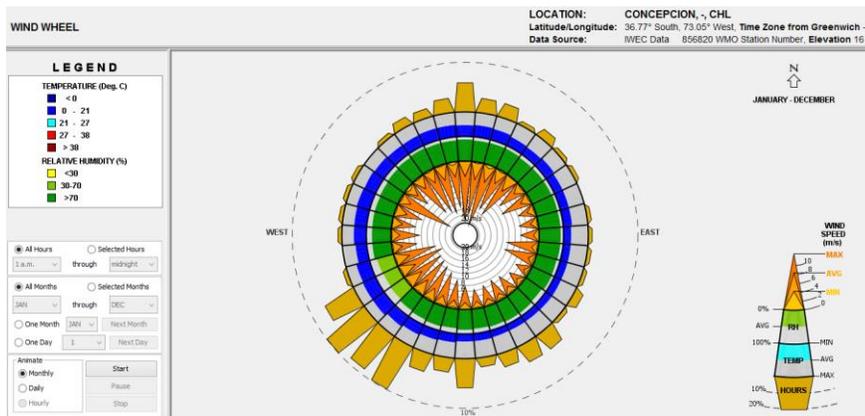
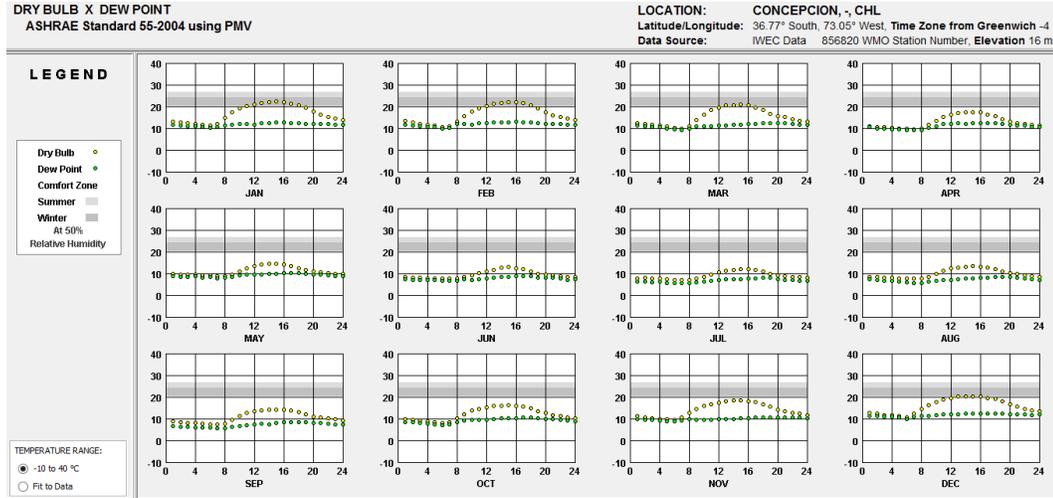


Figura 19: Rosa de los Vientos.

Base Archivo Meteonorm calibrado, Gráfico Climate Consultant v.6

**Temperatura de bulbo seco y punto de rocío:** Se aprecia en la Figura 20 que, de abril a noviembre, las condiciones locales favorecen la condensación al presentar altas tasas de humedad relativa y bajas temperaturas.



**Figura 20: Temperatura Bulbo Seco y Temperatura de Punto de Rocío.**  
Base Archivo Meteonorm calibrado, Gráfico Climate Consultant v.6

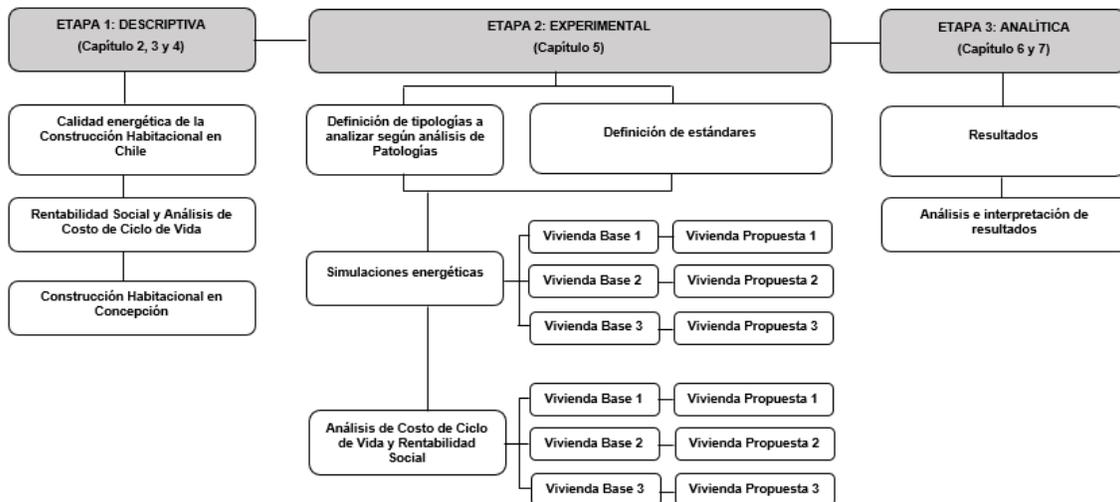
## CAPITULO 5: METODOLOGÍA

El siguiente capítulo describe la metodología utilizada en esta investigación. La metodología utilizada combina técnicas descriptivas con otras de tipo experimental y analítico que articulan su desarrollo en tres etapas, como se muestra en la Figura 21.

La primera, de carácter descriptiva en base a lo recabado en el marco teórico: calidad energética de la construcción habitacional en Chile, rentabilidad social y análisis de costo de ciclo de vida y la construcción habitacional en la ciudad de Concepción; en las cuales se profundiza y analiza sobre estos temas y sobre cómo serán orientados en esta investigación.

La segunda etapa es de tipo experimental, la cual parte con la definición de tipologías de viviendas a evaluar y la definición de estándares. Con esta información, se realizan simulaciones energéticas en software Design Builder y evaluación de rentabilidad social y análisis de costo de ciclo de vida de los casos de estudio en su condición de Vivienda Base y Vivienda mejorada.

Luego la tercera etapa de tipo analítica, se realizará el análisis de los resultados para determinar cuáles propuestas tienen mayor rentabilidad sobre otras y realizar la validación, o no, de los estándares propuestos limitar a valores de uso mínimo óptimo el consumo energético considerando la evaluación de rentabilidad social y análisis de costo de ciclo de vida.



**Figura 21: Metodología a emplear**

## 5.1 Enfoque metodológico

La definición de la tipología de viviendas de estudio se sustenta en el levantamiento de información en base a registro de construcciones habitacionales realizadas con subsidio del estado en la región del Biobío entre los años 2010-2015 y el proyecto INNOVA: INNOVACIONES DE LOS PROCESOS DE DISEÑO Y FISCALIZACIÓN DE OBRAS DE CONSTRUCCIONES HABITACIONALES ADMINISTRADAS POR EL SERVICIO DE LA VIVIENDA Y URBANISMO DE LA REGIÓN DEL BIOBÍO 15.244-IN.IIP, proyecto con el cual se vincula esta investigación.

Se definieron tipologías de construcción habitacional que fueran representativas del parque edificado de Concepción y sirvieran de vivienda base para el estudio y definición de estándares de diseño para limitar a valores de uso mínimo óptimo el consumo energético de la construcción habitacional en la ciudad de Concepción. Las viviendas base fueron definidas de acuerdo al universo muestral, las cuales recogen las características de las principales tipologías habitacionales de Concepción. Se establecieron tres tipologías de referencia:

- Vivienda referencia 1 (V1): Vivienda de una planta, con estructura de madera. (52,22 m<sup>2</sup> edificados)
- Vivienda referencia 2 (V2): Vivienda de dos plantas, con estructura de madera o metalcon. (50,48 m<sup>2</sup> edificados)
- Vivienda referencia 3 (V3): Vivienda de dos plantas, con estructura de albañilería en primer nivel y madera en segundo nivel. (50,48 m<sup>2</sup> edificados)

### 5.1.1 Vivienda Base 1 (V1), Vivienda de madera de una planta

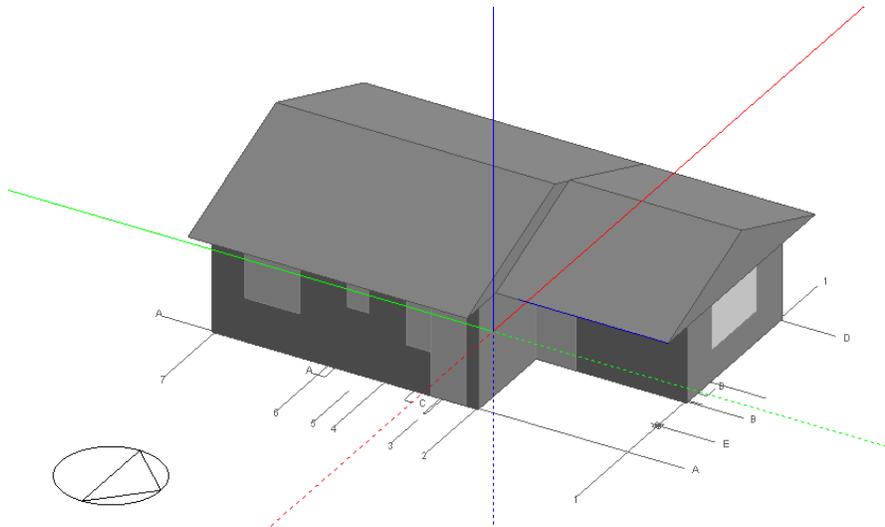
Vivienda de una planta con estructura de madera, con una superficie edificada de 52,22 m<sup>2</sup> (ver Figura 22). En la Tabla 25 se detallan las características constructivas que se consideraron para el estudio.

Las soluciones de aislación térmica que contempla esta vivienda en muro con los siguientes: 40 mm de lana de vidrio (V1M1), 40 mm poliestireno expandido de densidad 10kg/m<sup>3</sup> (V1M3) y 60 mm poliestireno expandido de densidad 15kg/m<sup>3</sup> (V1M4); las transmitancias térmicas de estas soluciones son inferiores a las exigidas por la Reglamentación Térmica (RT).

En techumbre, la solución constructiva contempla 100 mm de lana de vidrio (V1T1), con lo cual su transmitancia térmica es la exigida por la RT.

Los pisos ventilados contemplan 80 mm de lana de vidrio (V1PV1), con una transmitancia térmica por debajo de lo exigido por la RT. Los pisos en contacto con el terreno no contemplan ningún tipo de aislación térmica ya que la RT no define un valor para estos casos.

Posee ventanas con vidrio monolítico y marco de aluminio, obteniendo una transmitancia térmica de 5,8 W/m<sup>2</sup>K (V1N1).



**Figura 22: Caso V1 modelada en Design Builder**

Tabla 25: Descripción General y Descripción Sistemas Constructivos de V1

| Superficie Edificada (m²): |                                  | 52,22  |  |                      |                          |                        |              |                                |                                |                                     |                        |
|----------------------------|----------------------------------|--|--|----------------------|--------------------------|------------------------|--------------|--------------------------------|--------------------------------|-------------------------------------|------------------------|
| Nº de pisos:               |                                  | 1  |  |                      |                          |                        |              |                                |                                |                                     |                        |
| Recintos conformados       |                                  | Estar-comedor, Baño y Cocina y 3 Dormitorios |  |                      |                          |                        |              |                                |                                |                                     |                        |
|                            |                                  | Estructura base                              |  |                      |                          | Aislación térmica      |              |                                |                                |                                     |                        |
| Elementos                  | Revestimiento exterior           | Barrera de humedad                           | Estructura   | Barrera de vapor     | Revestimiento interior   | Lana de vidrio         | Lana mineral | Poliestireno expandido 10kg/m3 | Poliestireno expandido 15kg/m3 | Poliestireno expandido EPS 20 kg/m3 | Poliestireno extruido  |
| Muros                      | Smart panel SR8 e=11,1mm         | Fieltro asfáltico 10 lbs                     | Pino IPV 2X4" @ 0,40 m                                 | Polietileno e=0,2 mm | Yeso cartón e=10 mm      | V1M1 e= 40 mm U= 0,76  | -            | V1M3 e= 40 mm U= 0,81          | V1M4 e= 60 mm U= 0,62          | -                                   | -                      |
| Techo                      | Plancha zinc-alum e=0,35mm       | Fieltro asfáltico 10 lbs                     | Cercha pino IPV 1X5" y costanera pino IPV 2x2"@ 0,40cm | -                    | Yeso cartón e=10 mm      | V1T1 e= 100 mm U= 0,38 | -            | -                              | -                              | -                                   | -                      |
| Pisos ventilados           | Fibro cemento e= 4mm             | Fieltro asfáltico 15 lbs                     | Pino IPV 2x4"  | Polietileno e=0,1 mm | Pino IPV 1X4"            | V1PV1 e= 80 mm U= 0,39 | -            | -                              | -                              | -                                   | -                      |
| Piso contacto con terreno  | -                                | -  | Radier H-15 e=80 mm                                    | Polietileno e=0,2 mm | Palmeta cerámica e= 6 mm | -                      | -            | -                              | -                              | -                                   | V1PC6 e= 0 mm U= 3,091 |
| Vanos                      | Vidrio monolítico Marco aluminio |  |  |                      |                          | V1N1 U= 5,8            |              |                                |                                |                                     |                        |

### 5.1.2 Vivienda Base 2 (V2), Vivienda de madera o metalcon de dos plantas

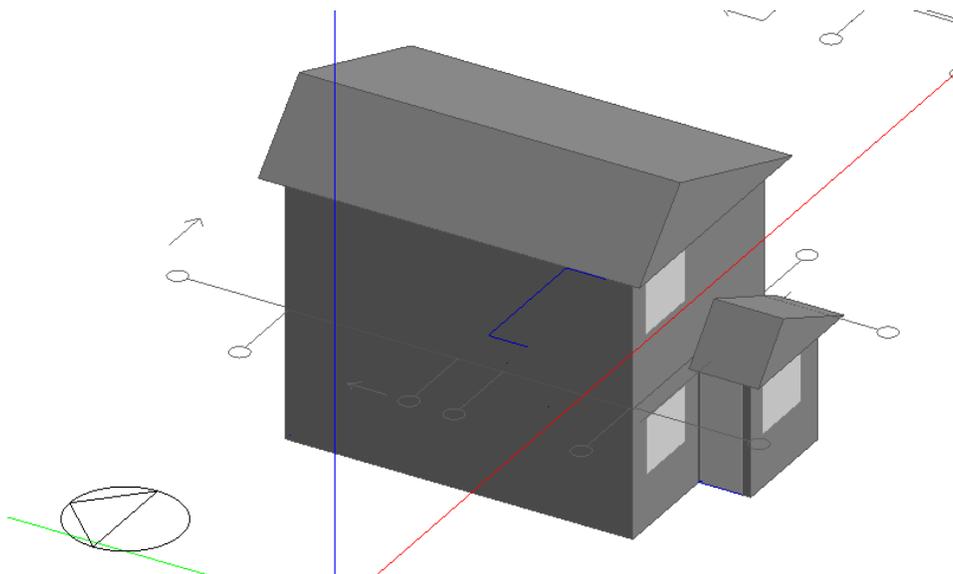
Vivienda de dos plantas con estructura de madera o metalcon, con una superficie edificada de 50,48 m<sup>2</sup> (ver Figura 23). En la Tabla 26, se detallan las características constructivas que se consideraron para el estudio.

Las soluciones de aislación térmica que contempla esta vivienda en muro con los siguientes: 40 mm de lana de vidrio (V2M1) y 50 mm de poliestireno expandido de densidad 10kg/m<sup>3</sup> (V2M3), siendo sus transmitancias térmicas inferiores a las exigidas por la Reglamentación Térmica (RT).

En techumbre, la solución constructiva contempla 100 mm de lana de vidrio (V2T1) y 100 mm de lana mineral (V2T2), con lo cual su transmitancia térmica es la exigida por la RT.

No existen pisos ventilados en este edificio de referencia. Los pisos en contacto con el terreno no contemplan ningún tipo de aislación térmica ya que la RT no define un valor para estos casos.

Posee ventanas con vidrio monolítico y marco de aluminio, obteniendo una transmitancia térmica de 5,8 W/m<sup>2</sup>K (V2N1).



**Figura 23: Caso V2 modelada en Design Builder**

Tabla 26: Descripción General y Descripción Sistemas Constructivos de V2

| Superficie Edificada (m <sup>2</sup> ): | 52,22  |                         |  |                      |                        |                        |                        |  |  |   |                        |
|---|--|-------------------------|--|----------------------|------------------------|------------------------|------------------------|--|--|---|------------------------|
| Nº de pisos:                            | 1  |                         |  |                      |                        |                        |                        |  |  |   |                        |
| Recintos conformados                    | Estar-comedor, Baño y Cocina y 3 Dormitorios |                         |  |                      |                        |                        |                        |  |  |   |                        |
|   | Estructura base                              |                         |  |                      |                        | Aislación térmica      |                        |  |  |   |                        |
| Elementos                               | Revestimiento exterior                       | Barrera de humedad      | Estructura   | Barrera de vapor     | Revestimiento interior | Lana de vidrio         | Lana mineral           | Poliestireno expandido 10kg/m <sup>3</sup> | Poliestireno expandido 15kg/m <sup>3</sup> | Poliestireno expandido EPS 20 kg/m <sup>3</sup> | Poliestireno extruido  |
| Muros                                   | Smart panel e=9,5mm                          | Filtro asfáltico 10 lbs | Pino IPV 2x4" @ 0,4 m<br>Metalcon 100x40 mm @ 0,4 m    | Polietileno e=0,1 mm | Yeso cartón e=10 mm    | V2M1 e= 40 mm U= 0,77  | -                      | V2M3 e= 50 mm U= 0,72                      | -  | -   | -                      |
| Techo                                   | Plancha zinc-alum e=0,35mm                   | Filtro asfáltico 10 lbs | Cercha pino IPV 1X5" y costanera pino IPV 2x2"@ 0,40cm | -                    | Yeso cartón e=10 mm    | V2T1 e= 100 mm U= 0,37 | V2T2 e= 100 mm U= 0,32 | -  | -  | -   | -                      |
| Piso contacto con terreno               | -  | -                       | Radier e=70 mm   | Polietileno e=0,2 mm | Cerámico 33x33 cm      | -                      | -                      | -  | -  | -   | V2PC6 e= 0 mm U= 3,215 |
| Vanos                                   | Vidrio monolítico Marco aluminio             |                         |  |                      |                        | V1N1 U= 5,8            |                        |  |  |   |                        |

### 5.1.3 Vivienda Base 3 (V3), Vivienda de albañilería y madera de dos plantas

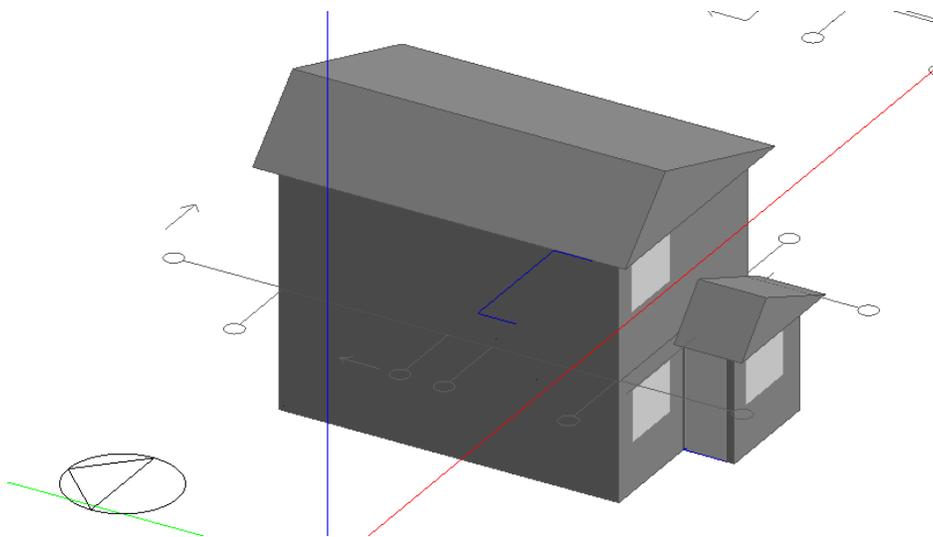
Vivienda de dos plantas; primer nivel estructura de albañilería y segundo nivel con estructura de madera, con una superficie edificada de 50,48 m<sup>2</sup> (ver Figura 24). En la Tabla 27, se detallan las características constructivas que se consideraron para el estudio.

Las soluciones de aislación térmica que contempla esta vivienda en muro con los siguientes: En primer nivel de albañilería no contempla aislación térmica (V3M5P1), en el segundo nivel contempla 50 mm de lana de vidrio (V3M1P2) o 40 mm de poliestireno expandido de densidad 10kg/m<sup>3</sup> (V3M3P2), siendo estas transmitancias inferiores a las exigidas por la Reglamentación Térmica (RT).

En techumbre, la solución constructiva contempla 100 mm de lana de vidrio (V3T1), con lo cual su transmitancia es la exigida por la RT.

No existen pisos ventilados en este edificio de referencia. Los pisos en contacto con el terreno no contemplan ningún tipo de aislación térmica ya que la RT no define un valor para estos casos.

Posee ventanas con vidrio monolítico y marco de aluminio, obteniendo una transmitancia térmica de 5,8 W/m<sup>2</sup>K (V3N1).



**Figura 24: Caso V3 modelada en Design Builder**

Tabla 27: Descripción General y Descripción Sistemas Constructivos de Caso V3

| Superficie Edificada (m <sup>2</sup> ): |                                  | 50,48                                       |   |                        |                              |                          |              |                                  |                                  |                                       |                         |
|---|----------------------------------|---|---|------------------------|------------------------------|--------------------------|--------------|----------------------------------|----------------------------------|---------------------------------------|-------------------------|
| Nº de pisos:                            |                                  | 2   |   |                        |                              |                          |              |                                  |                                  |                                       |                         |
| Recintos conformados                    |                                  | Estar-comedor, Cocina, Baño y 2 Dormitorios |   |                        |                              |                          |              |                                  |                                  |                                       |                         |
|   |                                  | Estructura base                             |   |                        |                              | Aislación térmica        |              |                                  |                                  |                                       |                         |
| Elementos                               | Revestimiento exterior           | Barrera de humedad                          | Estructura                                | Barrera de vapor       | Revestimiento interior       | Lana de vidrio           | Lana mineral | Poliestireno o expandido 10kg/m3 | Poliestireno o expandido 15kg/m3 | Poliestireno o expandido EPS 20 kg/m3 | Poliestireno o extruido |
| Muros primer nivel                      | -                                | Impermeabilizante secamur                   | Ladrillo gran titán e= 154 mm             | -                      | Albañilería a la vista       | -                        | -            | -                                | -                                | V3M5P1 e=0 U=1,68                     | -                       |
| Muros segundo nivel                     | Smart panel e= 11,1 mm           | Membrana hidrófuga Tivex                    | Pino IPV 45X70 mm @ 40 cm cadenas @ 50 cm | -                      | Yeso cartón 10 mm            | V3M1P 2 e= 50 mm U= 0,65 | -            | V3M3P2 e= 40 mm U= 0,77          | -                                | -                                     | -                       |
| Techo                                   | Plancha zinc-alum e=0,35 mm      | Fieltro asfáltico 15 lbs                    | Panel tipo casetón Pino IPV 25X140 mm     | -                      | Yeso cartón 10 mm            | V3T1 e= 100 mm U= 0,34   | -            | -                                | -                                | -                                     | -                       |
| Piso contacto con terreno               | -                                | -   | Radier e=70 mm                            | Poliétileno e= 0,20 mm | Palmetas vinílicas e= 1,4 mm | -                        | -            | -                                | -                                | -                                     | V3PC6 e=0 U= 3,189      |
| Vanos                                   | Vidrio monolítico Marco aluminio |   |   |                        |                              | V3N1 U= 5,8              |              |                                  |                                  |                                       |                         |

## 5.2 Definición Estándares

La valoración del costo de mejora en los estándares de transmitancia térmica de la envolvente, como así también la mejora en la hermeticidad al aire de esta, requirió identificar y definir las medidas asociadas a reducir el consumo energético en viviendas de la ciudad de Concepción.

Para definir los estándares de aislación térmica que permitan limitar a valores de uso mínimo óptimo el consumo energético se utiliza enfoque metodológico sostenido en modelo de jerarquías especificado en el NKB Report N°34-1978 (NKB, 1978).

Este modelo es utilizado por modernos códigos de construcción prestacionales para definir los desempeños o prestación exigible a las edificaciones y sus estándares. El proceso considera definir objetivos, requisitos, exigencias, indicadores, criterios de desempeño y los métodos de verificación de cumplimiento de exigencias. El modelo se resume en la Figura 25.

La metodología además utiliza información aplicada de base experimental disponible en CITEC UBB, producto de su trabajo I+D+i en los últimos 20 años, en particular del proyecto INNOVA Chile N°C9CT-03: "*Desarrollo de metodologías para prevenir la ocurrencia de patologías en las viviendas sociales*" y otros proyectos. Todos trabajos en que se funda la propuesta de métodos para definir los estándares de calidad.



**Figura 25: Niveles de Jerarquía Modelo NKB**

**Fuente: NKB Report N°34-1978**

Para la definición de estándares, el método utilizado considera cinco niveles de jerarquías que se definen a continuación:

- *Objetivo*: Ubicado en el nivel superior de la jerarquía, se define como la expresión de los intereses esenciales del usuario en cuanto a la edificación y a las condiciones del edificio que hacen que sea adecuado al uso previsto por la sociedad.
- *Exigencias*: Condiciones técnicas específicas poseer el diseño del edificio, sus sistemas constructivos y los productos que lo componen para cumplir con el objetivo.
- *Requisitos*: O estándar aceptable. Medida cuantitativa de la exigencia o riesgo que se acepta, expresado en términos cuantitativos, normalmente a través de indicadores, cuyo cumplimiento puede verificarse objetivamente mediante cálculo, ensayo o simulación.
- *Métodos de verificación*: Herramientas para comprobar y demostrar que una solución cumple exigencias que le afecten en fase de proyecto, obra y/o post ocupación.
- *Soluciones aceptadas*: Soluciones que cumplen las exigencias y han sido probadas experimentalmente en el edificio de pruebas higrotérmicas MPHT de CITEC UBB.

En el marco del proyecto INNOVA, las soluciones fueron ensayadas a través de la construcción y prueba de prototipos de muros de fachada, siendo estos diseñados y especificados técnicamente según estándares higrotérmicos propuestos para diferentes tipologías de vivienda social en la región del Bío-Bío.

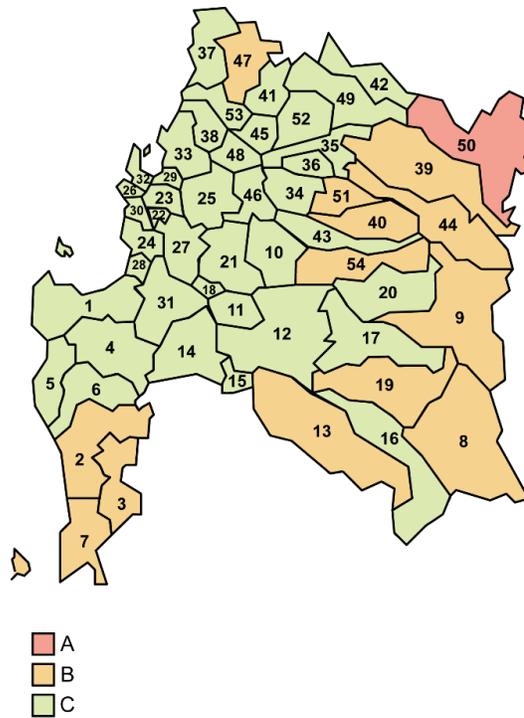
### **5.2.1 Zonificación Higrotérmica**

Se toma como referencia la zonificación higrotérmica realizada en proyecto INNOVA: INNOVACIONES DE LOS PROCESOS DE DISEÑO Y FISCALIZACIÓN DE OBRAS DE CONSTRUCCIONES HABITACIONALES ADMINISTRADAS POR EL SERVICIO DE LA VIVIENDA Y URBANISMO DE LA REGIÓN DEL BIOBÍO 15.244-IN.IIP.

Esta zonificación divide las zonas de la región en tres zonas (A, B y C) diferenciadas por sus niveles de temperatura, humedad del aire, estándares de aislación térmica de elementos de la envolvente, hermeticidad al aire de la construcción, ventilación de recintos y de permeabilidad al paso de vapor de materiales, con el objetivo de reducir los riesgos de ocurrencia de condensación y limitar la demanda energética de las construcciones. A continuación, se explican las zonas higrotérmicas con estándares diferenciados:

- *Estándar A:* Rige para todas las localidades donde la humedad relativa interior es inferior o igual al 85%.
- *Estándar B:* Rige para todas las localidades donde la humedad interior es entre 85 y 90%.
- *Estándar C:* Rige para todas las localidades donde la humedad interior se sitúa sobre el 90%. Niveles de humedad interior esperables considerando las variables de clima exterior características en cada comuna y los aportes latentes debido a ocupación considerados.

La **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** presenta la zonificación higrotérmica propuesta y en la Tabla 28 se muestra que comuna pertenece a cada zona.



**Figura 26: Zonificación Higrotérmica**

Tabla 28: Zonificación Higrotérmica Región del Bío Bío

| Provincia      | Capital     | Comuna                 |
|----------------|-------------|------------------------|
| Arauco         | Lebu        | 1 Arauco               |
|                |             | 2 Cañete               |
|                |             | 3 Contulmo             |
|                |             | 4 Curanilahue          |
|                |             | 5 Lebu                 |
|                |             | 6 Los Álamos           |
|                |             | 7 Tirúa                |
| Biobío         | Los Ángeles | 8 Alto Biobío          |
|                |             | 9 Antuco               |
|                |             | 10 Cabrero             |
|                |             | 11 Laja                |
|                |             | 12 Los Ángeles         |
|                |             | 13 Mulchén             |
|                |             | 14 Nacimiento          |
|                |             | 15 Negrete             |
|                |             | 16 Quilaco             |
|                |             | 17 Quilleco            |
|                |             | 18 San Rosendo         |
|                |             | 19 Santa Bárbara       |
|                |             | 20 Tucapel             |
| 21 Yumbel      |             |                        |
| Concepción     | Concepción  | 22 Chiguayante         |
|                |             | 23 Concepción          |
|                |             | 24 Coronel             |
|                |             | 25 Florida             |
|                |             | 26 Hualpén             |
|                |             | 27 Hualqui             |
|                |             | 28 Lota                |
|                |             | 29 Penco               |
|                |             | 30 San Pedro de la Paz |
|                |             | 31 Santa Juana         |
|                |             | 32 Talcahuano          |
|                |             | 33 Tomé                |
| Ñuble          | Chillán     | 34 Bulnes              |
|                |             | 35 Chillán             |
|                |             | 36 Chillán Viejo       |
|                |             | 37 Cobquecura          |
|                |             | 38 Coelemu             |
|                |             | 39 Coihueco            |
|                |             | 40 El Carmen           |
|                |             | 41 Ninhue              |
|                |             | 42 Ñiquén              |
|                |             | 43 Pemuco              |
|                |             | 44 Pinto               |
|                |             | 45 Portezuelo          |
|                |             | 46 Quillón             |
|                |             | 47 Quirihue            |
|                |             | 48 Ránquil             |
|                |             | 49 San Carlos          |
|                |             | 50 San Fabián          |
|                |             | 51 San Ignacio         |
| 52 San Nicolás |             |                        |
| 53 Trehuaco    |             |                        |
| 54 Yungay      |             |                        |

### **5.2.2 Estándares para limitar a valores de uso mínimo óptimo el consumo energético de calefacción.**

A continuación, se detalla la definición de puntos de acuerdo a Modelo de jerarquías especificado en el NKB Report N°34-1978 (NKB, 1978).

**Objetivo:** Limitar a valores de uso mínimo óptimo el consumo energético en la construcción habitacional de la ciudad de Concepción, manejando criterios de Rentabilidad Social y Análisis de Costo de Ciclo de Vida.

**Exigencias básicas:** Condiciones específicas que debe verificar la envolvente en cuanto a su diseño y propiedades higrotérmicas de los materiales que la componen para cumplir con ese objetivo. Son las especificaciones técnicas que definen el estándar higrotérmico.

Para cumplir con el objetivo planteado, se define como criterio que el estándar debe generar una reducción de al menos un 50% del consumo energético de calefacción con respecto a la vivienda base.

La disposición de los elementos que componen la envolvente y sus propiedades de resistencia térmica y para vapor, deberán ser tales que el producto de ambas debe ser mayor en la cara interior y decreciente hacia el exterior.

Las tasas de ventilación total de las viviendas a evaluar deberán ser suficientes para reducir a límites aceptables los riesgos de condensación.

#### **Requisitos: Indicadores de desempeño:**

##### 1. Transmitancia térmica:

Para esta investigación, al centrarse en la ciudad de Concepción sólo se considera el estándar C, asociado a la zona higrotérmica donde se emplaza dicha ciudad. A continuación, se definen los estándares e indicadores de desempeño relevantes para esta investigación.

- Transmitancia térmica de cubiertas,  $U_c$
- Transmitancia térmica de muros de fachada,  $U_m$
- Transmitancia térmica de cerramientos en contacto con el terreno,  $U_t$
- Transmitancia térmica de pisos en contacto con el terreno,  $U_{pt}$

- Transmitancia térmica de pisos ventilados, Upv
  - Transmitancia térmica de vanos, Uv
2. Recambios de aire por infiltración (1/h):
- Permeabilidad al aire a través de la envolvente a 50 Pa, Fi

**Estándares necesarios:** Los estándares definidos para viviendas sociales de la ciudad de Concepción se definen a continuación:

1. Aislación térmica, en la Tabla 29 se muestran los estándares de aislación térmica para la ciudad de Concepción

**Tabla 29: Estándares de Aislación Térmica de Elementos de Envolvente Perimetral**

**Fuente: proyecto innova: innovaciones de los procesos de diseño y fiscalización de obras de construcciones habitacionales administradas por el servicio de la vivienda y urbanismo de la Región del Biobío**

| Comuna     | TRANSMITANCIA TÉRMICA U (W/m <sup>2</sup> K) |                 |                                  |                              |                  |       |
|------------|--|-----------------|----------------------------------|------------------------------|------------------|-------|
|            | Cubierta                                     | Muro de fachada | Cerramiento contacto con terreno | Piso en contacto con terreno | Pisos ventilados | Vanos |
| Concepción | 0,33   | 0,40            | 0,40                             | 0,40                         | 0,40             | 3,00  |

La definición de los estándares se sostiene en la investigación realizada sobre las diferentes iniciativas existentes que buscan disminuir el consumo energético de la construcción habitacional en Chile. Para los diferentes elementos de la envolvente térmica se consideró tomar como mínimo el valor más exigente de las diferentes iniciativas analizadas.

Además, la definición de estándares propuestos se encuentran en el límite de espesor máximo de aislación térmica que no requiere un cambio de escuadría ni mayores inversiones en la vivienda. Por lo cual el estándar propuesto es el valor más exigente que se puede alcanzar sin realizar cambios estructurales en la vivienda que generen mayores costos de inversión y aumenten los periodos de recuperación de la inversión.

Con la tecnología y materiales disponibles en el mercado, un estándar mayor al propuesto implicaría en el caso de las viviendas de madera un aumento en la escuadría de la estructura de muros, techumbre y pisos ventilados, mientras que en la vivienda de albañilería un aumento de estándar implicaría la incorporación de un sistema EIFS, lo que significa un mayor costo de inversión y un rediseño estructural de la vivienda para sostener las nuevas cargas que implica este sistema. Estos cambios significarían un aumento de costos más allá del simple aumento del espesor de aislación, implicando cambios sustantivos sobre las viviendas base que escapan a los alcances y objetivos de esta investigación.

2. Recambios de aire por infiltración, se muestran en la Tabla 30

**Tabla 30: Valores Límites de Hermeticidad al Aire por Provincia**

Fuente: Manual de hermeticidad al aire de edificaciones

| Provincia  | Valor límite de hermeticidad 50Pa (1/h) |
|------------|---|
| Concepción | 5                                       |
|            | 8                                       |

Los estándares mencionados anteriormente guardan relación con la reducción de las transmitancias térmicas de los cerramientos opacos y vanos, por lo que se han definido los espesores mínimos de aislación térmica por tipo de sistema constructivo para que cada una de las viviendas base alcance el estándar de transmitancia térmica requerido.

Además, se han incorporado exigencias de hermeticidad al aire de la envolvente, que fundamentalmente se encuentran asociadas al sellado, tipo de sistema constructivo y el tipo de vano. Para alcanzar el estándar 5 ACH a 50Pa es necesario incorporar ventanas de PVC con DVH y sistemas de ellos de ventanas y otros. Mientras que para alcanzar el estándar 8 ACH a 50Pa es necesario incorporar ventanas de aluminio con DVH y sistemas de sellos y otros.

En la Tabla 31, la Tabla 32, la Tabla 33, la Tabla 34, la

| Elemento | Transmitancia térmica U (W/m <sup>2</sup> k) |              |        |      |      |        |           |
|----------|--|--------------|--------|------|------|--------|-----------|
|          | OGUC   | V1.M1.T1.PV1 | NTM 11 | ECSV | PPDA | Innova | Propuesta |
| Muro     | 1,70   | 0,76         | 0,50   | 0,40 | 0,60 | 0,48   | 0,40      |

|                           |                            |      |   |           |                   |      |      |
|---------------------------|----------------------------|------|---|-----------|-------------------|------|------|
| Piso ventilado            | 0,60                       | 0,39 | 0,60  | 0,60      | 0,60              | 0,60 | 0,40 |
| Piso contacto con terreno | -                          | -    | -   | 45 (R100) | -                 | 0,85 | 0,40 |
| Techumbre                 | 0,38                       | 0,38 | 0,33  | 0,33      | 0,33              | 0,38 | 0,33 |
| Vanos                     | 3,6-2,4 según sup.vidriada | 5,8  | 3,6-2,4 según sup. vidriada por orientación | 3,00      | Por definir Minvu | -    | 3    |

Tabla 35, la Tabla 36, la Tabla 37, la Tabla 38, la Tabla 39, la Tabla 40, la Tabla 41 y la Tabla 42 se realiza una comparación de los estándares de transmitancia térmica de la OGUC, vivienda base, NTM 11, ECSV, PPDA, Innova y estándar propuesto.

**Tabla 31: Comparación de Estándares de Transmitancia Térmica de OGUC, Vivienda Base V1.M1.T1.PC6, NTM11, ECSV, PPDA, Innova y Estándar Propuesto**

| Elemento                  | Transmitancia térmica U (W/m <sup>2</sup> k) |              |   |           |                   |        |           |
|---------------------------|--|--------------|---|-----------|-------------------|--------|-----------|
|                           | OGUC   | V1.M1.T1.PC6 | NTM 11                                      | ECSV      | PPDA              | Innova | Propuesta |
| Muro                      | 1,70   | 0,76         | 0,50  | 0,40      | 0,60              | 0,48   | 0,40      |
| Piso ventilado            | 0,60   | -            | 0,60  | 0,60      | 0,60              | -      | 0,40      |
| Piso contacto con terreno | -  | 3,09         | -   | 45 (R100) | -                 | -      | 0,40      |
| Techumbre                 | 0,38   | 0,38         | 0,33  | 0,33      | 0,33              | -      | 0,33      |
| Vanos                     | 3,6-2,4 según sup.vidriada                   | 5,8          | 3,6-2,4 según sup. vidriada por orientación | 3,00      | Por definir Minvu | -      | 3         |

**Tabla 32: Comparación de Estándares de Transmitancia Térmica de OGUC, Vivienda Base V1.M3.T1.PC6, NTM11, ECSV, PPDA, Innova y Estándar Propuesto**

| Elemento                  | Transmitancia térmica U (W/m <sup>2</sup> k) |              |   |           |                   |        |           |
|---------------------------|--|--------------|---|-----------|-------------------|--------|-----------|
|                           | OGUC   | V1.M3.T1.PC6 | NTM 11                                      | ECSV      | PPDA              | Innova | Propuesta |
| Muro                      | 1,70   | 0,81         | 0,50  | 0,40      | 0,60              | 0,48   | 0,40      |
| Piso ventilado            | 0,60   | -            | 0,60  | 0,60      | 0,60              | 0,60   | 0,40      |
| Piso contacto con terreno | -  | 3,09         | -   | 45 (R100) | -                 | 0,85   | 0,40      |
| Techumbre                 | 0,38   | 0,38         | 0,33  | 0,33      | 0,33              | 0,38   | 0,33      |
| Vanos                     | 3,6-2,4 según sup.vidriada                   | 5,8          | 3,6-2,4 según sup. vidriada por orientación | 3,00      | Por definir Minvu | -      | 3         |

**Tabla 33: Comparación de Estándares de Transmitancia Térmica de OGUC, Vivienda Base V1.M4.T1.PC6, NTM11, ECSV, PPDA, Innova y Estándar Propuesto**

| Elemento                  | Transmitancia térmica U (W/m <sup>2</sup> k) |              |   |           |                   |        |           |
|---------------------------|--|--------------|---|-----------|-------------------|--------|-----------|
|                           | OGUC   | V1.M4.T1.PC6 | NTM 11                                      | ECSV      | PPDA              | Innova | Propuesta |
| Muro                      | 1,70   | 0,62         | 0,50  | 0,40      | 0,60              | 0,48   | 0,40      |
| Piso ventilado            | 0,60   | -            | 0,60  | 0,60      | 0,60              | 0,60   | 0,40      |
| Piso contacto con terreno | -  | 3,09         | -   | 45 (R100) | -                 | 0,85   | 0,40      |
| Techumbre                 | 0,38   | 0,38         | 0,33  | 0,33      | 0,33              | 0,38   | 0,33      |
| Vanos                     | 3,6-2,4 según sup.vidriada                   | 5,8          | 3,6-2,4 según sup. vidriada por orientación | 3,00      | Por definir Minvu | -      | 3         |

**Tabla 34: Comparación de Estándares de Transmitancia Térmica de OGUC, Vivienda Base V1.M1.T1.PV1, NTM11, ECSV, PPDA, Innova y Estándar Propuesto**

| Elemento                  | Transmitancia térmica U (W/m <sup>2</sup> k) |              |   |           |                   |        |           |
|---------------------------|--|--------------|---|-----------|-------------------|--------|-----------|
|                           | OGUC   | V1.M1.T1.PV1 | NTM 11                                      | ECSV      | PPDA              | Innova | Propuesta |
| Muro                      | 1,70   | 0,76         | 0,50  | 0,40      | 0,60              | 0,48   | 0,40      |
| Piso ventilado            | 0,60   | 0,39         | 0,60  | 0,60      | 0,60              | 0,60   | 0,40      |
| Piso contacto con terreno | -  | -            | -   | 45 (R100) | -                 | 0,85   | 0,40      |
| Techumbre                 | 0,38   | 0,38         | 0,33  | 0,33      | 0,33              | 0,38   | 0,33      |
| Vanos                     | 3,6-2,4 según sup.vidriada                   | 5,8          | 3,6-2,4 según sup. vidriada por orientación | 3,00      | Por definir Minvu | -      | 3         |

**Tabla 35: Comparación de Estándares de Transmitancia Térmica de OGUC, Vivienda Base V1.M3.T1.PV1, NTM11, ECSV, PPDA, Innova y Estándar Propuesto**

| Elemento                  | Transmitancia térmica U (W/m <sup>2</sup> k) |              |   |           |                   |        |           |
|---------------------------|--|--------------|---|-----------|-------------------|--------|-----------|
|                           | OGUC   | V1.M3.T1.PV1 | NTM 11                                      | ECSV      | PPDA              | Innova | Propuesta |
| Muro                      | 1,70   | 0,81         | 0,50  | 0,40      | 0,60              | 0,48   | 0,40      |
| Piso ventilado            | 0,60   | 0,39         | 0,60  | 0,60      | 0,60              | 0,60   | 0,40      |
| Piso contacto con terreno | -  | -            | -   | 45 (R100) | -                 | 0,85   | 0,40      |
| Techumbre                 | 0,38   | 0,38         | 0,33  | 0,33      | 0,33              | 0,38   | 0,33      |
| Vanos                     | 3,6-2,4 según sup.vidriada                   | 5,8          | 3,6-2,4 según sup. vidriada por orientación | 3,00      | Por definir Minvu | -      | 3         |

**Tabla 36: Comparación de Estándares de Transmitancia Térmica de OGUC, Vivienda Base V1.M4.T1.PV1, NTM11, ECSV, PPDA, Innova y Estándar Propuesto**

| Elemento                  | Transmitancia térmica U (W/m <sup>2</sup> k) |              |   |           |                   |        |           |
|---------------------------|--|--------------|---|-----------|-------------------|--------|-----------|
|                           | OGUC   | V1.M4.T1.PV1 | NTM 11                                      | ECSV      | PPDA              | Innova | Propuesta |
| Muro                      | 1,70   | 0,62         | 0,50  | 0,40      | 0,60              | 0,48   | 0,40      |
| Piso ventilado            | 0,60   | 0,39         | 0,60  | 0,60      | 0,60              | 0,60   | 0,40      |
| Piso contacto con terreno | -  | -            | -   | 45 (R100) | -                 | 0,85   | 0,40      |
| Techumbre                 | 0,38   | 0,38         | 0,33  | 0,33      | 0,33              | 0,38   | 0,33      |
| Vanos                     | 3,6-2,4 según sup.vidriada                   | 5,8          | 3,6-2,4 según sup. vidriada por orientación | 3,00      | Por definir Minvu | -      | 3         |

**Tabla 37: Comparación de estándares de Transmitancia Térmica de OGUC, Vivienda Base V2.M1.T1.PC6, NTM 11, ECSV, PPDA, Innova y Estándar Propuesto**

| Elemento                  | Transmitancia térmica U (W/m <sup>2</sup> k) |              |   |           |                   |        |           |
|---------------------------|--|--------------|---|-----------|-------------------|--------|-----------|
|                           | OGUC   | V2.M1.T1.PC6 | NTM 11                                      | ECSV      | PPDA              | Innova | Propuesta |
| Muro                      | 1,70   | 0,77         | 0,50  | 0,40      | 0,60              | 0,48   | 0,40      |
| Piso ventilado            | 0,60   | -            | 0,60  | 0,60      | 0,60              | 0,60   | 0,40      |
| Piso contacto con terreno | -  | 3,21         | -   | 45 (R100) | -                 | 0,85   | 0,40      |
| Techumbre                 | 0,38   | 0,37         | 0,33  | 0,33      | 0,33              | 0,38   | 0,33      |
| Vanos                     | 3,6-2,4 según sup.vidriada                   | 5,8          | 3,6-2,4 según sup. vidriada por orientación | 3,00      | Por definir Minvu | -      | 3         |

**Tabla 38: Comparación de estándares de Transmitancia Térmica de OGUC, Vivienda Base V2.M3.T1.PC6, NTM 11, ECSV, PPDA, Innova y Estándar Propuesto**

| Elemento                  | Transmitancia térmica U (W/m <sup>2</sup> k) |              |   |           |                   |        |           |
|---------------------------|--|--------------|---|-----------|-------------------|--------|-----------|
|                           | OGUC   | V2.M3.T1.PC6 | NTM 11                                      | ECSV      | PPDA              | Innova | Propuesta |
| Muro                      | 1,70   | 0,72         | 0,50  | 0,40      | 0,60              | 0,48   | 0,40      |
| Piso ventilado            | 0,60   | -            | 0,60  | 0,60      | 0,60              | 0,60   | 0,40      |
| Piso contacto con terreno | -  | 3,21         | -   | 45 (R100) | -                 | 0,85   | 0,40      |
| Techumbre                 | 0,38   | 0,37         | 0,33  | 0,33      | 0,33              | 0,38   | 0,33      |
| Vanos                     | 3,6-2,4 según sup.vidriada                   | 5,8          | 3,6-2,4 según sup. vidriada por orientación | 3,00      | Por definir Minvu | -      | 3         |

**Tabla 39: Comparación de estándares de Transmitancia Térmica de OGUC, Vivienda Base V2.M1.T2.PC6, NTM 11, ECSV, PPDA, Innova y Estándar Propuesto**

| Elemento                  | Transmitancia térmica U (W/m <sup>2</sup> k) |              |   |           |                   |        |           |
|---------------------------|--|--------------|---|-----------|-------------------|--------|-----------|
|                           | OGUC   | V2.M1.T2.PC6 | NTM 11                                      | ECSV      | PPDA              | Innova | Propuesta |
| Muro                      | 1,70   | 0,77         | 0,50  | 0,40      | 0,60              | 0,48   | 0,40      |
| Piso ventilado            | 0,60   | -            | 0,60  | 0,60      | 0,60              | 0,60   | 0,40      |
| Piso contacto con terreno | -  | 3,21         | -   | 45 (R100) | -                 | 0,85   | 0,40      |
| Techumbre                 | 0,38   | 0,32         | 0,33  | 0,33      | 0,33              | 0,38   | 0,33      |
| Vanos                     | 3,6-2,4 según sup.vidriada                   | 5,8          | 3,6-2,4 según sup. vidriada por orientación | 3,00      | Por definir Minvu | -      | 3         |

**Tabla 40: Comparación de estándares de Transmitancia Térmica de OGUC, Vivienda Base V2.M3.T2.PC6, NTM 11, ECSV, PPDA, Innova y Estándar Propuesto**

| Elemento                  | Transmitancia térmica U (W/m <sup>2</sup> k) |              |   |           |                   |        |           |
|---------------------------|--|--------------|---|-----------|-------------------|--------|-----------|
|                           | OGUC   | V2.M3.T2.PC6 | NTM 11                                      | ECSV      | PPDA              | Innova | Propuesta |
| Muro                      | 1,70   | 0,72         | 0,50  | 0,40      | 0,60              | 0,48   | 0,40      |
| Piso ventilado            | 0,60   | -            | 0,60  | 0,60      | 0,60              | 0,60   | 0,40      |
| Piso contacto con terreno | -  | 3,21         | -   | 45 (R100) | -                 | 0,85   | 0,40      |
| Techumbre                 | 0,38   | 0,32         | 0,33  | 0,33      | 0,33              | 0,38   | 0,33      |
| Vanos                     | 3,6-2,4 según sup.vidriada                   | 5,8          | 3,6-2,4 según sup. vidriada por orientación | 3,00      | Por definir Minvu | -      | 3         |

**Tabla 41: Comparación de estándares de Transmitancia Térmica de OGUC, Vivienda Base V3.M5P1.M1P2.T1.PC6, NTM 11, ECSV, PPDA, Innova y Estándar Propuesto**

| Elemento                  | Transmitancia térmica U (W/m <sup>2</sup> k) |                     |                                 |           |                   |        |           |
|---------------------------|--|---------------------|---------------------------------|-----------|-------------------|--------|-----------|
|                           | OGUC   | V3.M5P1.M1P2.T1.PC6 | NTM 11                          | ECSV      | PPDA              | Innova | Propuesta |
| Muro                      | 1,70   | 1,68 1° piso        | 0,50                            | 0,40      | 0,60              | 0,48   | 0,40      |
|                           |  | 0,65 2° piso        |                                 |           |                   |        |           |
| Piso ventilado            | 0,60   | -                   | 0,60                            | 0,60      | 0,60              | 0,60   | 0,40      |
| Piso contacto con terreno | -  | 3,18                | -                               | 45 (R100) | -                 | 0,85   | 0,40      |
| Techumbre                 | 0,38   | 0,34                | 0,33                            | 0,33      | 0,33              | 0,38   | 0,33      |
| Vanos                     | 3,6-2,4 según sup.vidriada                   | 5,8                 | 3,6-2,4 según sup. vidriada por | 3,00      | Por definir Minvu | -      | 3         |

|  |  |  |                 |  |  |  |  |
|--|--|--|-----------------|--|--|--|--|
|  |  |  | orientació<br>n |  |  |  |  |
|--|--|--|-----------------|--|--|--|--|

**Tabla 42: Comparación de estándares de Transmitancia Térmica de OGUC, Vivienda Base V3.M5P1.M3P2.T1.PC6, NTM 11, ECSV, PPDA, Innova y Estándar Propuesto**

| Elemento                  | Transmitancia térmica U (W/m <sup>2</sup> k) |                     |   |           |                   |        |           |
|---------------------------|--|---------------------|---|-----------|-------------------|--------|-----------|
|                           | OGUC   | V3.M5P1.M3P2.T1.PC6 | NTM 11                                      | ECSV      | PPDA              | Innova | Propuesta |
| Muro                      | 1,70   | 1,68 1° piso        | 0,50  | 0,40      | 0,60              | 0,48   | 0,40      |
|                           |  | 0,77 2° piso        |   |           |                   |        |           |
| Piso ventilado            | 0,60   | -                   | 0,60  | 0,60      | 0,60              | 0,60   | 0,40      |
| Piso contacto con terreno | -  | 3,18                | -   | 45 (R100) | -                 | 0,85   | 0,40      |
| Techumbre                 | 0,38   | 0,34                | 0,33  | 0,33      | 0,33              | 0,38   | 0,33      |
| Vanos                     | 3,6-2,4 según sup.vidriada                   | 5,8                 | 3,6-2,4 según sup. vidriada por orientación | 3,00      | Por definir Minvu | -      | 3         |

Como se puede observar en las tablas, el estándar de transmitancia térmica propuesto para la zona térmica de Concepción, dependiendo del elemento de la envolvente, puede llegar a ser igual o más exigente que los estándares con los cuales se compara.

El estándar propuesto para el complejo de muro ( $U=0,4$ ), que se consigue en algunos casos con hasta 100 mm de poliestireno expandido, es ampliamente más exigente que el estándar de la OGUC ( $U=1,7$ ) lo que visibiliza una vez más el bajo nivel de exigencia de la normativa obligatoria que rige actualmente y como se puede cumplir con este con un reducido espesor de aislación térmica. También es más exigente que el estándar de la vivienda base (estándar desde  $U=0,62$  hasta  $U=1,68$ ), NTM 11 ( $U=0,5$ ), PPDA ( $U=0,6$ ) e Innova ( $U=0,48$ ). Sólo en el caso del estándar ECSV ( $U=0,4$ ) es igual de exigente que el propuesto.

Para los pisos ventilados, el estándar propuesto ( $U=0,4$ ) es más exigente que todos los estándares con los que se les compara, para el cual todas las propuestas consideran un estándar ( $U=0,60$ ), esto debido a los 50 mm de lana de vidrio que considera la propuesta de mejora. Para los pisos en contacto con el terreno, sólo los ECSV ( $U=45(R100)$ ), Innova ( $U=0,85$ ) y la vivienda base ( $U=3,09$ ) consideran estándar de transmitancia térmica para este elemento, mientras que la propuesta considera un alto estándar ( $U=0,40$ ); lo cual marca una gran diferencia con el resto de propuestas de mejora de estándar de esta comparación al considerar limitar las pérdidas por transmisión de los pisos en contacto con el terreno con 75 mm de poliestireno extruido; un factor muy

importante debido a la representatividad de este tipo de construcción en la ciudad de Concepción y a las grandes pérdidas que se producen por este elemento

Para el caso del complejo de techumbre, el estándar propuesto ( $U=0,33$ ), que considera en algunos casos hasta 120 mm de lana de vidrio, coincide con lo propuesto por la NTM11, ECSV Y PPDA, mientras que el estándar de la OGUC, Innova y vivienda base ( $U=0,38$ ) es levemente inferior y con menor exigencia.

Para la envolvente transparente, la propuesta considera un estándar fijo ( $U=3,0$ ), al igual que los ECSV, el cual se consigue utilizando ventanas de termopanel con y marco de PVC. La vivienda base considera un bajo estándar ( $U=5,8$ ) debido a que considera ventana con vidrio simple y marco de aluminio. En el caso de la OGUC y la NTM 11 consideran un estándar variable ( $U= 3,6 -2,4$ ) dependiendo de la superficie vidriada que posea la vivienda y a la orientación que esta tenga.

### 5.2.3 Especificación de Estándares a Evaluar

Se define el conjunto de soluciones constructivas que cumplen con los estándares de transmitancia térmica establecidos. Estas soluciones serán incorporadas en las tipologías de viviendas base, para crear propuestas de estas, y posteriormente, serán analizadas en la etapa de estudio económico que considera la investigación y determinar su rentabilidad.

En la Tabla 43, la Tabla 44, la Tabla 45, la Tabla 46, la Tabla 47, la Tabla 48, la Tabla 49, la Tabla 50, la Tabla 51, Tabla 52, Tabla 53 y la Tabla 54, se detallan los estándares de transmitancia térmica, hermeticidad y soluciones constructivas para propuestas a simular.

**Tabla 43: Medidas asociadas con la Reducción de Transmitancia Térmicas y Hermeticidad, Vivienda Base 1 (V1) / Caso V1.M1.T1.PC6**

| Zona higrotérmica | Valor límite de hermeticidad 50 Pa(1/h) | Tipo de aislante y espesor |                |                | U vanos (W/m <sup>2</sup> K) | Tipo de vano |
|-------------------|---|----------------------------|----------------|----------------|------------------------------|--------------|
|                   |   | V1M1                       | V1T1           | V1PC6          |                              |              |
| C                 | 5                                       | Lana de vidrio             | Lana de vidrio | Poliestireno   | 3,0                          | PVC – DVH    |
|                   | 8                                       | 85 mm                      | 120 mm         | extruido 75 mm |                              | ALUM – DVD   |

**Tabla 44: Medidas asociadas con la Reducción de Transmitancia Térmicas y Hermeticidad, Vivienda Base 1 (V1) / Caso V1.M3.T1.PC6**

| Zona higrotérmica | Valor límite de hermeticidad 50 Pa(1/h) | Tipo de aislante y espesor               |                |                | U vanos (W/m <sup>2</sup> K) | Tipo de vano |
|-------------------|---|--|----------------|----------------|------------------------------|--------------|
|                   |   | V1M3                                     | V1T1           | V1PC6          |                              |              |
| C                 | 5                                       | Poliestireno                             | Lana de vidrio | Poliestireno   | 3,0                          | PVC – DVH    |
|                   | 8                                       | expandido EPS 10kg/m <sup>3</sup> 100 mm | 120 mm         | extruido 75 mm |                              | ALUM – DVH   |

**Tabla 45: Medidas asociadas con la Reducción de Transmitancia Térmicas y Hermeticidad, Vivienda Base 1 (V1) / Caso V1.M4.T1.PC6**

| Zona higrotérmica | Valor límite de hermeticidad 50 Pa(1/h) | Tipo de aislante y espesor             |                |                | U vanos (W/m <sup>2</sup> K) | Tipo de vano |
|-------------------|---|--|----------------|----------------|------------------------------|--------------|
|                   |   | V1M4                                   | V1T1           | V1PC6          |                              |              |
| C                 | 5                                       | Poliestireno                           | Lana de vidrio | Poliestireno   | 3,0                          | PVC – DVH    |
|                   | 8                                       | expandido EPS 15kg/m <sup>3</sup> 90mm | 120 mm         | extruido 75 mm |                              | ALUM – DVH   |

**Tabla 46: Medidas asociadas con la Reducción de Transmitancia Térmicas y Hermeticidad, Vivienda Base 1 (V1) / Caso V1.M1.T1.PV1**

| Zona higrorérmica | Valor límite de hermeticidad 50 Pa(1/h) | Tipo de aislante y espesor                           |                       |                      | U vanos (W/m <sup>2</sup> K) | Tipo de vano |
|-------------------|---|--|-----------------------|----------------------|------------------------------|--------------|
|                   |   | V1M1   | V1T1                  | V1PV1                |                              |              |
| C                 | 5                                       | Poliestireno expandido EPS 10kg/m <sup>3</sup> 100mm | Lana de vidrio 120 mm | Lana de vidrio 50 mm | 3,0                          | PVC – DVH    |
|                   | 8                                       |  |                       |                      |                              | ALUM – DVH   |

**Tabla 47: Medidas asociadas con la Reducción de Transmitancia Térmicas y Hermeticidad, Vivienda Base 1 (V1) / Caso V1.M3.T1.PV1**

| Zona higrorérmica | Valor límite de hermeticidad 50 Pa(1/h) | Tipo de aislante y espesor                           |                       |                      | U vanos (W/m <sup>2</sup> K) | Tipo de vano |
|-------------------|---|--|-----------------------|----------------------|------------------------------|--------------|
|                   |   | V1M3   | V1T1                  | V1PV1                |                              |              |
| C                 | 5                                       | Poliestireno expandido EPS 10kg/m <sup>3</sup> 100mm | Lana de vidrio 120 mm | Lana de vidrio 50 mm | 3,0                          | PVC – DVH    |
|                   | 8                                       |  |                       |                      |                              | ALUM – DVH   |

**Tabla 48: Medidas asociadas con la Reducción de Transmitancia Térmicas y Hermeticidad, Vivienda Base 1 (V1) / Caso V1.M4.T1.PV1**

| Zona higrorérmica | Valor límite de hermeticidad 50 Pa(1/h) | Tipo de aislante y espesor                          |                       |                      | U vanos (W/m <sup>2</sup> K) | Tipo de vano |
|-------------------|---|---|-----------------------|----------------------|------------------------------|--------------|
|                   |   | V1M3  | V1T1                  | V1PV1                |                              |              |
| C                 | 5                                       | Poliestireno expandido EPS 15kg/m <sup>3</sup> 90mm | Lana de vidrio 120 mm | Lana de vidrio 50 mm | 3,0                          | PVC – DVH    |
|                   | 8                                       |   |                       |                      |                              | ALUM – DVH   |

**Tabla 49: Medidas asociadas con la Reducción de Transmitancia Térmicas y Hermeticidad, Vivienda Base 2 (V2) / Caso V2.M1.T1.PC6**

| Zona higrorérmica | Valor límite de hermeticidad 50 Pa(1/h) | Tipo de aislante y espesor |                       |                             | U vanos (W/m <sup>2</sup> K) | Tipo de vano |
|-------------------|---|----------------------------|-----------------------|-----------------------------|------------------------------|--------------|
|                   |   | V2M1                       | V2T1                  | V2PC6                       |                              |              |
| C                 | 5                                       | Lana de vidrio 90 mm       | Lana de vidrio 120 mm | Poliestireno extruido 75 mm | 3,0                          | PVC – DVH    |
|                   | 8                                       |                            |                       |                             |                              | ALUM – DVH   |

**Tabla 50: Medidas asociadas con la Reducción de Transmitancia Térmicas y Hermeticidad, Vivienda Base 2 (V2) / Caso V2.M3.T1.PC6**

| Zona higrorotérmica | Valor límite de hermeticidad 50 Pa(1/h) | Tipo de aislante y espesor                            |                       |                             | U vanos (W/m <sup>2</sup> K) | Tipo de vano |
|---------------------|---|---|-----------------------|-----------------------------|------------------------------|--------------|
|                     |   | V2M3  | V2T1                  | V2PC6                       |                              |              |
| C                   | 5                                       | Poliestireno expandido EPS 10kg/m <sup>3</sup> 100 mm | Lana de vidrio 120 mm | Poliestireno extruido 50 mm | 3,0                          | PVC – DVH    |
|                     | 8                                       |   |                       |                             |                              | ALUM – DVH   |

**Tabla 51: Medidas asociadas con la Reducción de Transmitancia Térmicas y Hermeticidad, Vivienda Base 2 (V2) / Caso V2.M1.T2.PC6**

| Zona higrorotérmica | Valor límite de hermeticidad 50 Pa(1/h) | Tipo de aislante y espesor |                     |                             | U vanos (W/m <sup>2</sup> K) | Tipo de vano |
|---------------------|---|----------------------------|---------------------|-----------------------------|------------------------------|--------------|
|                     |   | V2M1                       | V2T2                | V2PC6                       |                              |              |
| C                   | 5                                       | Lana de vidrio 90 mm       | Lana mineral 100 mm | Poliestireno extruido 75 mm | 3,0                          | PVC – DVH    |
|                     | 8                                       |                            |                     |                             |                              | ALUM – DVH   |

**Tabla 52: Medidas asociadas con la Reducción de Transmitancia Térmicas y Hermeticidad, Vivienda Base 2 (V2) / Caso V2.M3.T2.PC6**

| Zona higrorotérmica | Valor límite de hermeticidad 50 Pa(1/h) | Tipo de aislante y espesor                            |                     |                             | U vanos (W/m <sup>2</sup> K) | Tipo de vano |
|---------------------|---|---|---------------------|-----------------------------|------------------------------|--------------|
|                     |   | V2M3  | V2T2                | V2PC6                       |                              |              |
| C                   | 5                                       | Poliestireno expandido EPS 10kg/m <sup>3</sup> 100 mm | Lana mineral 100 mm | Poliestireno extruido 75 mm | 3,0                          | PVC – DVH    |
|                     | 8                                       |   |                     |                             |                              | ALUM – DVH   |

**Tabla 53: Medidas asociadas con la Reducción de Transmitancia Térmicas y Hermeticidad, Vivienda Base 3 (V3) / Caso V3.M5P1.M1P2.T1.PC6**

| Zona higrorotérmica | Valor límite de hermeticidad 50 Pa(1/h) | Tipo de aislante y espesor                           |                       |                       |                             | U vanos (W/m <sup>2</sup> K) | Tipo de vano |
|---------------------|---|--|-----------------------|-----------------------|-----------------------------|------------------------------|--------------|
|                     |   | V3M5P1   | V3M1P2                | V3T1                  | V3PC6                       |                              |              |
| C                   | 5                                       | Poliestireno expandido EPS 20kg/m <sup>3</sup> 80 mm | Lana de vidrio 100 mm | Lana de vidrio 100 mm | Poliestireno extruido 75 mm | 3,00                         | PVC – DVH    |
|                     | 8                                       |  |                       |                       |                             |                              | ALUM – DVH   |

**Tabla 54: Medidas asociadas con la Reducción de Transmitancia Térmicas y Hermeticidad, Vivienda Base 3 (V3) / Caso V3.M5P1.M3P2.T1.PC6**

| Zona higrotérmica | Valor límite de hermeticidad 50 Pa(1/h) | Tipo de aislante y espesor                           |  |                       |                             | U vanos (W/m <sup>2</sup> K) | Tipo de vano  |
|-------------------|---|--|--|-----------------------|-----------------------------|------------------------------|---------------|
|                   |   | V3M5P1   | V3M1P2   | V3T1                  | V3PC6                       | V3VN1 / V3VN2                | V3VN1 / V3VN2 |
| C                 | 5                                       | Poliestireno expandido EPS 20kg/m <sup>3</sup> 80 mm | Poliestireno expandido EPS 10kg/m <sup>3</sup> 95 mm | Lana de vidrio 100 mm | Poliestireno extruido 75 mm | 3,00                         | PVC – DVH     |
|                   | 8                                       |  |  |                       |                             |                              | ALUM – DVH    |

Los estándares de estanqueidad al agua que se consideraron para la envolvente de los escenarios de propuestas de mejora consideran un estándar L600. Para ello es necesario considerar los ensayos de estanqueidad al agua de las soluciones propuestas.

En el caso de los sistemas de ventilación natural y mecánica, estos deberán proveer una tasa de ventilación suficiente para asegurar la calidad de aire interior, según superficie de la vivienda y número de dormitorios según determina la NCh 3308. Además de proveer de una tasa de ventilación suficiente para asegurar que la humedad relativa interior no exceda los límites críticos de temperatura y humedad relativa interior definidos para cada zona higrotérmica de la región del Biobío. De acuerdo a esto, se utilizará un sistema de ventilación mixto: natural de base y mecánico bajo demanda en baño y cocina.

En la Tabla 55 y en la Tabla 56 se describen los sistemas de ventilación considerados para la evaluación

**Tabla 55: Sistema de Ventilación Natural**

| Dispositivos                  | Cantidad | Características   |
|-------------------------------|----------|---|
| Aireadores                    | 4        | Aireadores: aireadores de muro con capacidad de a lo menos 15 m <sup>3</sup> /h a 10 Pa. Similar o igual al aireador de muro Fresh TL98F-DB de 150 mm de diámetro con filtro de partículas  |
| Celosías de pasada en puertas | 5        | Rejillas de pasada de PVC en puertas interiores, similares o igual a celosía clipeada DVP de 35 x 13,5 cm. Alternativamente se podrá practicar rebaje inferior de puertas de modo de dejar pasada de 2 cm por el ancho de la puerta |
| Celosías en Logia             | 1        | Dimensiones a definir por arquitectura  |

**Tabla 56: Sistema de Ventilación Mecánica**

| Dispositivos          | Cantidad | Características   |
|-----------------------|----------|---|
| Extractor de baño     | 1        | Caudal aproximado 180 m <sup>3</sup> /h en descarga libre y a lo menos 100 m <sup>3</sup> /h a 30 Pa. Similar o igual al extractor S&P serie SILENT 200 modelo CZ con compuerta anti retorno y luz piloto para funcionamiento enclavado a luz de baño         |
| Campana de extracción | 1        | Campana con ventilador integrado de a lo menos 500 m <sup>3</sup> /h de extracción en descarga libre y a lo menos 200 m <sup>3</sup> /h a 40 Pa. Similar o igual a la campana marca TEKA Modelo TMX PLUS  |
| Redes extracción      | 1        | En ductos flexibles de 5 pulgadas del tipo Art Wood o similar y codos de PVC dentro de vigas falsa. Conecta campana cocina a shaft exterior en balcón   |
| Shaft extracción      | 1        | Shaft exterior en base a estructura metálica tipo metalcom y revestimiento en placas de fibrocemento de 9 mm. Se fija a muro perimetral que da al balcón, conecta 4 departamentos. Dimensión libre 350x200 mm. (definir arquitectura)                         |
| Sombrero extracción   | 1        | Sombrero eólico de a lo menos 400 mm de diámetro y 1500 m <sup>3</sup> /h de extracción con velocidades frontales de viento de 10 km/h. Similar o igual al extractor eólico Escoda para ser dispuesto en cubierta de remate de shaft como se indica en planos |

Es importante mencionar que pese a que la hermeticidad al aire, estanqueidad de fachada y sistemas de ventilación no son el objetivo principal ni variables de acondicionamiento ambiental en el que se desea profundizar en esta investigación, se consideraron como parte de las propuestas de mejora debido a su importancia en la consecución del objetivo de limitar a valores de uso mínimo óptimo el consumo energético, además de su repercusión en la rentabilidad de las propuestas.

### 5.3 Simulaciones Energéticas

Se realizaron simulaciones dinámicas utilizando el software Design Builder para obtener los consumos de cada una de las combinaciones posibles y así poder realizar el cálculo de la optimización de las inversiones de las propuestas de mejora. Las viviendas a simular son las definidas como representativas de la construcción habitacional en Concepción, que se definen a continuación:

- Vivienda base 1 (V1): Vivienda de una planta, con estructura de madera. (52,22 m<sup>2</sup> edificados)
- Vivienda base 2 (V2): Vivienda de dos plantas, con estructura de madera o metalcon. (50,48 m<sup>2</sup> edificados)
- Vivienda base 3 (V3): Vivienda de dos plantas, con estructura de albañilería en primer nivel y madera en segundo nivel. (50,48 m<sup>2</sup> edificados)

Para el cálculo de los ahorros económicos generados con cada propuesta, se simulará en primera instancia, las viviendas base, para obtener sus consumos energéticos iniciales y luego ser comparadas con los consumos que genera la misma vivienda, pero con la incorporación de las diferentes mejoras de estándar.

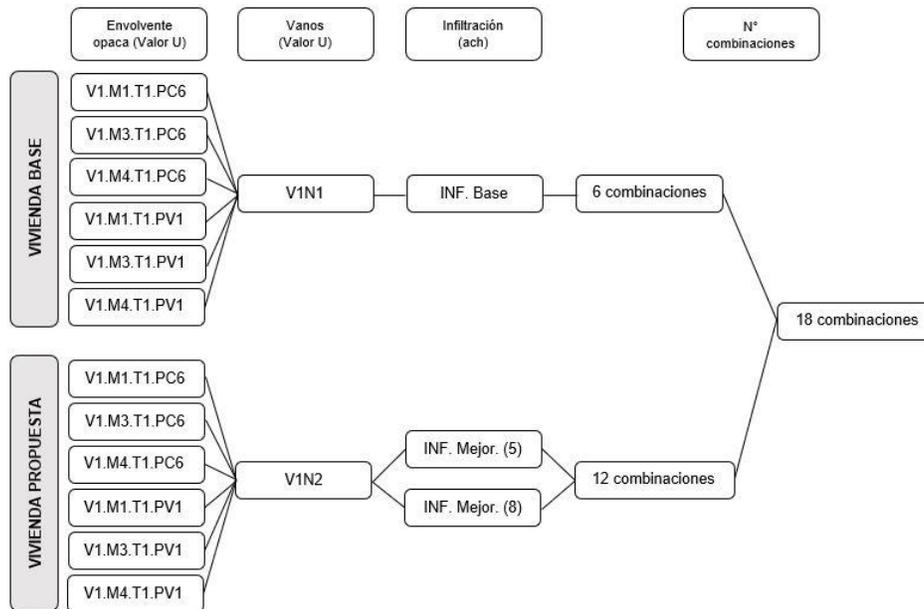
Para la simulación y cálculos de consumo energético, se considerarán factores que serán comunes para todos los modelos para que así estos sean comparables (cargas de ocupación, cargas de iluminación, cargas de equipos, horarios de uso, etc.).

Los ahorros energéticos se obtendrán a partir de la diferencia entre el consumo energético de la vivienda base y el consumo de la vivienda mejorada, además de las diferencias en los costos de mantención y sustitución. La vivienda mejorada es una edificación que tiene la misma condición de emplazamiento, orientación, tamaño y funcionalidad que la vivienda base, pero que incorpora la propuesta de mejora.

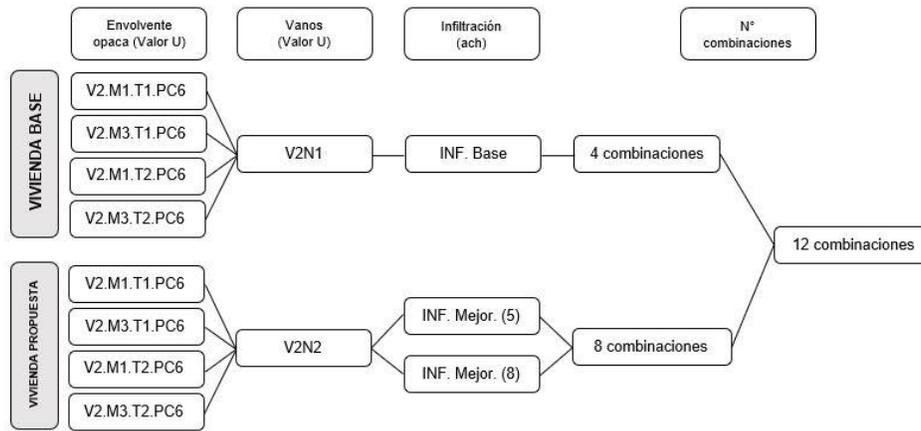
Para efectos de simulación, las viviendas de base son aquellas que cumplen con ser representativos de las tipologías de construcción habitacional en la ciudad de Concepción y que, además, cumplen con los estándares de transmitancia térmica detectados en levantamiento de

información de viviendas analizado. Viviendas que también a través de simulación y evaluación económica, se conoce su desempeño energético, desglose de costos de inversión, operación y mantenimiento durante su ciclo de vida, medidos a valor social (Costo de Ciclo de Vida Vivienda Base). Así, se define el escenario sin propuesta de mejora o actual y sirve de línea base para apreciar los desempeños energéticos y beneficios de inversiones conducentes a cumplir el objetivo antes mencionado.

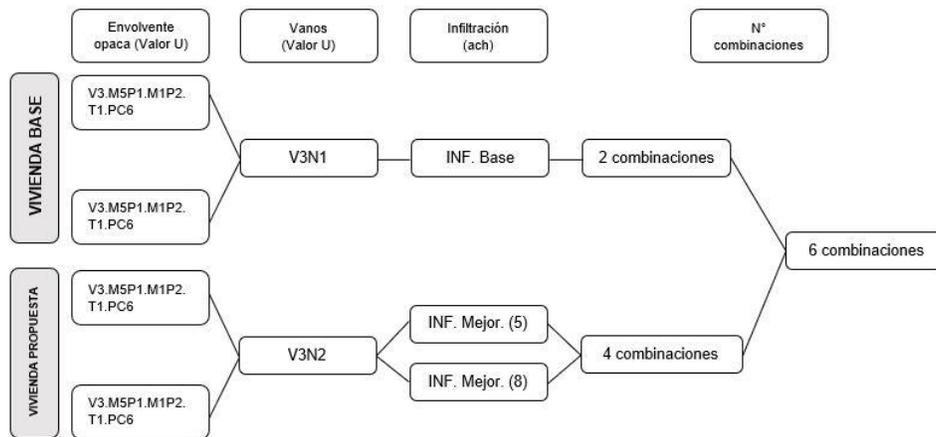
En la Figura 27, la Figura 28 y en la Figura 29 se muestran esquemas de las combinaciones de simulaciones realizadas, de acuerdo a la combinación de parámetros y estándares considerados:



**Figura 27: Combinaciones Paramétricas realizadas en Design Builder para Vivienda 1**



**Figura 28: Combinaciones Paramétricas realizadas en Design Builder para Vivienda 2**



**Figura 29: Combinaciones Paramétricas realizadas en Design Builder para Vivienda 3**

Las combinaciones paramétricas de las figuras anteriores se simularán con software de simulación dinámica Design Builder para obtener los consumos energéticos de cada una de las 36 combinaciones posibles y así poder realizar el cálculo de la optimización de las inversiones de las propuestas de mejora.

### 5.3.1 Input de Simulación

Para el desarrollo del ejercicio de simulación dinámica, se establecieron una serie de inputs, o datos de entrada, los cuales se aplicaron a las simulaciones de los diferentes escenarios a evaluar.

Se consideró un sistema de calefacción eléctrica con un Cop 1 de eficiencia. Se apuesta por un sistema de calefacción con electricidad debido a que esta fuente de energía juega un rol fundamental en la matriz energética del país, y entendiendo que, en el corto plazo la matriz energética será en base a energías renovables y limpias. Se considera que toda la vivienda se encuentra con calefacción, a excepción del baño, a una temperatura de consigna de 20°C, es decir, la calefacción se activará cuando la temperatura interior de la vivienda baje de 20°C, independiente del horario o del día. En el análisis no se incluyeron sistemas de refrigeración, debido al bajo consumo de este en el contexto climático de Concepción. Para la orientación de las viviendas simuladas, tanto en escenarios base y mejorados, se tomó como criterio que todos los modelos estuvieran orientadas con su acceso hacia el norte, para así homogenizar para todos esta variable para todas las evaluaciones, tanto en situación base y propuestas.

En la Tabla 57, se define la hermeticidad para los casos base de las diferentes tipologías de vivienda. Para esto consideró los valores de línea base de hermeticidad al aire de la edificación habitacional de acuerdo a la materialidad predominante en muros, indicada en Manual de Hermeticidad al Aire de las Edificaciones.

**Tabla 57: Línea Base de Hermeticidad y Desviación Estándar para la Edificación Habitacional**

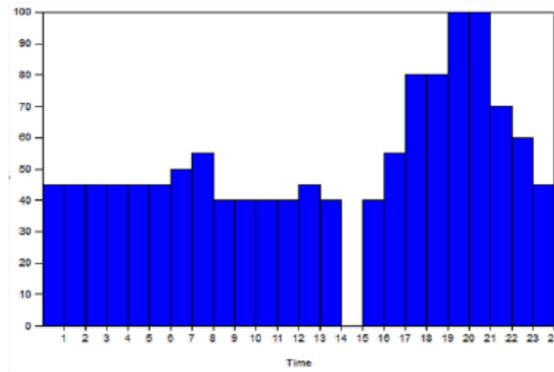
**Fuente: Manual de Hermeticidad al Aire de las Edificaciones**

| <b>Materialidad predominante envolvente</b>  | <b>Valor n50 Línea base</b> | <b>Desviación estándar</b> |
|--|-----------------------------|----------------------------|
| Hormigón                                     | 9,0                         | 5,3                        |
| Albañilería de ladrillo                      | 11,8                        | 3,6                        |
| Albañilería de ladrillo y estructura liviana | 15,0                        | 10,4                       |
| Entramado de madera                          | 24,6                        | 12,4                       |
| Otras materialidades                         | 10,2                        | 4,3                        |

Para evaluar la rentabilidad de las diferentes propuestas sobre las viviendas base, se deberá cuantificar y comparar las distintas opciones posibles. Por esto, se identificarán los costos y beneficios generados por cada propuesta para valorarlos comparadamente.

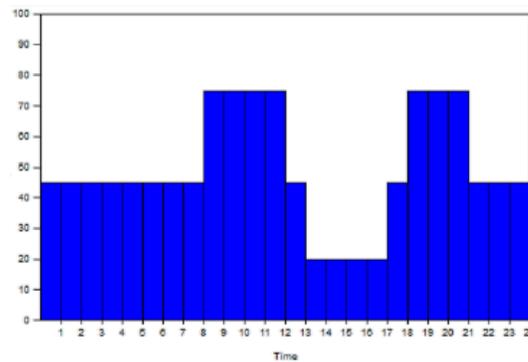
Con el objetivo de cuantificar los ahorros económicos, se calcularon los consumos energéticos de las viviendas base, que consideran actuales estándares de transmitancia térmica y hermeticidad, y los consumos energéticos de las mismas viviendas incorporando las propuestas de mejora, que consideran los estándares propuestos.

Para las simulaciones, se consideró una densidad de ocupación de 0,9 personas/m<sup>2</sup>. En la Figura 30 y la Figura 31, se puede observar los horarios de ocupación utilizado en el ejercicio de simulación.



**Figura 30: Horario de Ocupación Lunes – Viernes**

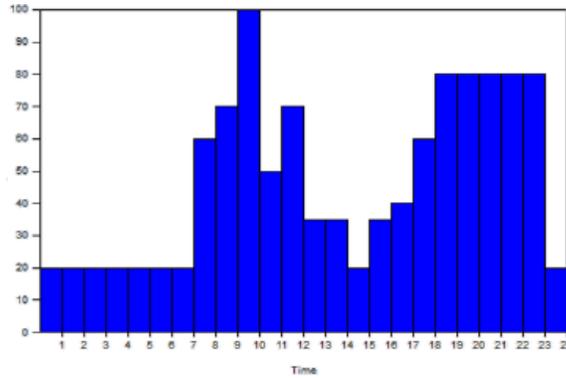
**Fuente: Patterns of residential occupancy, B. M Johnson**



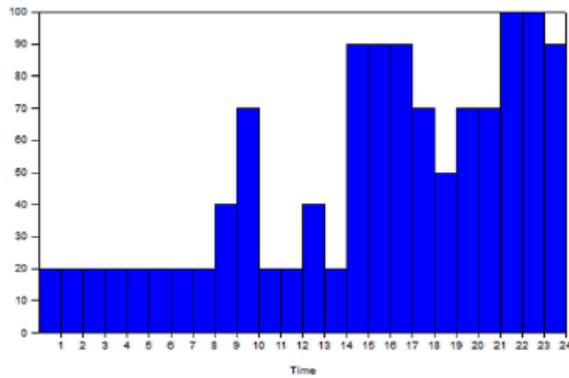
**Figura 31: Horario de Ocupación Sábado y Domingo**

**Fuente: Patterns of residential occupancy, B. M Johnson**

Se consideraron además ganancias internas por equipos de 12,38 W/m<sup>2</sup>, con un horario de uso que se observa en la Figura 32 y la Figura 33.

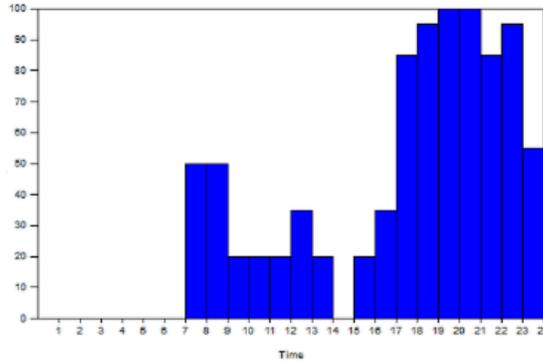


**Figura 32: Horario de Uso de Equipos Lunes. – Viernes**  
**Fuente: Patterns of residential occupancy, B. M Johnson**



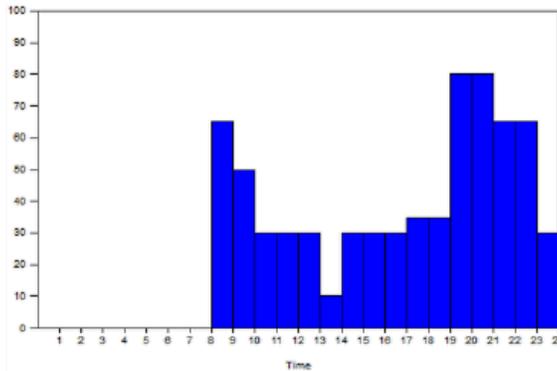
**Figura 33: Horario de Uso de Equipos Sábado y Domingo**  
**Fuente: Patterns of residential occupancy, B. M Johnson**

Las ganancias de iluminación artificial consideradas son de 9 W/m<sup>2</sup>. En la Figura 34 y la Figura 35 se observan los horarios de ocupación de iluminación consideradas en simulación.



**Figura 34: Horario de Uso de Iluminación Artificial Lunes – Viernes**

**Fuente: Patterns of residential occupancy, B. M Johnson**



**Figura 35: Horario de Uso de Iluminación Artificial Sábado y Domingo**

**Fuente: Patterns of residential occupancy, B. M Johnson**

#### 5.4 Análisis Costo de Ciclo de Vida

La metodología de evaluación económica se basa en el análisis de costo de ciclo de vida (LCC) en la forma que explica la Norma ASTM E917, 2013: Standard Practice for Measuring Lyfe-Cycle Cost of Building Systems, el cual consiste en determinar el flujo de costos actualizado neto, durante un periodo definido como ciclo de vida, asociado a los servicios de calefacción y propuestas de mejora.

Metodología costo-eficiencia que tiene por objetivo optimizar los incrementos de inversiones en mejoras orientadas a limitar a valores de uso mínimo óptimo el consumo energético de la construcción habitacional en la ciudad de Concepción desde una perspectiva de costos y beneficios sociales, como desde una perspectiva financiera. Para ello el nivel óptimo de rentabilidad debe situarse dentro del conjunto de escenarios donde el análisis costo-eficiencia entregue un resultado positivo a lo largo del ciclo de vida de la vivienda (VAN positivo) y además permite un retorno de la inversión dentro de los primeros cinco años del periodo de estudio. El objetivo es alcanzar niveles rentables y óptimos en términos de costos, que justifiquen el incremento de inversión en mejoras para limitar a valores de uso mínimo óptimo el consumo energético de diferentes tipologías de vivienda en Concepción. El objetivo es alcanzar niveles rentables y óptimos en términos de costos, que justifiquen la incorporación de medidas de mejora para la reducción del consumo energético de diferentes tipologías de vivienda en Concepción.

A continuación, se detallan las principales consideraciones de la metodología a utilizar.

Para evaluar la rentabilidad social de cada propuesta se cuantificará y comparará los costos de ciclo de vida de los diferentes escenarios a evaluar. La metodología requiere identificar los costos y beneficios, cuantificarlos y valorarlos comparadamente. Este análisis será utilizado con los siguientes objetivos:

- Considerar la viabilidad económica de las propuestas
- Comparar diferentes soluciones alternativas
- Calcular el efecto de las diferentes propuestas en el ciclo de vida de las viviendas a evaluar.

#### 5.4.1 *Supuesto de evaluación*

Previo al análisis de costo de ciclo de vida de las propuestas, se requirió determinar los costos de inversión inicial asociados a las viviendas en los escenarios base y mejorados, considerando los costos globales de estos. Para ello, se consideraron los siguientes costos y supuestos:

- Costo global: suma del valor actual de los costos de inversión iniciales, de los costos de funcionamiento y de los costos de reposición. En los costos de funcionamiento se incluyen los costos de energía y los costos de mantenimiento.
- Costos de inversión iniciales: todos aquellos que se realicen hasta el momento en que el edificio o la medida edificio se entregue, listo para su uso
- Costo de la energía: costos anuales y gastos fijos y de punta de la energía, incluidos los impuestos nacionales.
- Costos de mantenimiento: costos anuales derivados de las medidas de conservación y restauración del nivel de calidad deseado para un edificio o para uno de sus medidas (inspección, limpieza, ajuste y reparación). Para el estudio desarrollado, se ha tenido en cuenta que los sistemas constructivos tendrán los mismos costos de mantenimiento y, por tanto, no deben ser tenidos en cuenta en la comparación entre los escenarios.
- Costos de funcionamiento: costos anuales de mantenimiento y de la energía, asociados con el edificio o con la medida a analizar.
- Costos anuales: suma de los costos de funcionamiento y de los costos sustitución pagados en un determinado año.
- Costo de sustitución: inversión destinada a sustituir durante el período de cálculo un elemento, de acuerdo con el ciclo de vida útil estimada. En la metodología desarrollada, se tendrá en cuenta un periodo de vida útil de 20 años y, por tanto, las medidas implementadas no deberán tener costos de sustitución puesto que su vida útil es superior a 20 años.

Para el análisis se establecen una serie de supuestos e incertidumbres. Por ejemplo, el aumento de precios que se genere a lo largo del periodo de análisis: costo de la energía, tasa de actualización,

costos de mantenimiento, reposición, entre otros. Para la evaluación económica se consideró un valor de UF DE \$26.704, el cual corresponde al 25 de noviembre 2017, la fecha en que se comenzó esta etapa de la evaluación.

Se consideró, además, un costo de energía de \$ 116,44 por kWh correspondiente al valor promedio de costo de energía de CGE en 2017. Es importante señalar que todos los análisis de costo de ciclo de vida se realizan bajo los mismos parámetros y supuestos.

#### **5.4.2 Indicadores económicos considerados**

Los costos considerados en la metodología, en su conjunto, conforman el costo de ciclo de vida de una vivienda base o de la misma incorporando propuestas de mejoras que se desea analizar. Al determinar el costo de ciclo de vida de un escenario, se omitieron los costos que eran iguales para todas las tipologías y propuestas a evaluar. Los principales indicadores económicos para la comparación de viviendas base y mejoradas son:

- Costo de ciclo de vida (UF): Flujo de costos actualizado neto, durante un periodo de 20 años; que se asocia a los servicios de calefacción, ventilación y soluciones constructivas para la implementación de estándares.
- Diferencia de Costos de Ciclo de Vida (UF): Diferencia en el flujo de costos actualizado neto, durante un periodo de 20 años; que se asocia a los servicios de calefacción, ventilación y soluciones constructivas para la implementación de estándares, entre el caso base de una vivienda base y la misma, considerando propuestas de mejora.
- Variación de Costos de Ciclo de Vida (%): Variación porcentual en la diferencia en el flujo de costos actualizado neto, durante un periodo de 20 años; que se asocia a los servicios de calefacción, ventilación y propuestas de mejora para la implementación de estándares, entre el caso base de una vivienda y el mismo caso con propuestas de mejoras incorporado.

- Periodo de recuperación de la inversión (PRI) (años): Tiempo necesario para recuperar la inversión de las propuestas de mejora de estándares; se considera para la ello la actualización de los flujos de caja (periodo de recuperación descontado).

#### 5.4.3 Cálculo de costo de ciclo de vida

Para determinar el costo de ciclo de vida asociado a un escenario, se realiza la suma de los costos traídos a valor presente, utilizando la Ecuación 5:

$$VPLCC = IC + CO$$

Para la implementación de la metodología se determinaron los costos de operación, los cuales corresponden a aquellos que resultan del consumo en calefacción de las viviendas. Para calcular estos costos se utilizó la Ecuación 7:

$$P = AO \left( \frac{1+e}{i-e} \right) \left[ 1 - \left( \frac{1+e}{1+i} \right)^N \right]$$

Mediante ella se obtiene el valor presente para todos los costos que se incrementan a una determinada tasa de escalamiento, en un periodo de estudio establecido.

Para el análisis, se calcularon los costos de ciclo de vida de diferentes tipologías de viviendas base, los cuales serán comparados con el costo de ciclo de vida de las mismas tipologías de vivienda pero que incorporan propuestas de mejora de la transmitancia térmica de su envolvente.

El costo de inversión inicial de cada propuesta será analizado bajo dos escenarios de evaluación de rentabilidad:

El primer escenario de evaluación económica se realiza con la comparación entre el costo de la inversión inicial, de los escenarios situación base y propuestos, con el subsidio de reparación y mejoramiento de la vivienda entregado por el Minvu a través del Programa de Protección del Patrimonio Familiar (PPPF), el cual consiste en 68 UF (65 UF Minvu + 3 UF del propietario de la vivienda).

Esta comparación se justifica a través del análisis de costo de ciclo de vida de las viviendas evaluadas, aumentando la inversión inicial de la vivienda con el monto de del subsidio de reparación y mejoramiento, obteniendo mejoras energéticas y de habitabilidad, y a la vez, reduciendo la posibilidad de necesidad de reparaciones y solicitudes de subsidios por parte de sus habitantes en el futuro. Esta comparación permitirá determinar cuál o cuáles inversiones iniciales para las propuestas de mejora son inferiores o superiores al monto otorgado por los PPPF.

El segundo escenario se establece a partir de la comparación entre el análisis de costo de ciclo de vida y el período de recuperación de la inversión (PRI) desde un punto de vista social de los escenarios de situación base y mejorados. La incorporación de mejoras a las tipologías de vivienda base implicará una mayor inversión inicial, disminución en el consumo energético y menor gasto en calefacción.

Mediante el cálculo del costo global de la propuesta y ahorro anual que generará al usuario, se calculará el periodo de recuperación de la inversión, para ello se realizará un análisis de costo de ciclo de vida de las tipologías de viviendas base y mejoradas; escenarios que serán calculados durante un período de 20 años considerando los ahorros, costos de sustitución y mantenimiento que suponga cada propuesta, con un factor de escalamiento de 5,34%. El PRI establece el tiempo necesario para recuperar la inversión inicial de cada propuesta a través de los ahorros económicos que generen.

Este dependerá de dos factores: el incremento de costo de la inversión que supondría la propuesta de mejora y el ahorro anual en pesos que generaría dicha propuesta. El PRI se producirá cuando los ahorros acumulados producto de la implementación de la propuesta sobrepasen el incremento de inversión inicial y costos de mantenimiento y sustitución que implique dicha propuesta. Se establece como criterio rector que dentro de las propuestas donde el análisis costo-eficiencia genere un resultado positivo a lo largo del ciclo de vida de la vivienda (VAN positivo), consigan un PRI igual o menor a 5 años, debido a esto permitiría un retorno de inversión en un cuarto del periodo de estudio, generando desde el año 5 liquidez para el inversionista sea para el Estado o privado, que puede ser destinada a otras inversiones alternativas a la misma vivienda en beneficio de mejores condiciones de confort y habitabilidad para sus usuarios. Además, la pronta recuperación de la inversión permite disminuir la incertidumbre de la inversión realizada ya que

mientras más se tarde en recuperar la inversión, mayor es la incertidumbre y riesgo sobre la rentabilidad de la propuesta de mejora.

En la evaluación se consideró que en el periodo de análisis no existirán sustituciones de elementos y que los costos de mantenimiento serán iguales en el caso base y propuesto, por lo que no se considerarán en la evaluación.

La rentabilidad de las distintas propuestas de mejora se obtiene comparando, a valor presente, los costos sociales acumulados durante el ciclo de operación de las viviendas, bajo los escenarios de condición base y mejoradas para cada una de las tipologías evaluadas.

Los principales conceptos económicos que considera la metodología son los siguientes:

- Tasa de interés real: Tasa de interés real ajustada a la tasa de inflación. La tasa de interés real puede variar durante el periodo de cálculo (cálculo dinámico) La tasa de interés real depende de la tasa de interés del mercado y de la tasa de inflación. Se expresa en porcentaje.
- Tasa de descuento: Valor definido para comparar el valor de la moneda en diferentes épocas. La tasa de descuento depende de la tasa de interés real y del periodo de costes considerado (por ejemplo, número de años a partir del año inicial). Es adimensional.
- Tasa de escalamiento: evolución en el tiempo de los precios de la energía, de los productos, de los sistemas de las viviendas, de los servicios, de la mano de obra, del mantenimiento y de los demás costes; puede ser diferente de la tasa de inflación. Se expresa en porcentaje.
- Factor de valor actual: Factor por el cual se multiplica cualquier costo o ingreso anual para ser referido al año inicial (Es la inversa al factor de anualidad). El factor de valor actual depende de la tasa de interés real y del número de años considerados para los costes anuales. Es adimensional
- Factor de anualidad: Factor por el cual se divide cualquier coste o ingreso anual para ser referido al año inicial. El factor de anualidad es el valor inverso del factor de valor actual. Es adimensional.

- Valor final: El valor final a la terminación del periodo de cálculo se determina por la suma del valor final de todos los sistemas y componentes. El valor final de un componente queda determinado por la línea recta de depreciación de la inversión inicial hasta el final del periodo de cálculo y referido al comienzo del periodo de cálculo

Además, se utilizaron dos criterios para definir los escenarios económicos generados por las propuestas de mejora con respecto a las viviendas base:

- Ahorro en UF/m<sup>2</sup>: Mide los beneficios económicos sociales de la implementación de propuestas de mejora a las viviendas base. Resulta de comparar a valor presente los costos sociales acumulados durante el ciclo de operación de la vivienda, en los escenarios de vivienda base y vivienda mejorada. Y se determina a través de la Ecuación 3

$$Ahorro = VPLCC_{eb} - VPALCC_{em}$$

- Periodo de recuperación de la inversión: Establece el tiempo necesario para recuperar la inversión asociada a cada propuesta de mejora propuesto; se considera para ello la actualización de los flujos de caja (periodo de recuperación descontado). Para ello se utiliza la Ecuación 4

$$PRI = a + \frac{(b-c)}{d}$$

## CAPITULO 6: RESULTADOS Y ANÁLISIS

En el presente capítulo se mostrarán los resultados obtenidos luego de emplear la metodología antes mencionada. Se tratará del consumo energético de las viviendas en estudio, los costos del ciclo de vida, analizando los costos de la inversión inicial por propuesta de mejora. Para finalmente realizar un análisis en conjunto de los resultados obtenidos.

### 6.1 Consumo Energético

De la Tabla 58, la Tabla 59, la Tabla 60, la Tabla 61, la Tabla 62 y la Tabla 63, se observan los consumos energéticos por calefacción y el gasto económico que supondría.

**Tabla 58: Consumo Energético Caso Vivienda Base 1**

| Casos Base              | Consumo energético |                   |        |
|-------------------------|--------------------|-------------------|--------|
|                         | kWh/año            | UF/m <sup>2</sup> | UF/año |
| V1.M1.T1.PC6.(INF-24,6) | 7297,77            | 0,76              | 32,13  |
| V1.M3.T1.PC6.(INF-24,6) | 7379,16            | 0,76              | 32,49  |
| V1.M4.T1.PC6.(INF-24,6) | 7068,68            | 0,73              | 31,12  |
| V1.M1.T1.PV1.(INF-24,6) | 5748,75            | 0,60              | 25,31  |
| V1.M3.T1.PV1.(INF-24,6) | 5850,25            | 0,61              | 25,76  |
| V1.M4.T1.PV1.(INF-24,6) | 5461,75            | 0,57              | 24,05  |

**Tabla 59: Consumo Energético Propuesta de Mejora Vivienda 1**

| Casos Base           | Consumo energético |                   |        |
|----------------------|--------------------|-------------------|--------|
|                      | kWh/año            | UF/m <sup>2</sup> | UF/año |
| V1.M1.T1.PC6.(INF-5) | 2039,94            | 0,21              | 8,98   |
| V1.M1.T1.PC6.(INF-8) | 2724,20            | 0,28              | 11,99  |
| V1.M3.T1.PC6.(INF-5) | 2039,31            | 0,21              | 8,98   |
| V1.M3.T1.PC6.(INF-8) | 2723,49            | 0,28              | 11,99  |
| V1.M4.T1.PC6.(INF-5) | 2039,31            | 0,21              | 8,98   |
| V1.M4.T1.PC6.(INF-8) | 2723,49            | 0,28              | 11,99  |
| V1.M1.T1.PV1.(INF-5) | 2148,51            | 0,22              | 9,46   |
| V1.M1.T1.PV1.(INF-8) | 2787,80            | 0,29              | 12,27  |
| V1.M3.T1.PV1.(INF-5) | 2147,59            | 0,22              | 9,46   |
| V1.M3.T1.PV1.(INF-8) | 2786,72            | 0,29              | 12,27  |
| V1.M4.T1.PV1.(INF-5) | 2147,59            | 0,22              | 9,46   |
| V1.M4.T1.PV1.(INF-8) | 2786,72            | 0,29              | 12,27  |

**Tabla 60: Consumo Energético Caso Vivienda Base 2**

| Casos Base              | Consumo energético |                   |        |
|-------------------------|--------------------|-------------------|--------|
|                         | kWh/año            | UF/m <sup>2</sup> | UF/año |
| V2.M1.T1.PC6.(INF-24,6) | 5133,69            | 0,62              | 22,60  |
| V2.M3.T1.PC6.(INF-24,6) | 5054,85            | 0,61              | 22,26  |
| V2.M1.T2.PC6.(INF-24,6) | 5098,81            | 0,61              | 22,45  |
| V2.M3.T2.PC6.(INF-24,6) | 5019,57            | 0,60              | 22,10  |

**Tabla 61: Consumo Energético Propuesta de Mejora Vivienda 2**

| Casos Base           | Consumo energético |                   |        |
|----------------------|--------------------|-------------------|--------|
|                      | kWh/año            | UF/m <sup>2</sup> | UF/año |
| V2.M1.T1.PC6.(INF-5) | 1012,87            | 0,12              | 4,46   |
| V2.M1.T1.PC6.(INF-8) | 1518,99            | 0,18              | 6,69   |
| V2.M3.T1.PC6.(INF-5) | 1012,22            | 0,12              | 4,46   |
| V2.M3.T1.PC6.(INF-8) | 1518,25            | 0,18              | 6,68   |
| V2.M1.T2.PC6.(INF-5) | 1013,12            | 0,12              | 4,46   |
| V2.M1.T2.PC6.(INF-8) | 1519,74            | 0,18              | 6,69   |
| V2.M3.T2.PC6.(INF-5) | 1012,57            | 0,12              | 4,46   |
| V2.M3.T2.PC6.(INF-8) | 1519,00            | 0,18              | 6,69   |

**Tabla 62: Consumo Energético Caso Vivienda Base 3**

| Casos Base                  | Consumo energético |                   |        |
|-----------------------------|--------------------|-------------------|--------|
|                             | kWh/año            | UF/m <sup>2</sup> | UF/año |
| V3.M5P1.M1P2.T1.PC6.(INF15) | 3862,15            | 0,46              | 17,01  |
| V3.M5P1.M3P2.T1.PC6.(INF15) | 4035,51            | 0,49              | 17,77  |

**Tabla 63: Consumo Energético Propuesta de Mejora Vivienda 3**

| Casos Base                  | Consumo energético |                   |        |
|-----------------------------|--------------------|-------------------|--------|
|                             | kWh/año            | UF/m <sup>2</sup> | UF/año |
| V3.M5P1.M1P2.T1.PC6.(INF-5) | 999,61             | 0,12              | 4,40   |
| V3.M5P1.M1P2.T1.PC6.(INF-8) | 1493,52            | 0,18              | 6,58   |
| V3.M5P1.M3P2.T1.PC6.(INF-5) | 995,14             | 0,12              | 4,38   |
| V3.M5P1.M3P2.T1.PC6.(INF-8) | 1487,73            | 0,18              | 6,55   |

Como se observa en las tablas anteriores, la incorporación de las propuestas de mejora que consideran disminución de la transmitancia térmica de la envolvente y hermeticidad al aire de las viviendas base, generan considerables reducciones en el consumo de energía según las simulaciones realizadas.

En el caso de la vivienda 1, se logra reducir el consumo de energía desde 7379,16 kWh/año hasta un 2039,21 kWh/año. En promedio las propuestas de mejora generan una reducción del consumo energético de 61,85% con respecto al consumo base. Las propuestas de mejora que consideran un estándar de hermeticidad 5 ach generan una mayor reducción en el consumo energético que aquellas que considera un estándar de 8 ach, con una reducción promedio de 67,02% y 56,68% respectivamente.

En la vivienda 2, la reducción del consumo energético que generan las propuestas mejoras permite reducciones de 5133,69 kWh/año hasta 1012,22. En promedio las propuestas de mejora generan una reducción de consumo energético de 75% con respecto al consumo base. Las propuestas de mejora que consideran un estándar de hermeticidad 5 ach generan una mayor reducción en el consumo energético que aquellas que considera un estándar de 8 ach, con una reducción promedio de 80,05% y 70,07 % respectivamente.

En la vivienda 3, la reducción del consumo energético que generan las propuestas mejoras permite reducciones de 4035,51 kWh/año hasta 995,14 kWh/año. En promedio las propuestas de mejora generan una reducción de consumo energético de 68,48% con respecto al consumo base. Las propuestas de mejora que consideran un estándar de hermeticidad 5 ach generan una mayor reducción en el consumo energético que aquellas que considera un estándar de 8 ach, con una reducción promedio de 74,72% y 62,23 % respectivamente.

Los resultados de las simulaciones energéticas realizadas permiten confirmar que el estándar propuesto cumple con el criterio planteado, logrando generar reducciones en el consumo energético de calefacción por sobre el 50% con respecto a la vivienda base.

Es importante mencionar, que estas reducciones se obtienen a través de ejercicio de simulación con condiciones de uso controladas. El real comportamiento energético de las viviendas depende en gran parte del usuario, y por ello, las reducciones en los consumos energéticos en la realidad no serían tan acentuadas; sin embargo, si existirá y, además, se producirá mejoras en las condiciones

de habitabilidad, confort térmico y calidad de vida de los habitantes en sus viviendas, beneficios que no se han cuantificado económicamente en esta investigación.

## 6.2 Análisis Costo de Ciclo de Vida

### 6.2.1 Costos de inversión inicial

Para la determinación del costo de ciclo de vida de los distintos escenarios a evaluar, se determinaron los costos de inversión inicial. Se omitieron los costos que eran iguales para todos los escenarios y aquellos que no tenían influencia en el análisis.

En el caso de las aislaciones térmicas, se consideraron los aumentos de espesor de estos con el objetivo de analizar los aumentos de costos de inversión inicial entre los escenarios base y mejorados a evaluar.

**Se determinó y analizó los incrementos de costos de inversión asociados a las propuestas de mejora y mejora y estándares propuestos. Para ello se han calculado, tal como indican la Tabla 64, la Tabla 65, la**

Tabla 66 y la Tabla 67, los costos de inversión inicial por metro cuadrado para los escenarios de vivienda base y mejorada respectivamente.

**Tabla 64: Costos de Inversión Inicial para Envoltente Térmica de Viviendas base 1, 2 y 3 (UF/m<sup>2</sup>)**

| Caso                | Vanos | Techo | Muros piso 1 | Muro piso 2 | Piso  |
|---------------------|-------|-------|--------------|-------------|-------|
| V1.M1.T1.PC6        | 2,139 | 0,158 | 0,076        | -           | -     |
| V1.M3.T1.PC6        | 2,139 | 0,158 | 0,066        | -           | -     |
| V1.M4.T1.PC6        | 2,139 | 0,158 | 0,097        | -           | -     |
| V1.M1.T1.PV1        | 2,139 | 0,158 | 0,097        | -           | 0,144 |
| V1.M3.T1.PV1        | 2,139 | 0,158 | 0,066        | -           | 0,144 |
| V1.M4.T1.PV1        | 2,139 | 0,158 | 0,076        | -           | 0,144 |
| V2.M1.T1.PC6        | 2,092 | 0,158 | 0,076        | 0,076       | -     |
| V2.M3.T1.PC6        | 2,092 | 0,158 | 0,08         | 0,08        | -     |
| V2.M1.T2.PC6        | 2,092 | 0,159 | 0,076        | 0,076       | -     |
| V2.M3.T2.PC6        | 2,092 | 0,159 | 0,08         | 0,08        | -     |
| V3.M5P1.M1P2.T1.PC6 | 2,092 | 0,158 | -            | 0,083       | -     |
| V3.M5P1.M3P2.T1.PC6 | 2,092 | 0,158 | -            | 0,066       | -     |

**Tabla 65: Costos de Inversión Inicial para Aislación Térmica, Sellado de la Envolvente para Hermeticidad de Vanos, en función de la exigencia de la Hermeticidad de Propuesta de Mejora Vivienda 1 (UF/m<sup>2</sup>)**

| Caso                 | Vanos | Techo | Muros piso 1 | Muros piso 2 | Piso  | Sellado de la envolvente |
|----------------------|-------|-------|--------------|--------------|-------|--------------------------|
| V1.M1.T1.PC6.(INF-5) | 3,624 | 0,169 | 0,254        | 0            | 0,63  | 0,06                     |
| V1.M1.T1.PC6.(INF-8) | 3,147 | 0,169 | 0,254        | 0            | 0,63  | 0,06                     |
| V1.M3.T1.PC6.(INF-5) | 3,624 | 0,169 | 0,272        | 0            | 0,63  | 0,06                     |
| V1.M3.T1.PC6.(INF-8) | 3,147 | 0,169 | 0,272        | 0            | 0,63  | 0,06                     |
| V1.M4.T1.PC6.(INF-5) | 3,624 | 0,169 | 0,264        | 0            | 0,63  | 0,06                     |
| V1.M4.T1.PC6.(INF-8) | 3,147 | 0,169 | 0,264        | 0            | 0,63  | 0,06                     |
| V1.M1.T1.PV1.(INF-5) | 3,624 | 0,169 | 0,254        | 0            | 0,083 | 0,06                     |
| V1.M1.T1.PV1.(INF-8) | 3,147 | 0,169 | 0,254        | 0            | 0,083 | 0,06                     |
| V1.M3.T1.PV1.(INF-5) | 3,624 | 0,169 | 0,272        | 0            | 0,083 | 0,06                     |
| V1.M3.T1.PV1.(INF-8) | 3,147 | 0,169 | 0,272        | 0            | 0,083 | 0,06                     |
| V1.M4.T1.PV1.(INF-5) | 3,624 | 0,169 | 0,264        | 0            | 0,083 | 0,06                     |
| V1.M4.T1.PV1.(INF-8) | 3,147 | 0,169 | 0,264        | 0            | 0,083 | 0,06                     |

**Tabla 66: Costos de Inversión Inicial para Aislación Térmica, Sellado de la Envolvente para Hermeticidad de Vanos, en función de la exigencia de la Hermeticidad de Propuesta de Mejora Vivienda 2 (UF/m<sup>2</sup>)**

| Caso                 | Vanos | Techo | Muros piso 1 | Muros piso 2 | Piso | Sellado de la envolvente |
|----------------------|-------|-------|--------------|--------------|------|--------------------------|
| V2.M1.T1.PC6.(INF-5) | 3,935 | 0,169 | 0,26         | 0,26         | 0,63 | 0,06                     |
| V2.M1.T1.PC6.(INF-8) | 3,353 | 0,169 | 0,26         | 0,26         | 0,63 | 0,06                     |
| V2.M3.T1.PC6.(INF-5) | 3,935 | 0,169 | 0,176        | 0,176        | 0,63 | 0,06                     |
| V2.M3.T1.PC6.(INF-8) | 3,353 | 0,169 | 0,176        | 0,176        | 0,63 | 0,06                     |
| V2.M1.T2.PC6.(INF-5) | 3,935 | 0,159 | 0,26         | 0,26         | 0,63 | 0,06                     |
| V2.M1.T2.PC6.(INF-8) | 3,353 | 0,159 | 0,26         | 0,26         | 0,63 | 0,06                     |
| V2.M3.T2.PC6.(INF-5) | 3,935 | 0,159 | 0,176        | 0,176        | 0,63 | 0,06                     |
| V2.M3.T2.PC6.(INF-8) | 3,353 | 0,159 | 0,176        | 0,176        | 0,63 | 0,06                     |

**Tabla 67: Costos de Inversión Inicial para Aislación Térmica, Sellado de la Envolvente para Hermeticidad de Vanos, en función de la exigencia de la Hermeticidad de Propuesta de Mejora Vivienda 3 (UF/m<sup>2</sup>)**

| Caso                         | Vanos | Techo | Muros piso 1 | Muros piso 2 | Piso  | Sellado de la envolvente |
|------------------------------|-------|-------|--------------|--------------|-------|--------------------------|
| V3.M5P1.M1P2.T1.PC6.(IN F-5) | 3,935 | 0,158 | 0,575        | 0,192        | 0,63  | 0,14                     |
| V3.M5P1.M1P2.T1.PC6.(IN F-8) | 3,353 | 0,158 | 0,575        | 0,192        | 0,63  | 0,14                     |
| V3.M5P1.M3P2.T1.PC6.(IN F-5) | 3,935 | 0,158 | 0,493        | 0,144        | 0,508 | 0,14                     |
| V3.M5P1.M3P2.T1.PC6.(IN F-8) | 3,353 | 0,158 | 0,493        | 0,144        | 0,508 | 0,14                     |

Para la valorización de los costos asociados a la estanqueidad de fachada, se consideró con que estos deban cumplir con la exigencia L600, por lo tanto, se consideró un valor proporcional de la realización de ensayos de estanqueidad al agua, con un valor estimado de 15 UF.

En la Tabla 68, se observan los costos asociados a los sistemas de ventilación natural y mecánica considerados:

**Tabla 68: Costos Iniciales para Dispositivos de Ventilación Natural y Mecánica (UF)**

| Dispositivos                   | Unidad | Costo unitario | Vivienda 1 | Vivienda 2 | Vivienda 3 |
|--------------------------------|--------|----------------|------------|------------|------------|
| Aireadores                     | Unid   | 0,186          | 1,12       | 0,75       | 0,75       |
| Celosías puertas               | Unid   | 0,9            | 0,9        | 0,9        | 0,9        |
| Celosía logia                  | Unid   | 0,956          | 3,83       | 3,83       | 3,83       |
| Extractor de baño              | Unid   | 2,767          | 2,57       | 2,767      | 2,767      |
| Campana de extracción          | Unid   | 3,686          | 3,686      | 3,686      | 3,686      |
| Shaft extracción + viga falsa  | ml     | 0,491          | 4,046      | 4,046      | 4,046      |
| Sombrerete extracción vivienda | Unid   | 1,134          | 1,134      | 1,134      | 1,134      |

### **6.2.2 Costos de inversión inicial por propuestas de mejora**

Determinados los costos de inversión por metro cuadrado de mejoramiento de estándar, se calcularon los costos de inversión inicial por propuestas de mejora sobre cada una de las tipologías de viviendas base.

En la Tabla 69, la Tabla 70 y la Tabla 71 se presenta los costos totales para cada tipología de vivienda incorporando las propuestas de mejora y el incremento de costo que supone el incremento de las exigencias en la construcción de viviendas.

**Tabla 69: Costos e Incrementos de Inversión Inicial por Paquete para Vivienda Base 1 y Casos Mejorados sobre esta (UF)**

| Caso                    | Costos paquetes según vivienda tipo |       |              |              |        |                |             |              |         | Diferencia precio según vivienda |
|-------------------------|-------------------------------------|-------|--------------|--------------|--------|----------------|-------------|--------------|---------|----------------------------------|
|                         | Vanos                               | Techo | Muros piso 1 | Muros piso 2 | Piso   | Sellado envol. | Sist. Vent. | Est. Fachada | Total   |                                  |
| <b>Vivienda 1</b>       |                                     |       |              |              |        |                |             |              |         |                                  |
| V1.M1.T1.PC6.(INF-24,6) | 16,512                              | 7,948 | 4,738        | 0            | 0      | 0              | 0           | 0            | 29,198  | 0 (Caso base)                    |
| V1.M3.T1.PC6.(INF-24,6) | 16,512                              | 7,948 | 4,131        | 0            | 0      | 0              | 0           | 0            | 28,591  | 0 (Caso base)                    |
| V1.M4.T1.PC6.(INF-24,6) | 16,512                              | 7,948 | 6,055        | 0            | 0      | 0              | 0           | 0            | 30,515  | 0 (Caso base)                    |
| V1.M1.T1.PV1.(INF-24,6) | 16,512                              | 7,948 | 6,055        | 0            | 7,227  | 0              | 0           | 0            | 37,742  | 0 (Caso base)                    |
| V1.M3.T1.PV1.(INF-24,6) | 16,512                              | 7,948 | 4,131        | 0            | 7,227  | 0              | 0           | 0            | 35,818  | 0 (Caso base)                    |
| V1.M4.T1.PV1.(INF-24,6) | 16,512                              | 7,948 | 4,738        | 0            | 7,227  | 0              | 0           | 0            | 36,425  | 0 (Caso base)                    |
| V1.M1.T1.PC6.(INF-5)    | 28,353                              | 8,5   | 15,934       | 0            | 31,723 | 4,797          | 13,592      | 1,244        | 104,143 | 74,945                           |
| V1.M1.T1.PC6.(INF-8)    | 24,763                              | 8,5   | 15,934       | 0            | 31,723 | 4,797          | 13,592      | 1,244        | 100,553 | 71,355                           |
| V1.M3.T1.PC6.(INF-5)    | 28,353                              | 8,5   | 17,049       | 0            | 31,723 | 4,797          | 13,592      | 1,244        | 105,258 | 76,667                           |
| V1.M3.T1.PC6.(INF-8)    | 24,763                              | 8,5   | 17,049       | 0            | 31,723 | 4,797          | 13,592      | 1,244        | 101,668 | 73,077                           |
| V1.M4.T1.PC6.(INF-5)    | 28,353                              | 8,5   | 16,514       | 0            | 31,723 | 4,797          | 13,592      | 1,244        | 104,723 | 74,208                           |
| V1.M4.T1.PC6.(INF-8)    | 24,763                              | 8,5   | 16,514       | 0            | 31,723 | 4,797          | 13,592      | 1,244        | 101,133 | 70,618                           |
| V1.M1.T1.PV1.(INF-5)    | 28,353                              | 8,5   | 15,934       | 0            | 4,166  | 4,797          | 13,592      | 1,244        | 76,586  | 38,844                           |
| V1.M1.T1.PV1.(INF-8)    | 24,763                              | 8,5   | 15,934       | 0            | 4,166  | 4,797          | 13,592      | 1,244        | 72,996  | 35,254                           |
| V1.M3.T1.PV1.(INF-5)    | 28,353                              | 8,5   | 17,049       | 0            | 4,166  | 4,797          | 13,592      | 1,244        | 77,701  | 41,883                           |
| V1.M3.T1.PV1.(INF-8)    | 24,763                              | 8,5   | 17,049       | 0            | 4,166  | 4,797          | 13,592      | 1,244        | 74,111  | 38,293                           |
| V1.M4.T1.PV1.(INF-5)    | 28,353                              | 8,5   | 16,514       | 0            | 4,166  | 4,797          | 13,592      | 1,244        | 77,166  | 40,741                           |
| V1.M4.T1.PV1.(INF-8)    | 24,763                              | 8,5   | 16,514       | 0            | 4,166  | 4,797          | 13,592      | 1,244        | 73,576  | 37,151                           |

**Tabla 70: Costos e Incrementos de Inversión Inicial por Paquete para Vivienda Base 2 y Casos Mejorados sobre esta (UF)**

| Caso                    | Costos paquetes según vivienda tipo |       |              |              |        |                |             |              |        | Diferencia precio según vivienda |
|-------------------------|-------------------------------------|-------|--------------|--------------|--------|----------------|-------------|--------------|--------|----------------------------------|
|                         | Vanos                               | Techo | Muros piso 1 | Muros piso 2 | Piso   | Sellado envol. | Sist. Vent. | Est. Fachada | Total  |                                  |
| <b>Vivienda 2</b>       |                                     |       |              |              |        |                |             |              |        |                                  |
| V2.M1.T1.PC6.(INF-24,6) | 11,232                              | 4,23  | 3,691        | 3,365        | 0      | 0              | 0           | 0            | 22,518 | 0 (Caso base)                    |
| V2.M3.T1.PC6.(INF-24,6) | 11,232                              | 4,23  | 3,916        | 3,571        | 0      | 0              | 0           | 0            | 22,949 | 0 (Caso base)                    |
| V2.M1.T2.PC6.(INF-24,6) | 11,232                              | 4,252 | 3,691        | 3,365        | 0      | 0              | 0           | 0            | 22,54  | 0 (Caso base)                    |
| V2.M3.T2.PC6.(INF-24,6) | 11,232                              | 4,252 | 3,916        | 3,571        | 0      | 0              | 0           | 0            | 22,971 | 0 (Caso base)                    |
| V2.M1.T1.PC6.(INF-5)    | 22,195                              | 4,523 | 12,68        | 11,563       | 16,883 | 4,486          | 15,131      | 1,244        | 88,705 | 66,187                           |
| V2.M1.T1.PC6.(INF-8)    | 19,071                              | 4,523 | 12,68        | 11,563       | 16,883 | 4,486          | 15,131      | 1,244        | 85,581 | 63,063                           |
| V2.M3.T1.PC6.(INF-5)    | 22,195                              | 4,523 | 8,576        | 7,821        | 16,883 | 4,486          | 15,131      | 1,244        | 80,859 | 57,91                            |
| V2.M3.T1.PC6.(INF-8)    | 19,071                              | 4,523 | 8,576        | 7,821        | 16,883 | 4,486          | 15,131      | 1,244        | 77,735 | 54,786                           |
| V2.M1.T2.PC6.(INF-5)    | 22,195                              | 4,252 | 12,68        | 11,563       | 16,883 | 4,486          | 15,131      | 1,244        | 88,434 | 65,894                           |
| V2.M1.T2.PC6.(INF-8)    | 19,071                              | 4,252 | 12,68        | 11,563       | 16,883 | 4,486          | 15,131      | 1,244        | 85,31  | 62,77                            |
| V2.M3.T2.PC6.(INF-5)    | 22,195                              | 4,252 | 8,576        | 7,821        | 16,883 | 4,486          | 15,131      | 1,244        | 80,588 | 57,617                           |
| V2.M3.T2.PC6.(INF-8)    | 19,071                              | 4,252 | 8,576        | 7,821        | 16,883 | 4,486          | 15,131      | 1,244        | 77,464 | 54,493                           |

**Tabla 71: Costos e Incrementos de Inversión Inicial por Paquete para Vivienda Base 3 y Casos Mejorados sobre esta (UF)**

| Caso                         | Costos paquetes según vivienda tipo |       |              |              |        |                |             |              |         | Diferencia precio según vivienda |
|------------------------------|-------------------------------------|-------|--------------|--------------|--------|----------------|-------------|--------------|---------|----------------------------------|
|                              | Vanos                               | Techo | Muros piso 1 | Muros piso 2 | Piso   | Sellado envol. | Sist. Vent. | Est. Fachada | Total   |                                  |
| <b>Vivienda 2</b>            |                                     |       |              |              |        |                |             |              |         |                                  |
| V3.M5P1.M1P2.T1.PC6.(INF-15) | 11,232                              | 4,23  | 4,23         | 3,684        | 0      | 0              | 0           | 0            | 19,146  | 0 (Caso base)                    |
| V3.M5P1.M3P2.T1.PC6.(INF-15) | 11,232                              | 4,23  | 4,23         | 2,934        | 0      | 0              | 0           | 0            | 18,396  | 0 (Caso base)                    |
| V3.M5P1.M1P2.T1.PC6.(INF-5)  | 22,195                              | 4,23  | 4,23         | 8,543        | 16,883 | 8,096          | 15,131      | 1,244        | 104,389 | 85,243                           |
| V3.M5P1.M1P2.T1.PC6.(INF-8)  | 19,071                              | 4,23  | 4,23         | 8,543        | 16,883 | 8,096          | 15,131      | 1,244        | 101,265 | 82,119                           |
| V3.M5P1.M3P2.T1.PC6.(INF-5)  | 22,195                              | 4,23  | 4,23         | 10,265       | 16,883 | 8,096          | 15,131      | 1,244        | 106,111 | 87,715                           |
| V3.M5P1.M3P2.T1.PC6.(INF-8)  | 19,071                              | 4,23  | 4,23         | 10,265       | 16,883 | 8,096          | 15,131      | 1,244        | 102,987 | 84,591                           |

Como se puede observar en las tablas anteriores, la diferencia de los costos de inversión iniciales entre las viviendas base y propuestas de mejora arroja valores que en algunos casos logran ser inferiores a las 68 UF contempladas en los PPPF (65 UF MINVU + 3 UF del propietario) y por tanto sería viable la implementación de propuestas de mejora incorporando el costo extra de inversión inicial y no como costo de mejoramiento posterior a través de un PPPF.

Mientras que en otros casos los costos de inversión inicial son mayores a los considerados en los PPPF. Sin embargo, es importante considerar que los PPPF es un programa de reparación para la vivienda por lo que la postulación y aplicación es posterior a la generación de daños, ya sea por patologías, falta de mantenimiento, deterioro, etc.

Mientras que las inversiones iniciales contempladas en las propuestas de mejora evitarían el deterioro de la vivienda y con esto la calidad de vida de sus habitantes, siendo una medida de prevención más que de reparación.

De los 36 casos estudiados, 12 de ellos en condición de vivienda base y 24 propuestas de mejora; 10 casos en condición de propuestas de mejora sobrepasan el monto asociado al PPPF, y de esas, 6 corresponden a propuestas para la vivienda 1 y 4 propuestas para la vivienda 3.

En el caso de la vivienda 1, el mayor costo total de las propuestas de mejora se da cuando se analiza esta vivienda con piso en contacto con el terreno, ya que al tratarse de una vivienda de una sola planta, la superficie de aislación térmica que se requiere para piso es mayor que en las otras dos viviendas, no repitiéndose esta situación cuando se evalúa la vivienda con piso ventilado.

En el caso de la vivienda 3, el estándar inicial de los muros del piso uno es muy bajo, por lo que las propuestas de mejora consideran incorporar una capa de gran espesor de aislación térmica para alcanzar el estándar propuesto, lo que conlleva una importante inversión inicial en muros.

Mientras que en el caso de la vivienda 2, las diferentes propuestas de mejora no sobrepasan el monto de 68 UF del PPPF, por lo que la mayor inversión inicial en todos los casos evaluados, son más rentables que considerar entregar una vivienda sin los estándares propuestos y en el futuro optar al subsidio de reparación mencionado.

### **6.2.3 *Análisis de Costo de Ciclo de Vida***

En la Tabla 72, la Tabla 73 y la Tabla 74, se observan los costos de ciclo de vida para las diferentes viviendas evaluadas, tanto en condición base y con propuestas de mejora.

Obtenidos los resultados cálculos de costo de ciclo de vida, adjuntos en el Anexo A, para los escenarios de situación base y mejorados, se procede a comparar los valores obtenidos en UF con el objetivo de obtener indicadores de variación entre los diversos escenarios y determinar el periodo de retorno de la inversión para conocer y comparar la rentabilidad de los diferentes casos.

**Tabla 72: Costo Ciclo de Vida por Paquete de Mejora para Vivienda Base 1 y Propuesta de Mejora, Diferencia con respecto a Vivienda Base y Periodo de Retorno de la Inversión**

| Caso                    | Costos de ciclo de vida (UF) | Diferencia de costos de ciclo de vida (UF) | Variación de costos de ciclo de vida (%) | Periodo de recuperación de la inversión (años) |
|-------------------------|------------------------------|--|--|--|
| <b>Vivienda 1</b>       |                              |  |  |  |
| V1.M1.T1.PC6.(INF-24,6) | 631,16                       | -  | -  | -  |
| V1.M3.T1.PC6.(INF-24,6) | 637,27                       | -  | -  | -  |
| V1.M4.T1.PC6.(INF-24,6) | 613,56                       | -  | -  | -  |
| V1.M1.T1.PV1.(INF-24,6) | 511,79                       | -  | -  | -  |
| V1.M3.T1.PV1.(INF-24,6) | 518,26                       | -  | -  | -  |
| V1.M4.T1.PV1.(INF-24,6) | 486,8                        | -  | -  | -  |
| V1.M1.T1.PC6.(INF-5)    | 271,49                       | -359,67                                    | -57                                      | 4  |
| V1.M1.T1.PC6.(INF-8)    | 324,4                        | -306,76                                    | -48,6                                    | 4  |
| V1.M3.T1.PC6.(INF-5)    | 272,54                       | 364,73                                     | -57,2                                    | 4  |
| V1.M3.T1.PC6.(INF-8)    | 325,45                       | -311,83                                    | -48,9                                    | 4  |
| V1.M4.T1.PC6.(INF-5)    | 272,01                       | -341,54                                    | -55,7                                    | 4  |
| V1.M4.T1.PC6.(INF-8)    | 324,92                       | -288,64                                    | -47                                      | 4  |
| V1.M1.T1.PV1.(INF-5)    | 253,16                       | -258,63                                    | -50,5                                    | 3  |
| V1.M1.T1.PV1.(INF-8)    | 302,26                       | -209,43                                    | -40,9                                    | 3  |
| V1.M3.T1.PV1.(INF-5)    | 254,18                       | -264,07                                    | -51                                      | 3  |
| V1.M3.T1.PV1.(INF-8)    | 303,37                       | -214,89                                    | -41,5                                    | 3  |
| V1.M4.T1.PV1.(INF-5)    | 253,65                       | -233,14                                    | -47,9                                    | 3  |
| V1.M4.T1.PV1.(INF-8)    | 302,84                       | -183,96                                    | -37,8                                    | 4  |

**Tabla 73: Costo Ciclo de Vida por Paquete de Mejora para Vivienda Base 2 y Propuesta de Mejora, Diferencia con respecto a Vivienda Base y Periodo de Retorno de la Inversión**

| Caso                    | Costos de ciclo de vida (UF) | Diferencia de costos de ciclo de vida (UF) | Variación de costos de ciclo de vida (%) | Periodo de recuperación de la inversión (años) |
|-------------------------|------------------------------|--|--|--|
| <b>Vivienda 2</b>       |                              |  |  |  |
| V2.M1.T1.PC6.(INF-24,6) | 445,95                       | -  | -  | -  |
| V2.M3.T1.PC6.(INF-24,6) | 439,87                       | -  | -  | -  |
| V2.M1.T2.PC6.(INF-24,6) | 443,1                        | -  | -  | -  |
| V2.M3.T2.PC6.(INF-24,6) | 436,98                       | -  | -  | -  |
| V2.M1.T1.PC6.(INF-5)    | 171,44                       | -274,51                                    | -61,6                                    | 4  |
| V2.M1.T1.PC6.(INF-8)    | 210,11                       | -235,84                                    | -52,9                                    | 4  |
| V2.M3.T1.PC6.(INF-5)    | 163,62                       | -276,26                                    | -62,8                                    | 4  |
| V2.M3.T1.PC6.(INF-8)    | 202,28                       | -237,59                                    | -54                                      | 4  |
| V2.M1.T2.PC6.(INF-5)    | 171,2                        | -271,9                                     | -61,4                                    | 4  |
| V2.M1.T2.PC6.(INF-8)    | 209,91                       | -233,19                                    | -52,6                                    | 5  |
| V2.M3.T2.PC6.(INF-5)    | 163,38                       | -273,61                                    | -62,6                                    | 4  |
| V2.M3.T2.PC6.(INF-8)    | 202,07                       | -234,91                                    | -53,8                                    | 4  |

**Tabla 74: Costo Ciclo de Vida por Paquete de Mejora para Vivienda Base 3 y Propuesta de Mejora, Diferencia con respecto a Vivienda Base y Periodo de Retorno de la Inversión**

| Caso                         | Costos de ciclo de vida (UF) | Diferencia de costos de ciclo de vida (UF) | Variación de costos de ciclo de vida (%) | Periodo de recuperación de la inversión (años) |
|------------------------------|------------------------------|--|--|--|
| <b>Vivienda 3</b>            |                              |  |  |  |
| V3.M5P1.M1P2.T1.PC6.(INF-15) | 337,68                       | -  | -  | -  |
| V3.M5P1.M3P2.T1.PC6.(INF-15) | 351,25                       | -  | -  | -  |
| V3.M5P1.M1P2.T1.PC6.(INF-5)  | 185,88                       | -151,8                                     | -45                                      | 7  |
| V3.M5P1.M1P2.T1.PC6.(INF-8)  | 233,54                       | -114,14                                    | -33,8                                    | 9  |
| V3.M5P1.M3P2.T1.PC6.(INF-5)  | 187,22                       | -164,03                                    | -46,7                                    | 7  |
| V3.M5P1.M3P2.T1.PC6.(INF-8)  | 224,77                       | -126,47                                    | -36                                      | 8  |

Como se observa en las tablas anteriores, según el análisis de costo de ciclo de vida la totalidad de las viviendas propuestas que consideran paquetes de mejora son económicamente viables, debido a que los ahorros económicos generados permiten recuperar la inversión inicial en un corto periodo de tiempo.

El promedio de la diferencia de costos de ciclo de vida entre las distintas viviendas en situación base y con propuestas de mejora obtenido es -216,75 UF. Mientras que el promedio de las variaciones de costo de ciclo de vida entre las viviendas en situación base y con propuestas de mejora obtenido entre los 36 escenarios evaluados es de -50,3%, con un periodo de recuperación de la inversión promedio de 5 años (4,45).

Analizando cada una de las tipologías de vivienda, se puede observar que la vivienda 1 base, las implementaciones de los paquetes de mejora generarían una diferencia promedio de los costos de ciclo de vida de -217,31 UF, una variación promedio de los costos de ciclo de vida del -48,66% y un periodo de recuperación de la inversión promedio de 4 años (3,58 años).

Para el caso de la vivienda 2 base, se generaría una diferencia promedio de los costos de ciclo de vida de -254,32 UF, una variación promedio de los costos de ciclo de vida de -57,71% y un periodo de recuperación de la inversión promedio de 4 años (4,12 años).

Mientras que para la vivienda 3 base, se generaría una diferencia promedio de los costos de ciclo de vida de -139,11 UF, una variación promedio de los costos de ciclo de vida de -40,37% y periodo de recuperación de la inversión de 8 años (7,75 años).

Se determina así que las propuestas de mejora para las tipologías de vivienda 1 y 2 cumplen con el criterio rector al generar un resultado positivo de costo de ciclo de vida (VAN positivo) y generar un periodo de recuperación de la inversión de 4 y 5 años respectivamente. En el caso de las propuestas de mejora para la vivienda 3, estas generan un periodo de recuperación de la inversión mayor, en el mediano plazo, que pese a no cumplir con el criterio rector establecido generan importantes reducciones en el consumo energético con respecto al escenario base.

#### **6.2.4 Periodo de recuperación de la inversión ponderado**

Con los datos obtenidos, se determina el PRI ponderado, evaluación que se realiza en términos de volumen y porcentaje de participación de materialidades en la construcción habitacional considerando el universo de 18.002 viviendas materializadas con subsidio del estado en la ciudad de Concepción, entre los años 2010 y 2015 según informe SERVIU Biobío.

De acuerdo la Figura 10: Distribución Porcentual de Materialidad Predominante en Muros en Edificación Habitacional. El porcentaje de participación de las viviendas de madera de un nivel en la construcción habitacional en la ciudad de Concepción corresponde al 4%, equivalente a 720 viviendas; 9% de viviendas de dos niveles de madera o metalcon, equivalente a 1620 viviendas y 29% de viviendas de dos niveles de albañilería y madera, equivalente a 5221 viviendas; de un total de 18.002 viviendas.

**Ecuación 8: PRI Ponderado**

$$PRI_{PONDERADO} = \frac{(PRI_{V1} \cdot N^{\circ}_{V1}) + (PRI_{V2} \cdot N^{\circ}_{V2}) + (PRI_{V3} \cdot N^{\circ}_{V3})}{N^{\circ}_{TOTALVIVIENDA}}$$

Donde:

$PRI_{PONDERADO}$  = Periodo de recuperación de la inversión ponderado

$PRI_{V1}$  = Periodo de recuperación de la inversión vivienda 1

$PRI_{V2}$  = Periodo de recuperación de la inversión vivienda 2

$PRI_{V3}$  = Periodo de recuperación de la inversión vivienda 3

$N^{\circ}_{V1}$  = Número de la muestra correspondientes a viviendas tipología 1

$N^{\circ}_{V2}$  = Número de la muestra correspondientes a viviendas tipología 2

$N^{\circ}_{v3}$ = Número de la muestra correspondientes a viviendas tipología 3

$N^{\circ}_{total\ viviendas}$ = Número total de viviendas de la muestra

El PRI ponderado de las tipologías evaluadas cumple con el criterio rector establecido al permitir la recuperación de la inversión en menos de 5 años. Por ende, la evaluación de la muestra del parque habitacional permite validar los estándares propuestos para la ciudad de Concepción, ya que implican aumentos de inversión en aislación térmica que limitan a valores de uso mínimo óptimo el consumo energético considerando la evaluación de rentabilidad social y análisis de costo de ciclo de vida y permiten, a través de la diferencia entre el consumo energético de la vivienda base y el consumo de las viviendas con mejoras, generar periodos de recuperación de la inversión en el corto plazo, en 3 años (2,84 años) según PRI ponderado evaluado utilizando la Ecuación 8.

## **CAPITULO 7: ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS**

El análisis realizado consistió en cuantificar y comparar la rentabilidad económica y social entre las viviendas base y los diferentes escenarios generados por las propuestas de mejora.

El cálculo de los ahorros económicos se determinó mediante las simulaciones dinámicas realizadas para calcular el consumo energético de los diferentes escenarios. Los ahorros se obtuvieron a través de la diferencia entre el consumo energético de la vivienda base y el consumo de las viviendas con paquetes de mejora implementados. La rentabilidad de los distintos paquetes de mejora resulta de comparar, a valor presente, los costos sociales acumulados a durante el ciclo de operación de la vivienda, en los escenarios base y con propuestas de mejora.

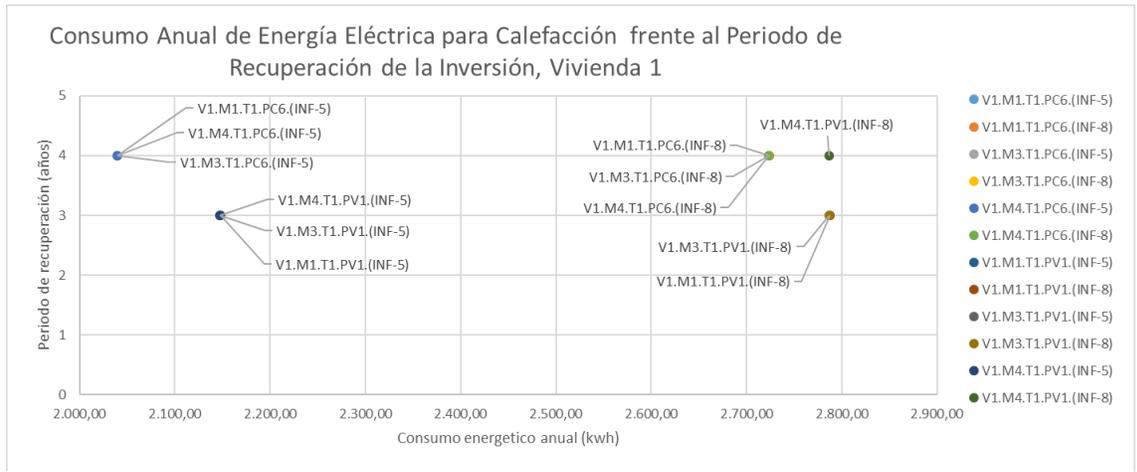
Los resultados de las simulaciones realizadas muestran que el aumento de los estándares de transmitancia térmica de la envolvente de las viviendas evaluadas, generan importantes disminuciones en el consumo energético. Considerando el análisis de costo de ciclo de vida y los periodos en los cuales los diferentes escenarios muestran la recuperación de la inversión por medio de los ahorros generados, las propuestas de mejora de estándares son económicamente viables de implementar.

Sin embargo, dichas propuestas se deben comparar y priorizar en base a un análisis de costo-eficiencia. La priorización de la inversión en una propuesta de mejora de estándar u otra, tiene por objetivo alcanzar niveles rentables u óptimos en términos de costos que justifiquen la aplicación de ciertas soluciones en viviendas de la ciudad de Concepción con el objetivo de limitar a valores de uso mínimo óptimo el consumo energético de calefacción.

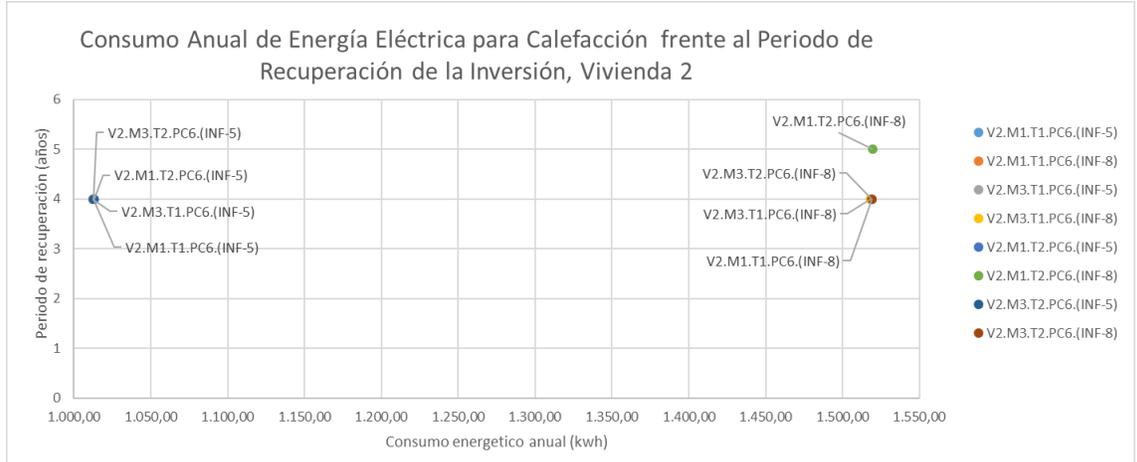
En 7.1, 7.2, 7.3 y 7.4, se presenta un análisis de costo-eficiencia que permitirá priorizar entre las diferentes propuestas de mejora de estándar por vivienda en función del consumo energético, ahorro económico que generan, periodo de recuperación de la inversión y el incremento de costos de inversión inicial.

### 7.1 Consumo anual de energía eléctrica para calefacción frente al periodo de recuperación de la inversión

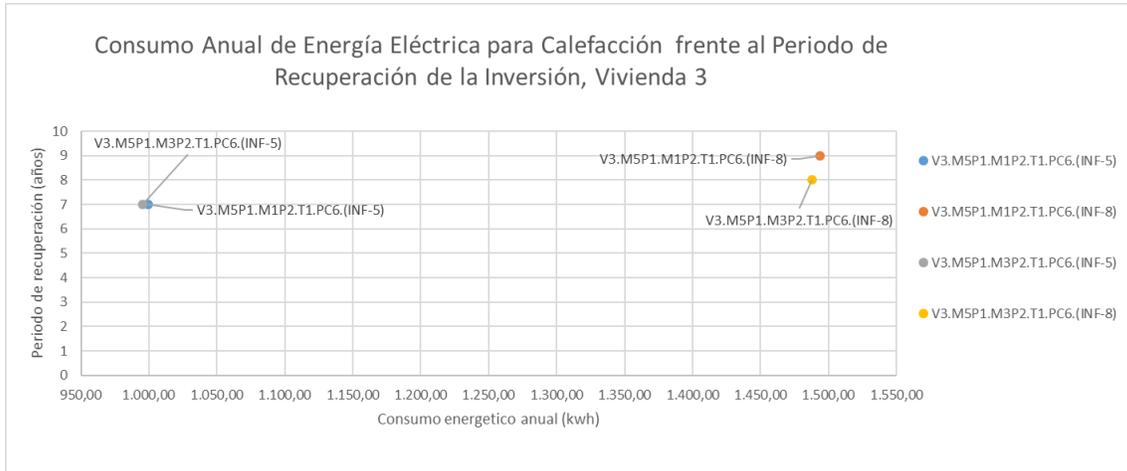
La Figura 36, la Figura 37 y la Figura 38, muestran la relación entre el consumo anual de energía eléctrica para calefacción y el periodo de recuperación de la inversión que generarían los distintos escenarios de propuestas de mejora. En este caso el análisis costo-eficiencia considera priorizar por aquellas propuestas que generan un bajo consumo energético y un menor periodo de recuperación de la inversión.



**Figura 36: Consumo de Energía Eléctrica para Calefacción frente al Periodo de Recuperación de la Inversión, Vivienda 1**



**Figura 37: Consumo de Energía Eléctrica para Calefacción frente al Periodo de Recuperación de la Inversión, Vivienda 2**



**Figura 38: Consumo de Energía Eléctrica para Calefacción frente al Periodo de Recuperación de la Inversión, Vivienda 3**

En la vivienda 1 (Figura 36) se observa que no se generan grandes diferencias de consumos energéticos anuales entre los diferentes escenarios, variando estos entre los 2039,31 kWh (V1.M3.T1.PC6 INF-5) y 2787,80 kWh (V1.M1.T1.PV1 INF-5), ni tampoco grandes diferencias en los periodos de recuperación de la inversión los cuales se encuentran entre los 3 y 4 años aproximadamente.

Se observa que las propuestas de mejora que consideran valores de infiltración 5 ach generan un menor consumo energético que aquellas que consideran un estándar de 8 ach, demostrando la importancia que posee la variable de hermeticidad como propuesta complementaria al mejoramiento de estándar de transmitancia térmica de la envolvente. En el caso de las viviendas con piso en contacto con el terreno, se debiera priorizar las propuestas de mejora V1.M3.T1.PC6 (INF-5) o V1.M4.T1.PC6 (INF-5) ambas con consumos energéticos anuales de 2039,31 kWh y 4 años de recuperación de la inversión.

En el caso de viviendas con piso ventilado, se debiera priorizar las propuestas de mejora V1.M3.T1.PV1 (INF-5) o V1.M4.T1.PV1 (INF-5) ambas con consumos energéticos anuales de 2147,59 kWh y 3 años de recuperación de la inversión.

En la vivienda 2 (Figura 37) solo la propuesta V2.M1.T2.PC6 (INF-8) genera un periodo de recuperación de la inversión de 5 años, a la cual además corresponde el mayor consumo energético anual: 1519,74 kWh. Al igual que en el caso anterior, las propuestas de mejora que

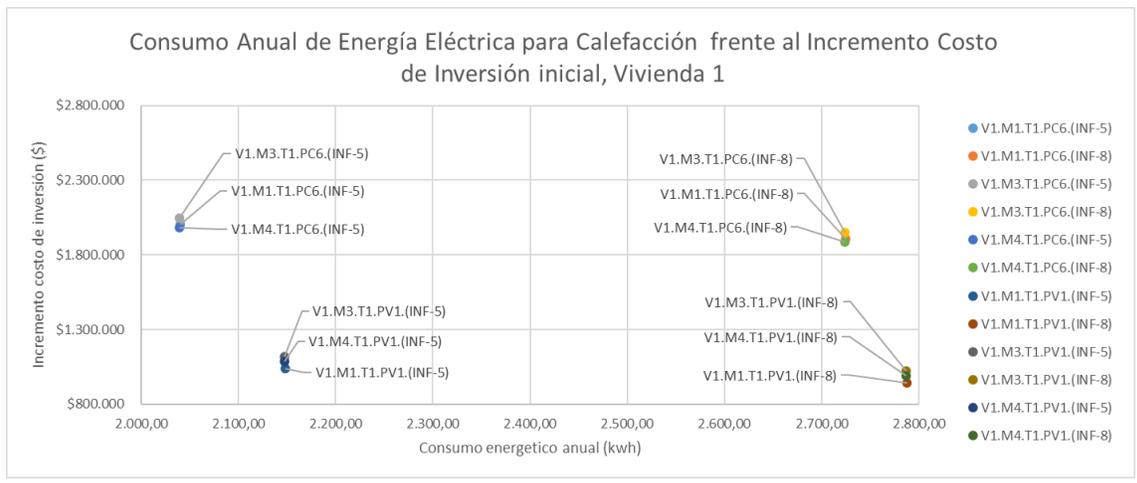
consideran una menor infiltración generan un menor consumo energético e incluso, un menor periodo de recuperación de la inversión.

En este caso se debiera priorizar por la propuesta de mejora V2.M3.T1.PC6 (INF-5) que genera un consumo energético de 1012,22 kWh, levemente menor al resto de las propuestas y que genera un periodo de recuperación de la inversión de 4 años.

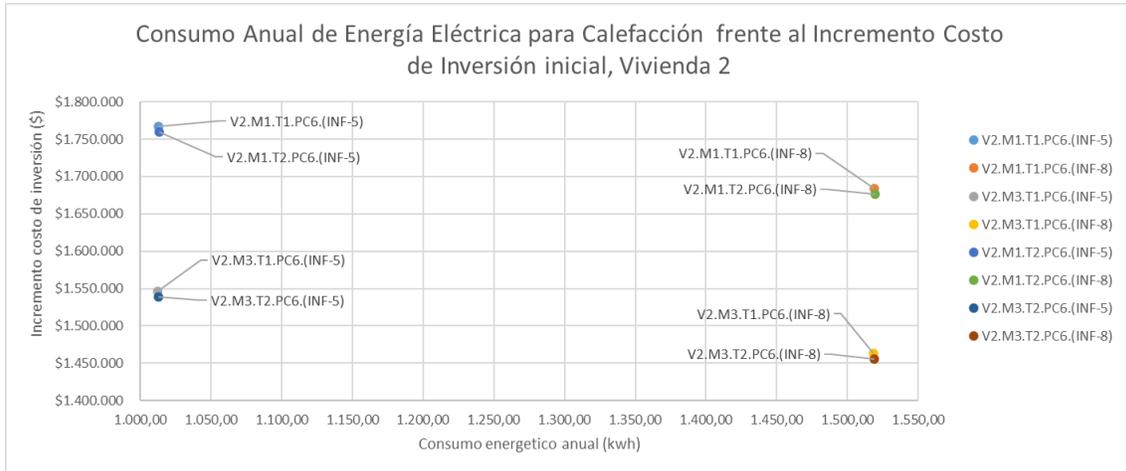
En la vivienda 3 (Figura 38) se debiera priorizar la propuesta V3.M5P1.M3P2.T1.PC6 (INF-5) la cual genera un consumo anual de 995,14 kWh, consumo más bajo registrado, y que permite recuperar la inversión en 7 años, a diferencia de las otras propuestas que generan un PRI de 8 y 9 años.

**7.2 Consumo anual de energía eléctrica para calefacción frente al incremento de inversión inicial**

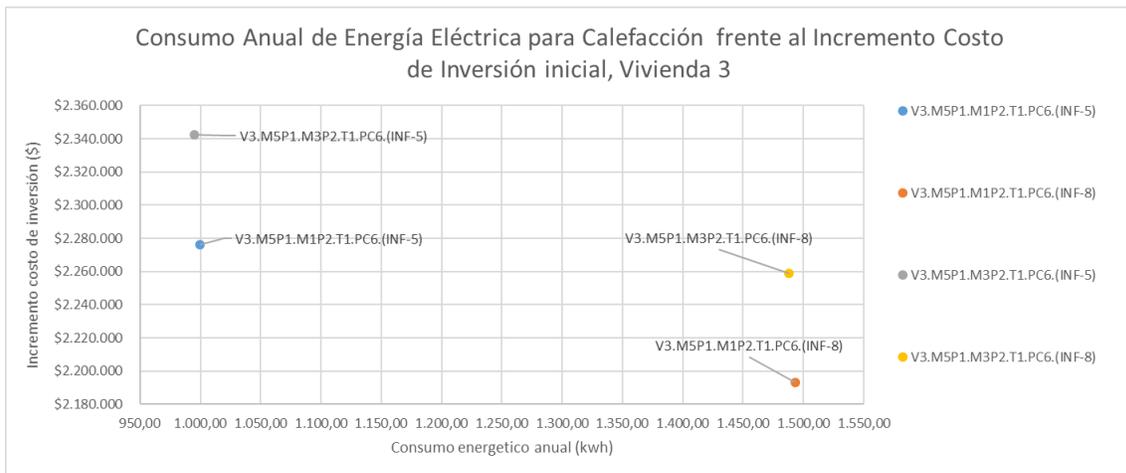
La Figura 39, la Figura 40 y la Figura 41 muestran la relación entre el consumo anual de energía eléctrica para calefacción y el incremento de costo de inversión inicial que generarían los distintos escenarios de propuestas de mejora. En este caso el análisis costo-eficiencia considera priorizar por aquellas medidas que impliquen un menor incremento en el costo de inversión inicial y que generen un menor consumo energético anual.



**Figura 39: Consumo Anual de Energía Eléctrica para Calefacción frente al Incremento de Costo de Inversión Inicial, Vivienda 1**



**Figura 40: Consumo Anual de Energía Eléctrica para Calefacción frente al Incremento de Costo de Inversión Inicial, Vivienda 2**



**Figura 41: Consumo Anual de Energía Eléctrica para Calefacción frente al Incremento de Costo de Inversión Inicial, Vivienda 3**

En la vivienda 1 (Figura 39) se observa que las propuestas de mejora para viviendas con piso en contacto con el terreno generan un mayor incremento del costo de inversión inicial que las viviendas con piso ventilado, esto debido a que la primera tipología requiere un mayor espesor de aislación térmica para cumplir con el valor de transmitancia requerido.

Además, aquellas propuestas que generan un menor consumo energético anual: V1.M4.T1.PC6 (INF-5); V1.M1.T1.PC6 (INF-5) y V1.M3.T1.PC6 (INF-5) con aproximadamente 2039 kWh son las que implican un mayor costo de inversión inicial entre \$1.981.605 y \$2.047.316. En tanto, la propuesta que genera el mayor consumo energético anual: V1.M1.T1.PC6 (INF-8) con 2724,20

kWh, también se encuentra dentro de las propuestas de viviendas 1 que genera mayor costo de inversión inicial con \$1.905.464.

En el caso de las viviendas con piso en contacto con el terreno, se debiera priorizar por la propuesta de mejora V1.M4.T1.PC6 (INF-5) con consumo energético anual de 2039,31 kWh y un incremento de costo de inversión de \$1.981.650. Si bien esta propuesta genera un consumo energético anual similar a otras propuestas, el menor incremento en el costo de inversión permite priorizar esta medida.

En el caso de las viviendas con piso ventilado, pese a que las propuestas con infiltración 5ach generan un mayor incremento en el costo de inversión que las propuestas con 8 ach, el menor consumo energético anual que generarán en la etapa de operación de las viviendas permite optar por las propuestas de mayor hermeticidad.

En este caso se debiera priorizar la propuesta V1.M1.T1.PV1 (INF 5) que genera un consumo energético anual de 2148,51 kWh y un incremento de costo de inversión de \$1.037.290, con un consumo levemente superior a las otras propuestas, pero con un incremento de costo de inversión notoriamente inferior.

En la vivienda 2 (Figura 40) las propuestas V2.M1.T2.PC6 (INF-8) y V2.M3.T2.PC6 (INF-8) son las que generan mayor consumo energético anual, cercano a los 1519 kWh e implican un incremento de costo de inversión de entre \$1.676.210 y \$ 1.455.181 respectivamente.

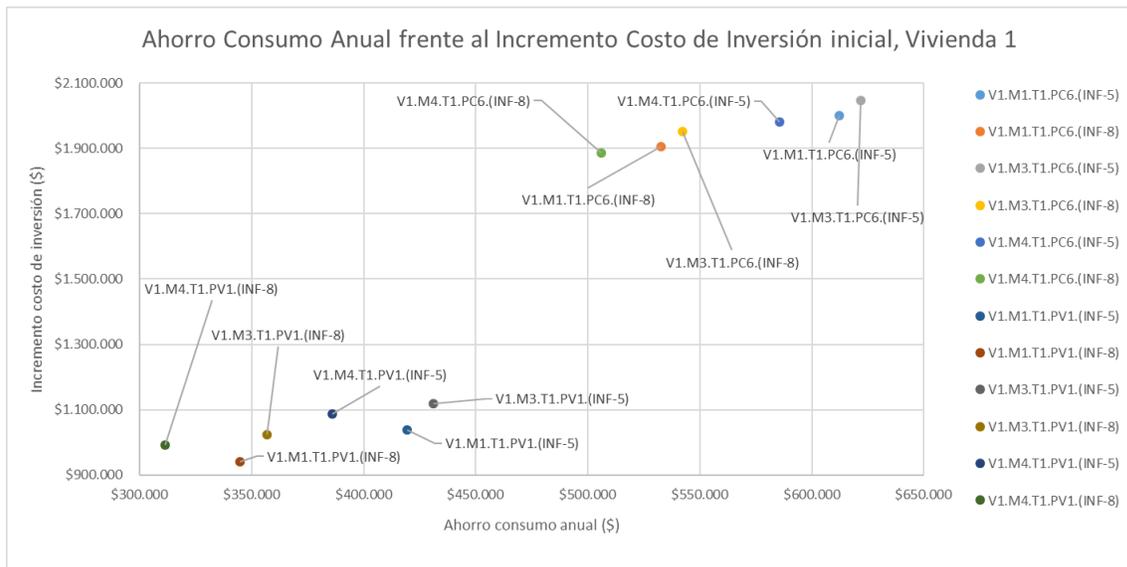
En este caso se debiera priorizar por la propuesta de mejor V2.M3.T2.PC6 (INF-5) la cual genera el menor consumo energético anual registrado: 1012,57 kWh e implica un incremento de costo de inversión de \$1.538.604. Si bien la propuesta V2.M3.T1.PC6 (INF-5) genera un consumo energético levemente inferior, la diferencia de incremento de costo de inversión es más favorable para la propuesta elegida y permite priorizar esta medida.

En la vivienda 3 (Figura 41) la elección de una propuesta es más compleja, debido a que aquellas que generan un menor consumo energético anual son las que implican un mayor incremento en el costo de inversión. En este caso se debiera priorizar por la propuesta V3.M5P1.M1P2.T1.PC6 (INF-8) la cual genera un consumo anual de 1493,52 kWh e implica un incremento de costo de inversión de \$2.192.906. Si bien existen propuestas que ofrecen un menor consumo energético, la

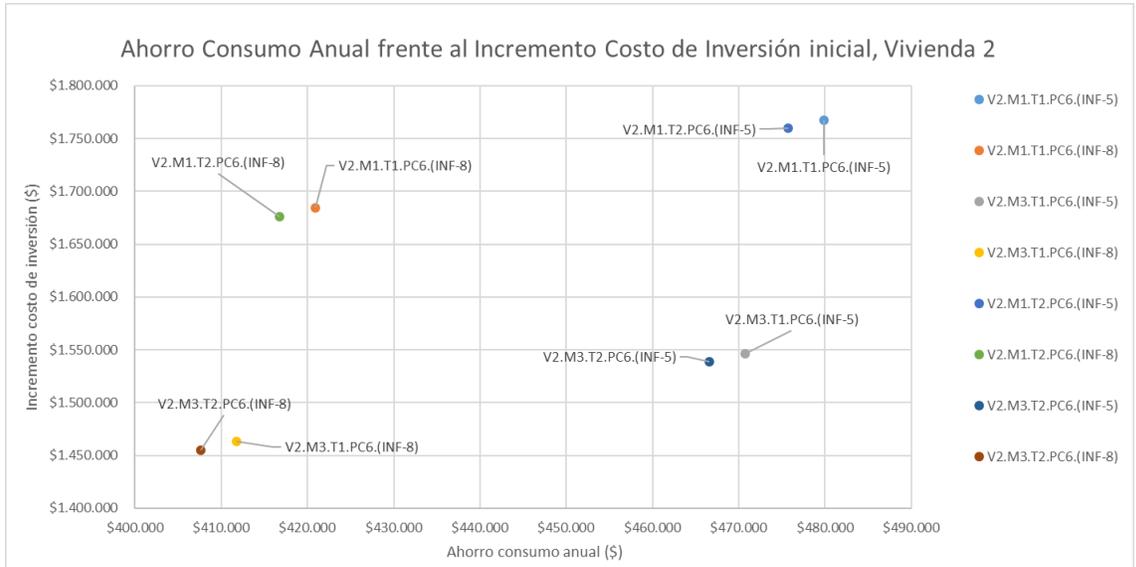
diferencia de incremento de costo de inversión es más favorable para la propuesta elegida y permite priorizar esta medida, generando una relación costo-eficiencia más favorable.

### 7.3 Ahorro consumo anual frente al incremento costo de inversión inicial

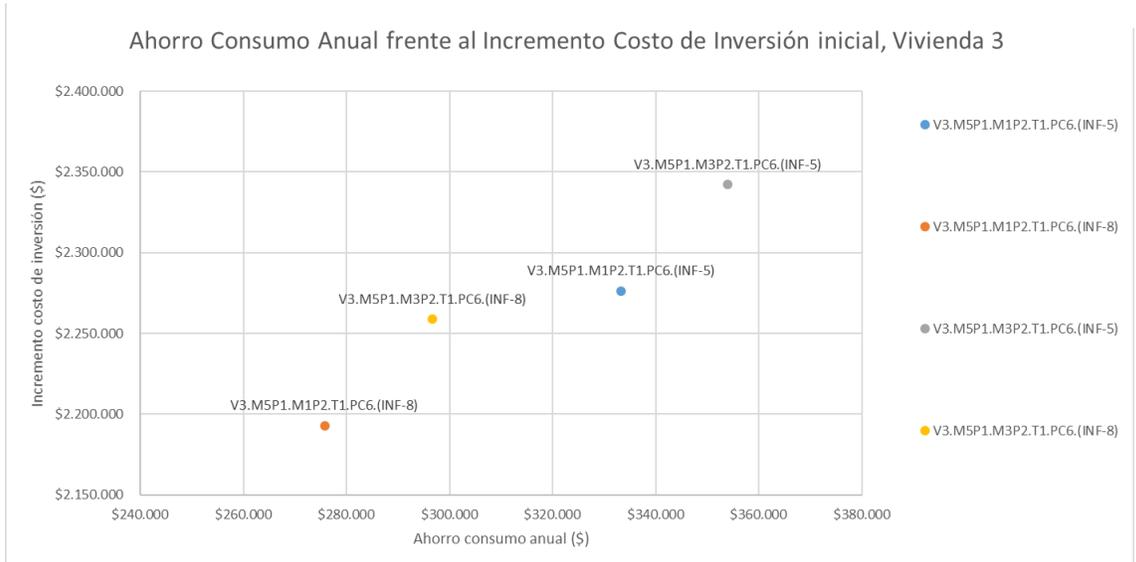
La Figura 42, la Figura 43 y la Figura 44 muestran la relación entre el ahorro en el consumo energético anual y el incremento de costo de inversión inicial que generarían los distintos escenarios de propuestas de mejora. En este caso el análisis costo-eficiencia considera priorizar por aquellas medidas que impliquen un menor incremento en el costo de inversión inicial y que generen un mayor ahorro en el consumo energético anual.



**Figura 42: Ahorro Consumo Anual frente al Incremento Costo de Inversión Inicial, Vivienda 1**



**Figura 43: Ahorro Consumo Anual frente al Incremento Costo de Inversión Inicial, Vivienda 2**



**Figura 44: Ahorro Consumo Anual frente al Incremento Costo de Inversión Inicial, Vivienda 3**

La vivienda 1 (Figura 42) se observa que aquellas propuestas que generan un mayor ahorro en el consumo energético anual son las que implican un mayor incremento en el costo de inversión inicial; como lo es el caso de la propuesta V1.M3.T1.PC6 (INF-5) genera un ahorro en el consumo anual de \$621.772 y un incremento de costo de inversión de \$2.047.316.

A su vez las propuestas que generan un menor ahorro en el consumo energético anual son las que generan un menor incremento en el costo de inversión; como lo es el caso de la propuesta

V1.M1.T1.PV1 (INF-8) que genera un ahorro en el consumo energético de \$344.773 y un incremento del costo de inversión de \$941.423.

En el caso de las viviendas con piso en contacto con el terreno, se debiera priorizar por la propuesta V1.M1.T1.PC6 (INF-5) que genera un ahorro de consumo anual de \$612.222 y un incremento de costo de inversión de \$2.001.331. Si bien existen propuestas con un mayor ahorro en el consumo anual o con menor incremento de costo de inversión, la relación costo-eficiencia entre ambos indicadores es más favorable en esta propuesta que en el resto.

En el caso de las viviendas con piso ventilado, se debiera priorizar por la propuesta V1.M1.T1.PV1 (INF-5) que genera un ahorro con el consumo anual de \$ 419.212 y un incremento de costo de inversión de \$1.037.290. Al igual que en las viviendas con piso en contacto con el terreno, existen propuestas con un mayor ahorro en el consumo energético o con menor incremento de costo de inversión, sin embargo, la relación costo-eficiencia entre ambos indicadores es más favorable para la propuesta elegida.

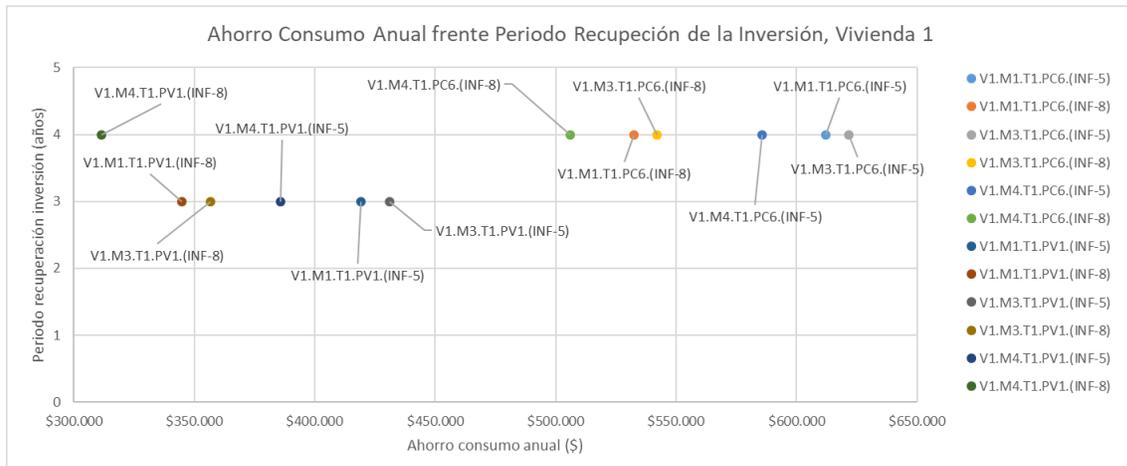
En la vivienda 2 (Figura 43), al igual que en la vivienda 1, se observa que aquellas propuestas que generan un mayor ahorro en el consumo energético anual son las que implican un mayor incremento en el costo de inversión inicial.

Las propuestas con infiltración 5 ach generan mayor ahorro en el consumo energético anual, sin embargo, la implementación de estas propuestas genera un mayor incremento de costo de inversión inicial como en los casos V2.M1.T2.PC6 (INF5) y V2.M1.T1.PC6 (INF-5). En este caso se debiera priorizar la propuesta V2.M3.T1.PC6 (INF-5) la cual genera un ahorro en el consumo anual de \$470.724 y un incremento de costo de inversión de \$1.546.429. Como en el caso anterior, existen propuestas que generan un mayor ahorro en el consumo anual o un menor incremento en el costo de inversión, sin embargo, la relación costo-eficiencia entre los indicadores es más favorable para la propuesta elegida y permite priorizar esta medida por sobre las otras.

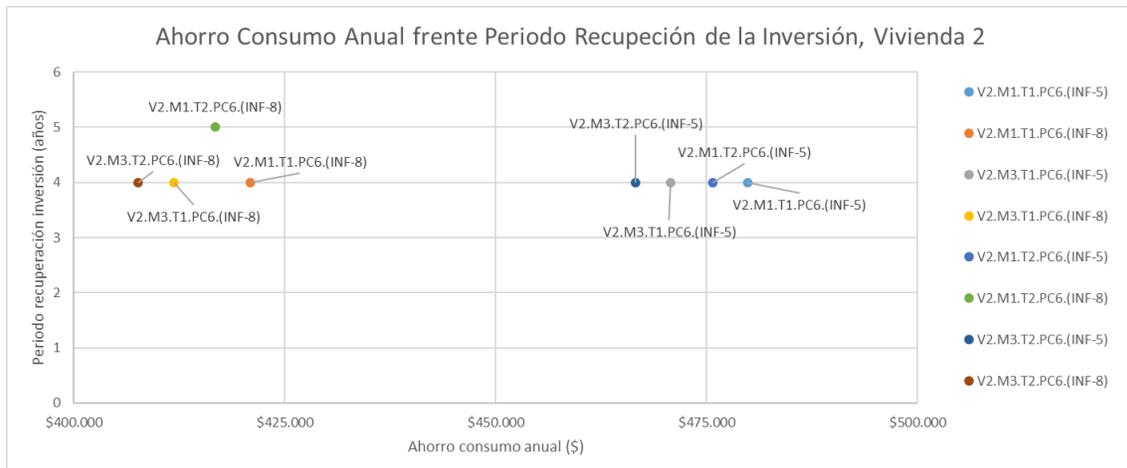
En la vivida 3 (Figura 44) se observa que mientras mayor sea el ahorro en el consumo anual, mayor será el incremento de costo de inversión que implique la propuesta de mejora. En este caso se debiera priorizar por la propuesta V3.M5P1.M3P2.T1.PC6 (INF-5) la cual genera un ahorro en el consumo anual de \$354.021 y un incremento de costo de inversión de \$2.342.341, siendo la que genera la relación costo-eficiencia más favorable.

**7.4 Ahorro consumo anual frente al periodo de recuperación de la inversión**

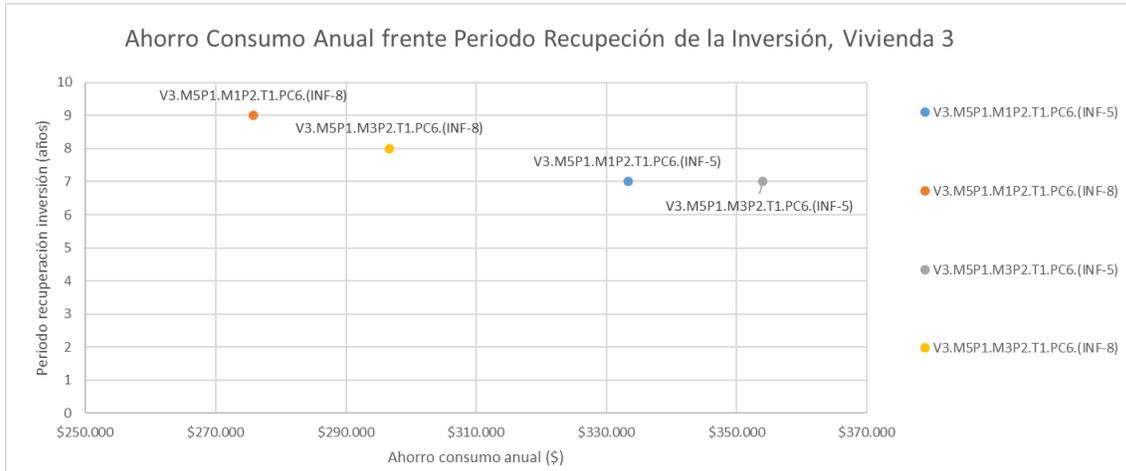
La Figura 45, la Figura 46 y la Figura 47 muestran la relación entre el ahorro en el consumo energético anual y el periodo de recuperación de la inversión que generarían los distintos escenarios de propuestas de mejora. En este caso el análisis costo-eficiencia considera priorizar por aquellas medidas que generen un mayor ahorro en el consumo anual e impliquen un menor periodo de recuperación de la inversión.



**Figura 45: Ahorro Consumo Anual frente al Periodo de Recuperación de la Inversión, Vivienda 1**



**Figura 46: Ahorro Consumo Anual frente al Periodo de Recuperación de la Inversión, Vivienda 2**



**Figura 47: Ahorro Consumo Anual frente al Periodo de Recuperación de la Inversión, Vivienda 3**

La vivienda 1 (Figura 45) se observa que las propuestas de mejora para viviendas con piso ventilado tienen un periodo de recuperación de la inversión de 3 años, a excepción de la propuesta V1.M4.T1.PV1 (INF-8) que tiene un periodo de recuperación de la inversión de 4 años, al igual que todas las propuestas de mejora para las viviendas con pisos en contacto con el terreno. Se observa además que aquellas propuestas que generan un mayor ahorro en el consumo energético, es decir, las propuestas para viviendas con pisos en contacto con el terreno, son las que implican un mayor periodo de recuperación de la inversión, lo cual se debe a que el incremento de costo de inversión que requieren estas propuestas es mayor, por lo que pese al mayor ahorro en el consumo anual, el tiempo necesario para recuperar el incremento en la inversión inicial es mayor.

En el caso de las viviendas con piso en contacto con el terreno se debiera priorizar la propuesta V1.M3.T1.PC6 (INF-5) debido a que esta es la que genera el mayor ahorro en el consumo anual de \$621.772, en un conjunto de propuestas donde todas generan igual periodo de recuperación de la inversión de 4 años.

En el caso de las viviendas con piso ventilado, se debiera priorizar la propuesta V1.M3.T1.PV1 (INF-5) debido a que esta propuesta es la que genera el mayor ahorro en el consumo anual, \$431.138 e implica un periodo de recuperación de la inversión de 3 años, al igual que el resto de las propuestas con pisos ventilados.

En la vivienda 2 (Figura 46) se observa que las propuestas que consideran una infiltración de 8 ach generan un menor ahorro en el consumo anual que las propuestas que consideran un estándar de infiltración de 5 ach. Sin embargo, ambos tipos de propuestas consideran un periodo de recuperación de la inversión de 4 años, excepto la propuesta V2.M1.T2.PC6 (INF-8) que considera un PRI de 5 años, debido al mayor incremento de costo de inversión que implica esta propuesta.

En este caso se debiera priorizar la propuesta V2.M1.T1.PC6 (INF-5) la cual es la que genera el mayor ahorro en el consumo anual de \$479.828 y se encuentra dentro del conjunto de propuestas con periodo de recuperación de la inversión 4 años.

En la vivienda 3 (Figura 47) se observa que mientras mayor sea el ahorro en el consumo anual, menor será el periodo de recuperación de la inversión, debido a que el mayor ahorro permitirá recuperar más rápidamente el capital invertido en la implementación de las propuestas de estándar.

En este caso se debiera priorizar la propuesta V3.M5P1.M3P2.T1.PC6 (INF-5) la cual genera el mayor ahorro en el consumo anual de \$354.021 y permite recuperar la inversión realizada en 7 años, a diferencia de las otras propuestas que generan un PRI de 8 y 9 años.

Luego de comparar los resultados de las diferentes propuestas y analizarlas en función del consumo energético, ahorro económico que generan, periodo de recuperación de la inversión y el incremento de costos de inversión inicial, se logró definir en cada uno de los escenarios de comparación, la propuesta que entregaba mejor relación costo-eficiencia. En la Tabla 75 se presenta un resumen de los resultados de las evaluaciones costo-eficiencia realizadas.

**Tabla 75: Resultado de Evaluación Costos Eficiencia**

| <b>1. Consumo anual de energía eléctrica para calefacción frente al periodo de recuperación de la inversión</b> |                             |                      |
|---|-----------------------------|----------------------|
| Vivienda 1  | V1.M3.T1.PC6 (INF-5)        | V1.M4.T1.PC6 (INF-5) |
|   | V1.M3.T1.PV1 (INF-5)        | V1.M4.T1.PV1 (INF-5) |
| Vivienda 2  | V2.M3.T1.PC6 (INF-5)        |                      |
| Vivienda 3  | V3.M5P1.M3P2.T1.PC6 (INF-5) |                      |
| <b>2. Consumo anual de energía eléctrica para calefacción frente al incremento de inversión inicial</b>         |                             |                      |
| Vivienda 1  | V1.M4.T1.PC6 (INF-5)        |                      |
|   | V1.M1.T1.PV1 (INF 5)        |                      |
| Vivienda 2  | V2.M3.T2.PC6 (INF-5)        |                      |
| Vivienda 3  | V3.M5P1.M1P2.T1.PC6 (INF-8) |                      |
| <b>3. Ahorro consumo anual frente al incremento costo de inversión</b>  |                             |                      |
| Vivienda 1  | V1.M1.T1.PC6 (INF-5)        |                      |
|   | V1.M1.T1.PV1 (INF 5)        |                      |
| Vivienda 2  | V2.M3.T1.PC6 (INF-5)        |                      |
| Vivienda 3  | V3.M5P1.M3P2.T1.PC6 (INF-5) |                      |
| <b>4. Ahorro consumo anual frente al periodo de recuperación de la inversión</b>                                |                             |                      |
| Vivienda 1  | V1.M3.T1.PC6 (INF-5)        |                      |
|   | V1.M3.T1.PV1 (INF-5)        |                      |
| Vivienda 2  | V2.M1.T1.PC6 (INF-5)        |                      |
| Vivienda 3  | V3.M5P1.M3P2.T1.PC6 (INF-5) |                      |

En las tipologías de vivienda 1 con piso en contacto con el terreno, la propuesta que presenta la mejor relación costo-eficiencia en los diferentes escenarios de comparación es la V1.M3.T1.PC6 (INF-5).

Tanto la propuesta V1.M3.T1.PC6 (INF-5) y V1.M4.T1.PC6 (INF-5) generan la mejor relación costo-eficiencia en dos categorías de comparación. La primera consigue la mejor relación costo-eficiencia en: *1. Consumo anual de energía eléctrica para calefacción frente al periodo de recuperación de la inversión* y *4. Ahorro consumo anual frente al periodo de recuperación de la inversión*, mientras que la segunda propuesta en: *1. Consumo anual de energía eléctrica para calefacción frente al periodo de recuperación de la inversión* y *2. Consumo anual de energía eléctrica para calefacción frente al incremento de inversión inicial*.

Sin embargo, la propuesta V1.M3.T1.PC6 (INF-5) consigue la mejor relación costo-eficiencia en el escenario de comparación 3. *Ahorro consumo anual frente al incremento costo de inversión*, generando un ahorro de consumo anual de \$621.772 y un incremento de costo de inversión de \$2.047.316.

En el caso de las viviendas 1 con pisos ventilados, la propuesta V1.M1.T1.PV1 (INF-5) y V1.M3.T1.PV1 (INF-5) generan la mejor relación costo-eficiencia en dos categorías de comparación. La primera consigue mejor relación costo-eficiencia en: 2. *Consumo anual de energía eléctrica para calefacción frente al incremento de inversión inicial* y 3. *Ahorro consumo anual frente al incremento costo de inversión*, mientras que la segunda propuesta en 1. *Consumo anual de energía eléctrica para calefacción frente al periodo de recuperación de la inversión* y 4. *Ahorro consumo anual frente al periodo de recuperación de la inversión*. Ambas propuestas tienen igual consumo energético anual y periodo de recuperación de la inversión.

Sin embargo, estas propuestas se diferencian tanto en el ahorro de consumo anual y en el incremento de costo de inversión; pese a que la propuesta V1.M1.T1.PV1 (INF-5) genera un menor ahorro de consumo anual, el menor incremento de costo de inversión que posee esta propuesta en comparación a V1.M3.T1.PV1 (INF-5) hace que la relación costo-eficiencia de esta propuesta sea más conveniente y permita priorizar esta medida por sobre las otras.

La propuesta de mejora estándar elegida para la tipología de vivienda 2 es la V2.M3.T1.PC6 (INF-5) la cual genera la mejor relación costo-eficiencia en 2 de los escenarios de comparación: 1. *Consumo anual de energía eléctrica para calefacción frente al periodo de recuperación de la inversión* y 3. *Ahorro consumo anual frente al incremento costo de inversión*.

En la tipología de vivienda 3, la propuesta de estándar elegida es la V3.M5P1.M3P2.T1.PC6 (INF-5) la cual genera la mejor relación costo-eficiencia en 3 categorías de los escenarios de comparación: 1. *Consumo anual de energía eléctrica para calefacción frente al periodo de recuperación de la inversión*, 3. *Ahorro consumo anual frente al incremento costo de inversión* y 4. *Ahorro consumo anual frente al periodo de recuperación de la inversión*.

**CAPITULO 8: CONCLUSIONES**

Los resultados de los análisis realizados (simulaciones energéticas, análisis costo ciclo de vida y evaluación de rentabilidad económica y social) permiten validar la hipótesis planteada, ya que, a través de las evaluaciones mencionadas, fue posible definir y validar propuestas de mejora de estándar de transmitancia térmica que permiten limitar a valores a valores de uso mínimo óptimo el consumo energético manejando criterios de Rentabilidad Social y Análisis de Costo de Ciclo de Vida. Análisis los cuales permiten justificar los incrementos de inversión en mejoras en el estándar con respecto a la actual normativa de la OGUC y a las diferentes propuestas de mejora de esta (Normas Técnicas Minvu, Estándares de Construcción Sustentable para Viviendas y Planes de Descontaminación Atmosférica), consiguiendo estándares con una mejor relación costo-eficiencia desde una perspectiva social. Además, a través de estos resultados fue posible cumplir con el objetivo general, objetivos específicos y preguntas de investigación planteadas.

En el desarrollo del marco teórico de esta investigación, fue posible conocer el marco regulatorio que rige el comportamiento energético de la construcción habitacional en nuestro país. En el caso específico de los estándares de transmitancia térmica de la envolvente de las construcciones habitacionales que rige actualmente, este cumple mínimamente con el objetivo de reducir la demanda energética de las construcciones habitacionales, permitiendo la construcción de miles de viviendas, que pese a cumplir con los requerimientos y prestaciones obligatorias que exige la ordenanza, generan grandes demandas y consumos energéticos durante su etapa de operación.

Debido al bajo estándar de la normativa de cumplimiento obligatorio y al desajuste de la zonificación térmica con las necesidades de aislación térmica, la construcción habitacional en Chile demanda el doble de energía que debiera para satisfacer las necesidades de confort ambiental interior. Por ejemplo, en el caso de la ciudad de Concepción, el estándar fija una transmitancia térmica límite de  $U=1,7 \text{ W/m}^2 \text{ K}$ , situación genera que usuarios de las viviendas tengan que realizar grandes gastos en consumo energético para acondicionar sus viviendas y conseguir un relativo confort ambiental, además de los gastos de reparación y mantenimiento que se generan producto de la generación de patologías derivadas de la condensación, situación muy frecuente en el contexto climático de Concepción.

Si bien en Chile se han generado diversas iniciativas orientadas a disminuir la demanda energética del sector habitacional, como por ejemplo las Normas Técnicas Minvu (NTM), Estándares de

Construcción Sustentable (ECSV) y Planes de Prevención y Descontaminación Atmosférica (PPDA); los diferentes estándares que estos proponen, entre ellos los relacionados con la transmitancia térmica de la envolvente, no han logrado ser llevados a un marco regulador obligatorio, por lo que hasta el momento se entienden como referencias de buenos estándares y los cuales se espera en un futuro no muy lejano llegar a ser de cumplimiento obligatorio para las diferentes tipologías de edificación de Chile. La oficialización de los estándares de este tipo de iniciativas deberá superar las brechas que impiden su oficialización y con esto, lograr disminuir la demanda energética de la construcción habitacional y mejorar las condiciones de habitabilidad de sus usuarios.

La industria de la construcción habitacional atiende a la constante demanda de viviendas y edificios residenciales y a la vez, responder a aspectos de innovación y mejora de sus estándares en favor de mejorar la calidad de estas y satisfacer a sus habitantes. En Chile, la construcción habitacional se lleva a cabo a través de distintas tipologías de construcción: vivienda aislada, pareada, continua y edificios residenciales, cuyo porcentaje de participación varía de acuerdo a las diferentes ciudades del país.

En la definición de tipologías representativas de la construcción habitacional en la ciudad de Concepción, se identificaron tipologías y materialidades predominantes en la cual destaca que aproximadamente el 70% de las viviendas corresponden a viviendas aisladas y pareadas en uno o dos niveles; con primer nivel de albañilería y segundo nivel de madera, vivienda y edificios de hormigón, viviendas de uno o dos niveles de madera y otras combinaciones con bloques y paneles. El comportamiento energético de estas varía de acuerdo con sus estaciones y condiciones climáticas propias de su contexto. En invierno se producen importantes demandas de calefacción, mientras que, en verano, en menor magnitud, se generan demandas de refrigeración.

En la etapa de metodología se logra definir las tipologías representativas de la construcción habitacional en la ciudad de Concepción. Definición que se sustenta en la identificación de tipologías y levantamiento de información sobre viviendas de la región del Biobío desarrollado en el capítulo 4. De acuerdo a esto se logra determinar 3 tipologías de vivienda que sirven de modelos base para el estudio. Con esta definición se logra observar que, pese a que estas viviendas representativas poseen estándares de transmitancia térmica mejores que los que existe la OGUC, generan un considerable consumo energético anual, situación que se agudizaría en viviendas que cumplen sólo con el estándar establecido por la normativa vigente. Es así que surge

la necesidad de complementar las propuestas de mejora de estándar de transmitancia térmica de la envolvente con mejoras en el estándar de hermeticidad al aire que permitan cumplir con el objetivo planteado con el estándar.

La utilización del modelo de jerarquías especificado en el NKB Report N°34-1978, a través de la definición de objetivos, requisitos, exigencias, indicadores, criterios de desempeño y métodos de verificación, permitió definir la propuesta de estándar y soluciones constructivas para cumplirlo. Estas propuestas se plantearon como un conjunto de medidas orientadas a generar un cambio en la vivienda base y limitar a valores de uso mínimo óptimo el consumo energético de viviendas en la ciudad de Concepción. Este estándar, comparado con otras propuestas de mejora de estándar (Normas Técnicas Minvu, Estándares Construcción Sustentable para Viviendas y Planes de Prevención y Descontaminación Atmosférica) puede llegar a ser igual o más exigente, por lo que su validación está supeditada a la validación técnica y económica realizada en esta investigación.

La metodología de evaluación, validación económica y social de las propuestas se basó en el análisis de costo de ciclo de vida. La utilización de esta metodología costo-eficiencia permitió calcular el costo de ciclo de vida de las diferentes soluciones constructivas que cumplen con el estándar propuesto, para así optimizar los incrementos de inversiones y definir qué propuesta es la que genera mejor relación costo-eficiencia desde una perspectiva de costos y beneficios sociales, como desde una perspectiva financiera. El desarrollo de esta metodología consideró la realización de simulaciones energéticas, cálculo de costos de inversión inicial y cálculo de costo de ciclo de vida para todas las viviendas en condición base y con propuesta de mejora, los cuales permitieron comparar los resultados de las distintas propuestas de mejora. Es importante considerar que la determinación de costos de inversión inicial para cumplir con el estándar propuesto se sostiene en base de datos de costos de precios unitarios de diversos materiales de construcción, a las soluciones constructivas propuestas y a una serie de supuestos. Las propuestas de mejora de estándar de la envolvente opaca, transparente y la hermeticidad de las viviendas, están sujeta a la calidad de mano de obra, materiales, desarrollo de encuentros, entre otros factores, los cuales escapan a los alcances del objetivo de esta investigación.

En la etapa de simulación energética, a través de la utilización de software Design Builder se logró determinar las cualidades prestacionales de las diferentes tipologías de vivienda base y sus respectivas propuestas de mejora de estándar, logrando determinar su consumo energético anual.

La incorporación de los estándares propuestos generará importantes reducciones del consumo energético en las viviendas evaluadas. Es importante mencionar que el real comportamiento de las viviendas depende en gran parte de sus usuarios, por ello las reducciones en los consumos energéticos pueden en la realidad no ser tan acentuadas, debido a malas condiciones de sistemas de calefacción, malas prácticas, variaciones en los horarios y cargas de ocupación, entre otros factores. Sin embargo, la reducción del consumo energético se producirá y mejorará las condiciones de habitabilidad, confort y calidad de vida de sus habitantes, beneficios que no se han cuantificado económicamente en esta investigación. Con el ejercicio de simulación se detectó que la variable más importante para reducir el consumo energético de las viviendas es la reducción de las infiltraciones de aire ya que cuando se realizaron las simulaciones, el sólo variar la hermeticidad y manteniendo el estándar de transmitancia térmica de las viviendas base, lograba una importante reducción del consumo energético de la vivienda simulada. Sin embargo, debido a que el objetivo del estándar propuesto es limitar a valores de uso mínimo óptimo el consumo energético, el sólo reducir las infiltraciones de aire no consigue este objetivo debido a que no considera protección de la envolvente térmica, mejoras en ventilación natural y/o mecánicas necesarias para cumplir con este.

Es importante también mencionar que las evaluaciones se realizaron considerando un sistema de calefacción con electricidad. La validación o no de los estándares está relacionada directamente con el sistema de calefacción, su eficiencia y el costo de la energía que este utiliza. Por lo tanto si se realizara la misma evaluación, pero considerando un sistema de calefacción con gas, parafina u otro; los resultados del análisis de costo de ciclo de vida y periodos de retorno de la inversión variarán, pudiendo validar un estándar en algunos casos o haciéndolo no rentable en otro.

En la etapa de análisis de costo de ciclo de vida de los escenarios base y propuestos, el cálculo de los costos de inversión inicial se logró determinar que la mayoría de las soluciones constructivas propuestas logran ser inferiores al monto considerado en los PPPF y por tanto haría económicamente viable la implementación de propuestas de mejora considerando el costo extra de inversión inicial como una medida de prevención y no como un costo de reparación posterior. A través de los cálculos de costo de ciclo de vida fue posible determinar el periodo de tiempo de recuperación de la inversión y verificar si cumplían o no con criterio rector establecido. En el caso de las propuestas de mejora para las viviendas 1 y 2 estas cumplen con el criterio establecido al

generan un PRI igual e incluso menor a cinco años. Mientras que en el caso de las propuestas de mejora para la vivienda 3, el periodo de recuperación es superior al criterio establecido.

Si bien en general el total de las propuestas de mejora evaluadas generan bajos consumos energéticos, cortos periodos de reducción de la inversión, bajos incrementos de costos de inversión y grandes ahorros en el consumo energético anual, la evaluación permitió priorizar y optimizar entre las diferentes propuestas. Esta evaluación de la rentabilidad de las diferentes propuestas por tipologías de vivienda a través de la comparación de los diferentes indicadores evaluados permitió definir y justificar para cada una de las tipologías de vivienda la propuesta que genera la mejor relación costo-eficiencia. En las diferentes comparaciones de indicadores evaluados se establecieron condiciones, o zonas de ubicación dentro de los gráficos, que debían cumplir las diferentes propuestas en las cuales se generaban las mejores condiciones de rentabilidad. En la comparación número 1, las propuestas de mayor rentabilidad eran aquellas que generaban un bajo consumo energético y un menor periodo de recuperación de la inversión. En la comparación número 2, correspondía a aquellas que requerían de un menor incremento de costo de inversión inicial y generan un bajo consumo energético anual. En la propuesta número 3, correspondía a aquellas que requerían de un menor incremento de costo de inversión inicial y generan un mayor ahorro en el consumo energético anual. Mientras que en la comparación número 4, correspondía a aquellas propuestas que generan un mayor ahorro en el consumo energético anual e impliquen un menor periodo de recuperación de la inversión. Esta determinación de zonas permitió identificar más fácilmente que propuestas de mejora lograban generar las mejores relaciones costo-eficiencia y optimizar los incrementos de inversión en las propuestas de mejora de estándar de transmitancia térmica para limitar a valores de uso mínimo óptimo el consumo energético de viviendas en la ciudad de Concepción desde una perspectiva de costos y beneficios sociales.

#### Futuras investigaciones

De la investigación realizada surgen las siguientes líneas de investigación relacionadas al tema y a su potencial avance:

Investigación orientada en la validación de reducción de riesgo de condensación de propuestas realizadas a través de simulación y/o monitorización de vivienda que integre estos estándares.

Medición y comparación de ambas mediciones.

Efectividad y rentabilidad de las propuestas de mejora planteadas considerando las diferentes orientaciones posibles en el contexto climático de la ciudad de Concepción. Como también extrapolar esta medición en las diferentes zonas térmicas en las cuales viviendas se generen altos consumos energéticos.

Propuesta de estándares de aislación térmica para edificios residenciales, la cual según marco teórico tiene una representatividad importante del parque habitacional de Concepción. Proponer soluciones de mejora orientadas reducir su consumo energético considerando las particularidades y diversas posibilidades de esta tipología de vivienda.

Profundizar en las soluciones constructivas para lograr el estándar de hermeticidad planteado en esta investigación. Si bien se plantearon propuestas orientadas a mejorar la hermeticidad de las propuestas, no se profundizó en la medición de estas debido a que no eran la variable principal de investigación.

Evaluación y validación de estándares propuestos considerando diferentes fuentes de energía para el sistema de calefacción. De modo de generar un análisis comparativo del análisis de costo de ciclo de vida y rentabilidad variando el tipo de sistema de calefacción, eficiencia del sistema y costo de la energía.

## ANEXOS A: CALCULO ANÁLISIS COSTO DE CICLO DE VIDA

En este apartado se mostrarán los cálculos realizados para obtener el costo de ciclo de vida para cada vivienda en estudio

**Tabla A 1: Análisis Costo Ciclo de Vida caso Vivienda 1 Base V1.M1.T1.PC6. (INF-24,6) y Vivienda 1 Propuesta V1.M1.T1.PC6. (INF-5)**

| Tasa descuento  | 6%                                     |                   |                      |                   |                   | BASE                    |                |                   | MEJORADO                |                  |                |
|---|--|-------------------|----------------------|-------------------|-------------------|-------------------------|----------------|-------------------|-------------------------|------------------|----------------|
| Periodo estudio   | 20                                     |                   |                      |                   |                   | V1.M1.T1.PC6.(INF-24,6) |                |                   | V1.M1.T1.PC6.(INF-5)    |                  |                |
| Inversión inicial   | Elemento                               | Tipo de aislación | Espesor              | Tipo de aislación | Espesor           | Costo UF/m <sup>2</sup> | Costo estimado | Valor presente    | Costo UF/m <sup>2</sup> | Costo estimado   | Valor presente |
|   | Vanos                                  | Aluminio          | V. Simple            | Pvc               | DVH               | 2,17                    | 16,35 UF       | 16,35 UF          | 3,59                    | 28,08 UF         | 28,08 UF       |
|   | Techo                                  | L.V               | 100                  | L.V               | 120               | 0,16                    | 7,87 UF        | 7,87 UF           | 0,17                    | 8,42 UF          | 8,42 UF        |
|   | Muros piso 1                           | L.V               | 40                   | L.V               | 100               | 0,07                    | 4,69 UF        | 4,69 UF           | 0,25                    | 15,78 UF         | 15,78 UF       |
|   | Muros piso 2                           | L.V               | 40                   | L.V               | 100               | 0,00                    | 0,00 UF        | 0,00 UF           | 0,00                    | 0,00 UF          | 0,00 UF        |
|   | Piso                                   | -                 | 0                    | XPS               | 75                | 0,00                    | 0,00 UF        | 0,00 UF           | 0,62                    | 31,42 UF         | 31,42 UF       |
|   | Sellado env.                           | -                 | -                    | -                 | -                 | 0,00                    | 0,00 UF        | 0,00 UF           | 0,06                    | 4,75 UF          | 4,75 UF        |
|   | Sist. Ventilación                      | -                 | -                    | -                 | -                 | 0,00                    | 0,00 UF        | 0,00 UF           | 13,46                   | 13,46 UF         | 13,46 UF       |
|   | E. Fachada                             | -                 | -                    | -                 | -                 | 0,00                    | 0,00 UF        | 0,00 UF           | 1,23                    | 1,23 UF          | 1,23 UF        |
| <b>TOTAL COSTOS INICIALES Y COLATERALES</b>                 |  |                   |                      |                   |                   | <b>28,92 UF</b>         |                |                   | <b>103,15 UF</b>        |                  |                |
| <b>DIFERENCIA COSTOS DE INVERSIÓN(Mejorado-Base)</b>        |  |                   |                      |                   |                   |                         |                |                   | <b>74,23 UF</b>         |                  |                |
| Costos de Operación   | Instalaciones                          | Tipo de energía   | Tasa de escalamiento | Coste UF/kWh      | UF/m <sup>2</sup> | UF/año                  | UF/20años      | UF/m <sup>2</sup> | UF/año                  | UF/20años        |                |
|   | Calefacción                            | Electricidad      | 5,34%                | 0,00440           | 0,76              | 32,13 UF                | 602,24         | 0,21              | 8,98 UF                 | 168,34 UF        |                |
| <b>TOTAL COSTOS ANUALES CONSUMO ENERGÉTICO</b>              |  |                   |                      |                   |                   | <b>32,13 UF</b>         |                | <b>602,24</b>     |                         | <b>8,98 UF</b>   |                |
| <b>DIFERENCIA COSTOS CONSUMO ENERGÉTICO (Base-Mejorado)</b> |  |                   |                      |                   |                   |                         |                |                   |                         | <b>23,15 UF</b>  |                |
| LCCA  | <b>COSTOS DE CICLO DE VIDA (LCCA)</b>  |                   |                      |                   |                   |                         |                | <b>631,16 UF</b>  |                         | <b>271,49 UF</b> |                |
|   | <b>Diferencia LCCA (Mejorado-Base)</b> |                   |                      |                   |                   |                         |                |                   |                         | <b>-359,67</b>   |                |
|   | <b>Variación LCCA (Mejorado-Base)</b>  |                   |                      |                   |                   |                         |                |                   |                         | <b>-57,0%</b>    |                |
|   | <b>Payback (Años)</b>                  |                   |                      |                   |                   |                         |                |                   |                         | <b>4,00</b>      |                |

ANEXO A: CALCULO ANÁLISIS COSTO DE CICLO DE VIDA

**Tabla A 2: Análisis Costo Ciclo de Vida caso Vivienda 1 Base V1.M1.T1.PC6. (INF-24,6) y Vivienda 1 Propuesta V1.M1.T1.PC6. (INF-8)**

| Tasa descuento  | 6%                                     |                   |                      |                   |                   | BASE                    |                |                   | MEJORADO                |                  |                  |
|---|--|-------------------|----------------------|-------------------|-------------------|-------------------------|----------------|-------------------|-------------------------|------------------|------------------|
| Periodo estudio   | 20                                     |                   |                      |                   |                   | V1.M1.T1.PC6.(INF-24,6) |                |                   | V1.M1.T1.PC6.(INF-8)    |                  |                  |
| Inversión inicial   | Elemento                               | Tipo de aislación | Espesor              | Tipo de aislación | Espesor           | Costo UF/m <sup>2</sup> | Costo estimado | Valor presente    | Costo UF/m <sup>2</sup> | Costo estimado   | Valor presente   |
|   | Vanos                                  | Aluminio          | V. Simple            | Aluminio          | DVH               | 2,17                    | 16,35 UF       | 16,35 UF          | 3,12                    | 24,53 UF         | 24,53 UF         |
|   | Techo                                  | L.V               | 100                  | L.V               | 120               | 0,16                    | 7,87 UF        | 7,87 UF           | 0,17                    | 8,42 UF          | 8,42 UF          |
|   | Muros piso 1                           | L.V               | 40                   | L.V               | 100               | 0,07                    | 4,69 UF        | 4,69 UF           | 0,25                    | 15,78 UF         | 15,78 UF         |
|   | Muros piso 2                           | L.V               | 40                   | L.V               | 100               | 0,00                    | 0,00 UF        | 0,00 UF           | 0,00                    | 0,00 UF          | 0,00 UF          |
|   | Piso                                   | -                 | 0                    | XPS               | 75                | 0,00                    | 0,00 UF        | 0,00 UF           | 0,62                    | 31,42 UF         | 31,42 UF         |
|   | Sellado env.                           | -                 | -                    | -                 | -                 | 0,00                    | 0,00 UF        | 0,00 UF           | 0,06                    | 4,75 UF          | 4,75 UF          |
|   | Sist. Ventilación                      | -                 | -                    | -                 | -                 | 0,00                    | 0,00 UF        | 0,00 UF           | 13,46                   | 13,46 UF         | 13,46 UF         |
|   | E. Fachada                             | -                 | -                    | -                 | -                 | 0,00                    | 0,00 UF        | 0,00 UF           | 1,23                    | 1,23 UF          | 1,23 UF          |
| <b>TOTAL COSTOS INICIALES Y COLATERALES</b>                 |  |                   |                      |                   |                   | <b>28,92 UF</b>         |                |                   | <b>99,59 UF</b>         |                  |                  |
| <b>DIFERENCIA COSTOS DE INVERSIÓN(Mejorado-Base)</b>        |  |                   |                      |                   |                   |                         |                |                   | <b>70,67 UF</b>         |                  |                  |
| Costos de Operación   | Instalaciones                          | Tipo de energía   | Tasa de escalamiento | Coste UF/kWh      | UF/m <sup>2</sup> | UF/año                  | UF/20años      | UF/m <sup>2</sup> | UF/año                  | UF/20años        |                  |
|   | Calefacción                            | Electricidad      | 5,34%                | 0,00440           | 0,76              | 32,13 UF                | 602,24         | 0,28              | 11,99 UF                | 224,81 UF        |                  |
| <b>TOTAL COSTOS ANUALES CONSUMO ENERGÉTICO</b>              |  |                   |                      |                   |                   | <b>32,13 UF</b>         |                | <b>602,24</b>     | <b>11,99 UF</b>         |                  | <b>224,81 UF</b> |
| <b>DIFERENCIA COSTOS CONSUMO ENERGÉTICO (Base-Mejorado)</b> |  |                   |                      |                   |                   |                         |                |                   | 20,14 UF                |                  | 377,43 UF        |
| LCCA  | <b>COSTOS DE CICLO DE VIDA (LCCA)</b>  |                   |                      |                   |                   |                         |                | <b>631,16 UF</b>  |                         | <b>324,40 UF</b> |                  |
|   | <b>Diferencia LCCA (Mejorado-Base)</b> |                   |                      |                   |                   |                         |                |                   |                         | -306,76          |                  |
|   | <b>Variación LCCA (Mejorado-Base)</b>  |                   |                      |                   |                   |                         |                |                   |                         | -48,6%           |                  |
|   | <b>Payback (Años)</b>                  |                   |                      |                   |                   |                         |                |                   |                         | 4,00             |                  |

ANEXO A: CALCULO ANÁLISIS COSTO DE CICLO DE VIDA

**Tabla A 3: Análisis Costo Ciclo de Vida caso Vivienda 1 Base V1.M3.T1.PC6. (INF-24,6) y Vivienda 1 Propuesta V1.M3.T1.PC6. (INF-5)**

| Tasa descuento  | 6%  |                          |                      |                          |                   | BASE                    |                 |                   | MEJORADO                |                  |                  |  |
|---|---|--------------------------|----------------------|--------------------------|-------------------|-------------------------|-----------------|-------------------|-------------------------|------------------|------------------|--|
| Periodo estudio   | 20  |                          |                      |                          |                   | V1.M3.T1.PC6.(INF-24,6) |                 |                   | V1.M3.T1.PC6.(INF-5)    |                  |                  |  |
| Inversión inicial   | Elemento                                    | Tipo de aislación        | Espesor              | Tipo de aislación        | Espesor           | Costo UF/m <sup>2</sup> | Costo estimado  | Valor presente    | Costo UF/m <sup>2</sup> | Costo estimado   | Valor presente   |  |
|   | Vanos                                       | Aluminio                 | V. Simple            | Pvc                      | DVH               | 2,17                    | 16,35 UF        | 16,35 UF          | 3,59                    | 28,08 UF         | 28,08 UF         |  |
|   | Techo                                       | L.V                      | 100                  | L.V                      | 120               | 0,16                    | 7,87 UF         | 7,87 UF           | 0,17                    | 8,42 UF          | 8,42 UF          |  |
|   | Muros piso 1                                | EPS 10 kg/m <sup>3</sup> | 40                   | EPS 10 kg/m <sup>3</sup> | 120               | 0,07                    | 4,09 UF         | 4,09 UF           | 0,27                    | 16,89 UF         | 16,89 UF         |  |
|   | Muros piso 2                                | EPS 10 kg/m <sup>3</sup> | 40                   | EPS 10 kg/m <sup>3</sup> | 120               | 0,00                    | 0,00 UF         | 0,00 UF           | 0,00                    | 0,00 UF          | 0,00 UF          |  |
|   | Piso  | -                        | 0                    | XPS                      | 75                | 0,00                    | 0,00 UF         | 0,00 UF           | 0,62                    | 31,42 UF         | 31,42 UF         |  |
|   | Sellado env.                                | -                        | -                    | -                        | -                 | 0,00                    | 0,00 UF         | 0,00 UF           | 0,06                    | 4,75 UF          | 4,75 UF          |  |
|   | Sist. Ventilación                           | -                        | -                    | -                        | -                 | 0,00                    | 0,00 UF         | 0,00 UF           | 13,46                   | 13,46 UF         | 13,46 UF         |  |
|   | E. Fachada                                  | -                        | -                    | -                        | -                 | 0,00                    | 0,00 UF         | 0,00 UF           | 1,23                    | 1,23 UF          | 1,23 UF          |  |
|   | <b>TOTAL COSTOS INICIALES Y COLATERALES</b> |                          |                      |                          |                   |                         | <b>28,32 UF</b> |                   |                         | <b>104,25 UF</b> |                  |  |
| <b>DIFERENCIA COSTOS DE INVERSIÓN(Mejorado-Base)</b>        |   |                          |                      |                          |                   |                         |                 |                   | <b>75,93 UF</b>         |                  |                  |  |
| Costos de Operación   | Instalaciones                               | Tipo de energía          | Tasa de escalamiento | Coste UF/kWh             | UF/m <sup>2</sup> | UF/año                  | UF/20años       | UF/m <sup>2</sup> | UF/año                  | UF/20años        |                  |  |
|   | Calefacción                                 | Electricidad             | 5,34%                | 0,00440                  | 0,76              | 32,49 UF                | 608,96          | 0,21              | 8,98 UF                 | 168,29 UF        |                  |  |
| <b>TOTAL COSTOS ANUALES CONSUMO ENERGÉTICO</b>              |   |                          |                      |                          |                   | <b>32,49 UF</b>         |                 | <b>608,96</b>     |                         | <b>8,98 UF</b>   |                  |  |
| <b>DIFERENCIA COSTOS CONSUMO ENERGÉTICO (Base-Mejorado)</b> |   |                          |                      |                          |                   |                         |                 |                   |                         | <b>23,51 UF</b>  |                  |  |
| LCCA  | <b>COSTOS DE CICLO DE VIDA (LCCA)</b>       |                          |                      |                          |                   |                         |                 | <b>637,27 UF</b>  |                         |                  | <b>272,54 UF</b> |  |
|   | <b>Diferencia LCCA (Mejorado-Base)</b>      |                          |                      |                          |                   |                         |                 |                   |                         |                  | <b>-364,73</b>   |  |
|   | <b>Variación LCCA (Mejorado-Base)</b>       |                          |                      |                          |                   |                         |                 |                   |                         |                  | <b>-57,2%</b>    |  |
|   | <b>Payback (Años)</b>                       |                          |                      |                          |                   |                         |                 |                   |                         |                  | <b>4,00</b>      |  |

ANEXO A: CALCULO ANÁLISIS COSTO DE CICLO DE VIDA

**Tabla A 4: Análisis Costo Ciclo de Vida caso Vivienda 1 Base V1.M3.T1.PC6. (INF-24,6) y Vivienda 1 Propuesta V1.M3.T1.PC6. (INF-8)**

| Tasa descuento  | 6%  |                          |                      |                          |                   | BASE                    |                 |                   | MEJORADO                |                  |                  |  |
|---|---|--------------------------|----------------------|--------------------------|-------------------|-------------------------|-----------------|-------------------|-------------------------|------------------|------------------|--|
| Periodo estudio   | 20  |                          |                      |                          |                   | V1.M3.T1.PC6.(INF-24,6) |                 |                   | V1.M3.T1.PC6.(INF-8)    |                  |                  |  |
| Inversión inicial   | Elemento                                    | Tipo de aislación        | Espesor              | Tipo de aislación        | Espesor           | Costo UF/m <sup>2</sup> | Costo estimado  | Valor presente    | Costo UF/m <sup>2</sup> | Costo estimado   | Valor presente   |  |
|   | Vanos                                       | Aluminio                 | V. Simple            | Aluminio                 | DVH               | 2,17                    | 16,35 UF        | 16,35 UF          | 3,12                    | 24,53 UF         | 24,53 UF         |  |
|   | Techo                                       | L.V                      | 100                  | L.V                      | 120               | 0,16                    | 7,87 UF         | 7,87 UF           | 0,17                    | 8,42 UF          | 8,42 UF          |  |
|   | Muros piso 1                                | EPS 10 kg/m <sup>3</sup> | 40                   | EPS 10 kg/m <sup>3</sup> | 120               | 0,07                    | 4,09 UF         | 4,09 UF           | 0,27                    | 16,89 UF         | 16,89 UF         |  |
|   | Muros piso 2                                | EPS 10 kg/m <sup>3</sup> | 40                   | EPS 10 kg/m <sup>3</sup> | 120               | 0,00                    | 0,00 UF         | 0,00 UF           | 0,00                    | 0,00 UF          | 0,00 UF          |  |
|   | Piso  | -                        | 0                    | XPS                      | 75                | 0,00                    | 0,00 UF         | 0,00 UF           | 0,62                    | 31,42 UF         | 31,42 UF         |  |
|   | Sellado env.                                | -                        | -                    | -                        | -                 | 0,00                    | 0,00 UF         | 0,00 UF           | 0,06                    | 4,75 UF          | 4,75 UF          |  |
|   | Sist. Ventilación                           | -                        | -                    | -                        | -                 | 0,00                    | 0,00 UF         | 0,00 UF           | 13,46                   | 13,46 UF         | 13,46 UF         |  |
|   | E. Fachada                                  | -                        | -                    | -                        | -                 | 0,00                    | 0,00 UF         | 0,00 UF           | 1,23                    | 1,23 UF          | 1,23 UF          |  |
|   | <b>TOTAL COSTOS INICIALES Y COLATERALES</b> |                          |                      |                          |                   |                         | <b>28,32 UF</b> |                   |                         | <b>100,69 UF</b> |                  |  |
| <b>DIFERENCIA COSTOS DE INVERSIÓN(Mejorado-Base)</b>        |   |                          |                      |                          |                   |                         |                 |                   | <b>72,38 UF</b>         |                  |                  |  |
| Costos de Operación   | Instalaciones                               | Tipo de energía          | Tasa de escalamiento | Coste UF/kWh             | UF/m <sup>2</sup> | UF/año                  | UF/20años       | UF/m <sup>2</sup> | UF/año                  | UF/20años        |                  |  |
|   | Calefacción                                 | Electricidad             | 5,34%                | 0,00440                  | 0,76              | 32,49 UF                | 608,96          | 0,28              | 11,99 UF                | 224,75 UF        |                  |  |
| <b>TOTAL COSTOS ANUALES CONSUMO ENERGÉTICO</b>              |   |                          |                      |                          |                   | <b>32,49 UF</b>         |                 | <b>608,96</b>     |                         |                  |                  |  |
| <b>DIFERENCIA COSTOS CONSUMO ENERGÉTICO (Base-Mejorado)</b> |   |                          |                      |                          |                   |                         |                 |                   |                         | <b>20,50 UF</b>  |                  |  |
| LCCA  | <b>COSTOS DE CICLO DE VIDA (LCCA)</b>       |                          |                      |                          |                   |                         |                 | <b>637,27 UF</b>  |                         |                  | <b>325,45 UF</b> |  |
|   | <b>Diferencia LCCA (Mejorado-Base)</b>      |                          |                      |                          |                   |                         |                 |                   |                         |                  | <b>-311,83</b>   |  |
|   | <b>Variación LCCA (Mejorado-Base)</b>       |                          |                      |                          |                   |                         |                 |                   |                         |                  | <b>-48,9%</b>    |  |
|   | <b>Payback (Años)</b>                       |                          |                      |                          |                   |                         |                 |                   |                         |                  | <b>4,00</b>      |  |

ANEXO A: CALCULO ANÁLISIS COSTO DE CICLO DE VIDA

**Tabla A 5: Análisis Costo Ciclo de Vida caso Vivienda 1 Base V1.M4.T1.PC6. (INF-24,6) y Vivienda 1 Propuesta V1.M4.T1.PC6. (INF-5)**

| Tasa descuento  | 6%                                     |                   |                      |                   |                   | BASE                    |                |                   | MEJORADO                |                 |                  |  |
|---|--|-------------------|----------------------|-------------------|-------------------|-------------------------|----------------|-------------------|-------------------------|-----------------|------------------|--|
| Periodo estudio   | 20                                     |                   |                      |                   |                   | V1.M4.T1.PC6.(INF-24,6) |                |                   | V1.M4.T1.PC6.(INF-5)    |                 |                  |  |
| Inversión inicial   | Elemento                               | Tipo de aislación | Esesor               | Tipo de aislación | Esesor            | Costo UF/m <sup>2</sup> | Costo estimado | Valor presente    | Costo UF/m <sup>2</sup> | Costo estimado  | Valor presente   |  |
|   | Vanos                                  | Aluminio          | V. Simple            | Pvc               | DVH               | 2,17                    | 16,35 UF       | 16,35 UF          | 3,59                    | 28,08 UF        | 28,08 UF         |  |
|   | Techo                                  | L.V               | 100                  | L.V               | 120               | 0,16                    | 7,87 UF        | 7,87 UF           | 0,17                    | 8,42 UF         | 8,42 UF          |  |
|   | Muros piso 1                           | EPS 15 kg/m3      | 56                   | EPS 15 kg/m3      | 105               | 0,10                    | 6,00 UF        | 6,00 UF           | 0,26                    | 16,36 UF        | 16,36 UF         |  |
|   | Muros piso 2                           | EPS 15 kg/m3      | 56                   | EPS 15 kg/m3      | 105               | 0,00                    | 0,00 UF        | 0,00 UF           | 0,00                    | 0,00 UF         | 0,00 UF          |  |
|   | Piso                                   | -                 | 0                    | XPS               | 75                | 0,00                    | 0,00 UF        | 0,00 UF           | 0,62                    | 31,42 UF        | 31,42 UF         |  |
|   | Sellado env.                           | -                 | -                    | -                 | -                 | 0,00                    | 0,00 UF        | 0,00 UF           | 0,06                    | 4,75 UF         | 4,75 UF          |  |
|   | Sist. Ventilación                      | -                 | -                    | -                 | -                 | 0,00                    | 0,00 UF        | 0,00 UF           | 13,46                   | 13,46 UF        | 13,46 UF         |  |
|   | E. Fachada                             | -                 | -                    | -                 | -                 | 0,00                    | 0,00 UF        | 0,00 UF           | 1,23                    | 1,23 UF         | 1,23 UF          |  |
| <b>TOTAL COSTOS INICIALES Y COLATERALES</b>                 |  |                   |                      |                   |                   | <b>30,22 UF</b>         |                |                   | <b>103,72 UF</b>        |                 |                  |  |
| <b>DIFERENCIA COSTOS DE INVERSIÓN(Mejorado-Base)</b>        |  |                   |                      |                   |                   |                         |                |                   | <b>73,50 UF</b>         |                 |                  |  |
| Costos de Operación   | Instalaciones                          | Tipo de energía   | Tasa de escalamiento | Coste UF/kWh      | UF/m <sup>2</sup> | UF/año                  | UF/20años      | UF/m <sup>2</sup> | UF/año                  | UF/20años       |                  |  |
|   | Calefacción                            | Electricidad      | 5,34%                | 0,00440           | 0,73              | 31,12 UF                | 583,33         | 0,21              | 8,98 UF                 | 168,29 UF       |                  |  |
| <b>TOTAL COSTOS ANUALES CONSUMO ENERGÉTICO</b>              |  |                   |                      |                   |                   | <b>31,12 UF</b>         |                | <b>583,33</b>     |                         | <b>8,98 UF</b>  |                  |  |
| <b>DIFERENCIA COSTOS CONSUMO ENERGÉTICO (Base-Mejorado)</b> |  |                   |                      |                   |                   |                         |                |                   |                         | <b>22,14 UF</b> |                  |  |
| LCCA  | <b>COSTOS DE CICLO DE VIDA (LCCA)</b>  |                   |                      |                   |                   |                         |                | <b>613,56 UF</b>  |                         |                 | <b>272,01 UF</b> |  |
|   | <b>Diferencia LCCA (Mejorado-Base)</b> |                   |                      |                   |                   |                         |                |                   |                         |                 | <b>-341,54</b>   |  |
|   | <b>Variación LCCA (Mejorado-Base)</b>  |                   |                      |                   |                   |                         |                |                   |                         |                 | <b>-55,7%</b>    |  |
|   | <b>Payback (Años)</b>                  |                   |                      |                   |                   |                         |                |                   |                         |                 | <b>4,00</b>      |  |

**Tabla A 6: Análisis Costo Ciclo de Vida caso Vivienda 1 Base V1.M4.T1.PC6. (INF-24,6) y Vivienda 1 Propuesta V1.M4.T1.PC6. (INF-5)**

| Tasa descuento  | 6%                                     |                          |                      |                          |                   | BASE                    |                |                   | MEJORADO                |                                     |                  |  |
|---|--|--------------------------|----------------------|--------------------------|-------------------|-------------------------|----------------|-------------------|-------------------------|-------------------------------------|------------------|--|
| Periodo estudio   | 20                                     |                          |                      |                          |                   | V1.M4.T1.PC6.(INF-24,6) |                |                   | V1.M4.T1.PC6.(INF-8)    |                                     |                  |  |
| Inversión inicial   | Elemento                               | Tipo de aislación        | Espesor              | Tipo de aislación        | Espesor           | Costo UF/m <sup>2</sup> | Costo estimado | Valor presente    | Costo UF/m <sup>2</sup> | Costo estimado                      | Valor presente   |  |
|   | Vanos                                  | Aluminio                 | V. Simple            | Aluminio                 | DVH               | 2,17                    | 16,35 UF       | 16,35 UF          | 3,12                    | 24,53 UF                            | 24,53 UF         |  |
|   | Techo                                  | L.V                      | 100                  | L.V                      | 120               | 0,16                    | 7,87 UF        | 7,87 UF           | 0,17                    | 8,42 UF                             | 8,42 UF          |  |
|   | Muros piso 1                           | EPS 15 kg/m <sup>3</sup> | 56                   | EPS 15 kg/m <sup>3</sup> | 105               | 0,10                    | 6,00 UF        | 6,00 UF           | 0,26                    | 16,36 UF                            | 16,36 UF         |  |
|   | Muros piso 2                           | EPS 15 kg/m <sup>3</sup> | 56                   | EPS 15 kg/m <sup>3</sup> | 105               | 0,00                    | 0,00 UF        | 0,00 UF           | 0,00                    | 0,00 UF                             | 0,00 UF          |  |
|   | Piso                                   | -                        | 0                    | XPS                      | 75                | 0,00                    | 0,00 UF        | 0,00 UF           | 0,62                    | 31,42 UF                            | 31,42 UF         |  |
|   | Sellado env.                           | -                        | -                    | -                        | -                 | 0,00                    | 0,00 UF        | 0,00 UF           | 0,06                    | 4,75 UF                             | 4,75 UF          |  |
|   | Sist. Ventilación                      | -                        | -                    | -                        | -                 | 0,00                    | 0,00 UF        | 0,00 UF           | 13,46                   | 13,46 UF                            | 13,46 UF         |  |
|   | E. Fachada                             | -                        | -                    | -                        | -                 | 0,00                    | 0,00 UF        | 0,00 UF           | 1,23                    | 1,23 UF                             | 1,23 UF          |  |
| <b>TOTAL COSTOS INICIALES Y COLATERALES</b>                 |  |                          |                      |                          |                   | <b>30,22 UF</b>         |                |                   | <b>100,16 UF</b>        |                                     |                  |  |
| <b>DIFERENCIA COSTOS DE INVERSIÓN(Mejorado-Base)</b>        |  |                          |                      |                          |                   |                         |                |                   | <b>69,94 UF</b>         |                                     |                  |  |
| Costos de Operación   | Instalaciones                          | Tipo de energía          | Tasa de escalamiento | Coste UF/kWh             | UF/m <sup>2</sup> | UF/año                  | UF/20años      | UF/m <sup>2</sup> | UF/año                  | UF/20años                           |                  |  |
|   | Calefacción                            | Electricidad             | 5,34%                | 0,00440                  | 0,73              | 31,12 UF                | 583,33         | 0,28              | 11,99 UF                | 224,75 UF                           |                  |  |
| <b>TOTAL COSTOS ANUALES CONSUMO ENERGÉTICO</b>              |  |                          |                      |                          |                   | <b>31,12 UF</b>         |                | <b>583,33</b>     |                         | <b>11,99 UF</b><br><b>224,75 UF</b> |                  |  |
| <b>DIFERENCIA COSTOS CONSUMO ENERGÉTICO (Base-Mejorado)</b> |  |                          |                      |                          |                   |                         |                |                   |                         | <b>19,13 UF</b><br><b>358,58 UF</b> |                  |  |
| LCCA  | <b>COSTOS DE CICLO DE VIDA (LCCA)</b>  |                          |                      |                          |                   |                         |                | <b>613,56 UF</b>  |                         |                                     | <b>324,92 UF</b> |  |
|   | <b>Diferencia LCCA (Mejorado-Base)</b> |                          |                      |                          |                   |                         |                |                   |                         |                                     | <b>-288,64</b>   |  |
|   | <b>Variación LCCA (Mejorado-Base)</b>  |                          |                      |                          |                   |                         |                |                   |                         |                                     | <b>-47,0%</b>    |  |
|   | <b>Payback (Años)</b>                  |                          |                      |                          |                   |                         |                |                   |                         |                                     | <b>4,00</b>      |  |

**Tabla A 7: Análisis Costo Ciclo de Vida caso Vivienda 1 Base V1.M1.T1.PV1. (INF-24,6) y Vivienda 1 Propuesta V1.M1.T1.PV1. (INF-5)**

| Tasa descuento  | 6%                                     |                   |                      |                   |                   | BASE                    |                |                   | MEJORADO                |                 |                  |  |
|---|--|-------------------|----------------------|-------------------|-------------------|-------------------------|----------------|-------------------|-------------------------|-----------------|------------------|--|
| Periodo estudio   | 20                                     |                   |                      |                   |                   | V1.M1.T1.PV1.(INF-24,6) |                |                   | V1.M1.T1.PV1.(INF-5)    |                 |                  |  |
| Inversión inicial   | Elemento                               | Tipo de aislación | Espesor              | Tipo de aislación | Espesor           | Costo UF/m <sup>2</sup> | Costo estimado | Valor presente    | Costo UF/m <sup>2</sup> | Costo estimado  | Valor presente   |  |
|   | Vanos                                  | Aluminio          | V. Simple            | Pvc               | DVH               | 2,17                    | 16,35 UF       | 16,35 UF          | 3,59                    | 28,08 UF        | 28,08 UF         |  |
|   | Techo                                  | L.V               | 100                  | L.V               | 120               | 0,16                    | 7,87 UF        | 7,87 UF           | 0,17                    | 8,42 UF         | 8,42 UF          |  |
|   | Muros piso 1                           | L.V               | 40                   | L.V               | 100               | 0,10                    | 6,00 UF        | 6,00 UF           | 0,25                    | 15,78 UF        | 15,78 UF         |  |
|   | Muros piso 2                           | L.V               | 40                   | L.V               | 100               | 0,00                    | 0,00 UF        | 0,00 UF           | 0,00                    | 0,00 UF         | 0,00 UF          |  |
|   | Piso                                   | -                 | 0                    | XPS               | 50                | 0,14                    | 7,16 UF        | 7,16 UF           | 0,08                    | 4,13 UF         | 4,13 UF          |  |
|   | Sellado env.                           | -                 | -                    | -                 | -                 | 0,00                    | 0,00 UF        | 0,00 UF           | 0,06                    | 4,75 UF         | 4,75 UF          |  |
|   | Sist. Ventilación                      | -                 | -                    | -                 | -                 | 0,00                    | 0,00 UF        | 0,00 UF           | 13,46                   | 13,46 UF        | 13,46 UF         |  |
|   | E. Fachada                             | -                 | -                    | -                 | -                 | 0,00                    | 0,00 UF        | 0,00 UF           | 1,23                    | 1,23 UF         | 1,23 UF          |  |
| <b>TOTAL COSTOS INICIALES Y COLATERALES</b>                 |  |                   |                      |                   |                   | <b>37,38 UF</b>         |                |                   | <b>75,85 UF</b>         |                 |                  |  |
| <b>DIFERENCIA COSTOS DE INVERSIÓN(Mejorado-Base)</b>        |  |                   |                      |                   |                   |                         |                |                   | <b>38,47 UF</b>         |                 |                  |  |
| Costos de Operación   | Instalaciones                          | Tipo de energía   | Tasa de escalamiento | Coste UF/kWh      | UF/m <sup>2</sup> | UF/año                  | UF/20años      | UF/m <sup>2</sup> | UF/año                  | UF/20años       |                  |  |
|   | Calefacción                            | Electricidad      | 5,34%                | 0,00440           | 0,60              | 25,31 UF                | 474,41         | 0,22              | 9,46 UF                 | 177,30 UF       |                  |  |
| <b>TOTAL COSTOS ANUALES CONSUMO ENERGÉTICO</b>              |  |                   |                      |                   |                   | <b>25,31 UF</b>         |                | <b>474,41</b>     |                         | <b>9,46 UF</b>  |                  |  |
| <b>DIFERENCIA COSTOS CONSUMO ENERGÉTICO (Base-Mejorado)</b> |  |                   |                      |                   |                   |                         |                |                   |                         | <b>15,85 UF</b> |                  |  |
| LCCA  | <b>COSTOS DE CICLO DE VIDA (LCCA)</b>  |                   |                      |                   |                   |                         |                | <b>511,79 UF</b>  |                         |                 | <b>253,16 UF</b> |  |
|   | <b>Diferencia LCCA (Mejorado-Base)</b> |                   |                      |                   |                   |                         |                |                   |                         |                 | <b>-258,63</b>   |  |
|   | <b>Variación LCCA (Mejorado-Base)</b>  |                   |                      |                   |                   |                         |                |                   |                         |                 | <b>-50,5%</b>    |  |
|   | <b>Payback (Años)</b>                  |                   |                      |                   |                   |                         |                |                   |                         |                 | <b>3,00</b>      |  |

ANEXO A: CALCULO ANÁLISIS COSTO DE CICLO DE VIDA

**Tabla A 8: Análisis Costo Ciclo de Vida caso Vivienda 1 Base V1.M1.T1.PV1. (INF-24,6) y Vivienda 1 Propuesta V1.M1.T1.PV1. (INF-8)**

| Tasa descuento  | 6%                                     |                   |                      |                   |                   | BASE                    |                |                   | MEJORADO                |                 |                  |
|---|--|-------------------|----------------------|-------------------|-------------------|-------------------------|----------------|-------------------|-------------------------|-----------------|------------------|
| Periodo estudio   | 20                                     |                   |                      |                   |                   | V1.M1.T1.PV1.(INF-24,6) |                |                   | V1.M1.T1.PV1.(INF-8)    |                 |                  |
| Inversión inicial   | Elemento                               | Tipo de aislación | Espesor              | Tipo de aislación | Espesor           | Costo UF/m <sup>2</sup> | Costo estimado | Valor presente    | Costo UF/m <sup>2</sup> | Costo estimado  | Valor presente   |
|   | Vanos                                  | Aluminio          | V. Simple            | Aluminio          | DVH               | 2,17                    | 16,35 UF       | 16,35 UF          | 3,12                    | 24,53 UF        | 24,53 UF         |
|   | Techo                                  | L.V               | 100                  | L.V               | 120               | 0,16                    | 7,87 UF        | 7,87 UF           | 0,17                    | 8,42 UF         | 8,42 UF          |
|   | Muros piso 1                           | L.V               | 40                   | L.V               | 100               | 0,10                    | 6,00 UF        | 6,00 UF           | 0,25                    | 15,78 UF        | 15,78 UF         |
|   | Muros piso 2                           | L.V               | 40                   | L.V               | 100               | 0,00                    | 0,00 UF        | 0,00 UF           | 0,00                    | 0,00 UF         | 0,00 UF          |
|   | Piso                                   | -                 | 0                    | XPS               | 50                | 0,14                    | 7,16 UF        | 7,16 UF           | 0,08                    | 4,13 UF         | 4,13 UF          |
|   | Sellado env.                           | -                 | -                    | -                 | -                 | 0,00                    | 0,00 UF        | 0,00 UF           | 0,06                    | 4,75 UF         | 4,75 UF          |
|   | Sist. Ventilación                      | -                 | -                    | -                 | -                 | 0,00                    | 0,00 UF        | 0,00 UF           | 13,46                   | 13,46 UF        | 13,46 UF         |
|   | E. Fachada                             | -                 | -                    | -                 | -                 | 0,00                    | 0,00 UF        | 0,00 UF           | 1,23                    | 1,23 UF         | 1,23 UF          |
| <b>TOTAL COSTOS INICIALES Y COLATERALES</b>                 |  |                   |                      |                   |                   | <b>37,38 UF</b>         |                |                   | <b>72,30 UF</b>         |                 |                  |
| <b>DIFERENCIA COSTOS DE INVERSIÓN(Mejorado-Base)</b>        |  |                   |                      |                   |                   |                         |                |                   | <b>34,92 UF</b>         |                 |                  |
| Costos de Operación   | Instalaciones                          | Tipo de energía   | Tasa de escalamiento | Coste UF/kWh      | UF/m <sup>2</sup> | UF/año                  | UF/20años      | UF/m <sup>2</sup> | UF/año                  | UF/20años       |                  |
|   | Calefacción                            | Electricidad      | 5,34%                | 0,00440           | 0,60              | 25,31 UF                | 474,41         | 0,29              | 12,27 UF                | 230,06 UF       |                  |
| <b>TOTAL COSTOS ANUALES CONSUMO ENERGÉTICO</b>              |  |                   |                      |                   |                   | <b>25,31 UF</b>         |                | <b>474,41</b>     |                         | <b>12,27 UF</b> | <b>230,06 UF</b> |
| <b>DIFERENCIA COSTOS CONSUMO ENERGÉTICO (Base-Mejorado)</b> |  |                   |                      |                   |                   |                         |                |                   |                         | <b>13,04 UF</b> | <b>244,35 UF</b> |
| LCCA  | <b>COSTOS DE CICLO DE VIDA (LCCA)</b>  |                   |                      |                   |                   |                         |                | <b>511,79 UF</b>  |                         |                 | <b>302,36 UF</b> |
|   | <b>Diferencia LCCA (Mejorado-Base)</b> |                   |                      |                   |                   |                         |                |                   |                         |                 | <b>-209,43</b>   |
|   | <b>Variación LCCA (Mejorado-Base)</b>  |                   |                      |                   |                   |                         |                |                   |                         |                 | <b>-40,9%</b>    |
|   | <b>Payback (Años)</b>                  |                   |                      |                   |                   |                         |                |                   |                         |                 | <b>3,00</b>      |

**Tabla A 9: Análisis Costo Ciclo de Vida caso Vivienda 1 Base V1.M3.T1.PV1. (INF-24,6) y Vivienda 1 Propuesta V1.M3.T1.PV1. (INF-5)**

| Tasa descuento  | 6%  |                   |                      |                   |                   | BASE                    |                 |                   | MEJORADO                |                 |                  |  |
|---|---|-------------------|----------------------|-------------------|-------------------|-------------------------|-----------------|-------------------|-------------------------|-----------------|------------------|--|
| Periodo estudio   | 20  |                   |                      |                   |                   | V1.M3.T1.PV1.(INF-24,6) |                 |                   | V1.M3.T1.PV1.(INF-5)    |                 |                  |  |
| Inversión inicial   | Elemento                                    | Tipo de aislación | Espesor              | Tipo de aislación | Espesor           | Costo UF/m <sup>2</sup> | Costo estimado  | Valor presente    | Costo UF/m <sup>2</sup> | Costo estimado  | Valor presente   |  |
|   | Vanos                                       | Aluminio          | V. Simple            | Pvc               | DVH               | 2,17                    | 16,35 UF        | 16,35 UF          | 3,59                    | 28,08 UF        | 28,08 UF         |  |
|   | Techo                                       | L.V               | 100                  | L.V               | 120               | 0,16                    | 7,87 UF         | 7,87 UF           | 0,17                    | 8,42 UF         | 8,42 UF          |  |
|   | Muros piso 1                                | EPS 10 kg/m3      | 40                   | EPS 10 kg/m3      | 120               | 0,07                    | 4,09 UF         | 4,09 UF           | 0,27                    | 16,89 UF        | 16,89 UF         |  |
|   | Muros piso 2                                | EPS 10 kg/m3      | 40                   | EPS 10 kg/m3      | 120               | 0,00                    | 0,00 UF         | 0,00 UF           | 0,00                    | 0,00 UF         | 0,00 UF          |  |
|   | Piso  | -                 | 0                    | XPS               | 50                | 0,14                    | 7,16 UF         | 7,16 UF           | 0,08                    | 4,13 UF         | 4,13 UF          |  |
|   | Sellado env.                                | -                 | -                    | -                 | -                 | 0,00                    | 0,00 UF         | 0,00 UF           | 0,06                    | 4,75 UF         | 4,75 UF          |  |
|   | Sist. Ventilación                           | -                 | -                    | -                 | -                 | 0,00                    | 0,00 UF         | 0,00 UF           | 13,46                   | 13,46 UF        | 13,46 UF         |  |
|   | E. Fachada                                  | -                 | -                    | -                 | -                 | 0,00                    | 0,00 UF         | 0,00 UF           | 1,23                    | 1,23 UF         | 1,23 UF          |  |
|   | <b>TOTAL COSTOS INICIALES Y COLATERALES</b> |                   |                      |                   |                   |                         | <b>35,47 UF</b> |                   |                         | <b>76,96 UF</b> |                  |  |
| <b>DIFERENCIA COSTOS DE INVERSIÓN(Mejorado-Base)</b>        |   |                   |                      |                   |                   |                         |                 |                   | <b>41,48 UF</b>         |                 |                  |  |
| Costos de Operación   | Instalaciones                               | Tipo de energía   | Tasa de escalamiento | Coste UF/kWh      | UF/m <sup>2</sup> | UF/año                  | UF/20años       | UF/m <sup>2</sup> | UF/año                  | UF/20años       |                  |  |
|   | Calefacción                                 | Electricidad      | 5,34%                | 0,00440           | 0,61              | 25,76 UF                | 482,78          | 0,22              | 9,46 UF                 | 177,23 UF       |                  |  |
| <b>TOTAL COSTOS ANUALES CONSUMO ENERGÉTICO</b>              |   |                   |                      |                   |                   | <b>25,76 UF</b>         |                 | <b>482,78</b>     |                         |                 |                  |  |
| <b>DIFERENCIA COSTOS CONSUMO ENERGÉTICO (Base-Mejorado)</b> |   |                   |                      |                   |                   |                         |                 |                   |                         | <b>16,30 UF</b> |                  |  |
| LCCA  | <b>COSTOS DE CICLO DE VIDA (LCCA)</b>       |                   |                      |                   |                   |                         |                 | <b>518,26 UF</b>  |                         |                 | <b>254,18 UF</b> |  |
|   | <b>Diferencia LCCA (Mejorado-Base)</b>      |                   |                      |                   |                   |                         |                 |                   |                         |                 | <b>-264,07</b>   |  |
|   | <b>Variación LCCA (Mejorado-Base)</b>       |                   |                      |                   |                   |                         |                 |                   |                         |                 | <b>-51,0%</b>    |  |
|   | <b>Payback (Años)</b>                       |                   |                      |                   |                   |                         |                 |                   |                         |                 | <b>3,00</b>      |  |

ANEXO A: CALCULO ANÁLISIS COSTO DE CICLO DE VIDA

**Tabla A 10: Análisis Costo Ciclo de Vida caso Vivienda 1 Base V1.M3.T1.PV1. (INF-24,6) y Vivienda 1 Propuesta V1.M3.T1.PV1. (INF-8)**

| Tasa descuento  | 6%                                     |                          |                      |                          |                   | BASE                    |                |                   | MEJORADO                |                |                  |
|---|--|--------------------------|----------------------|--------------------------|-------------------|-------------------------|----------------|-------------------|-------------------------|----------------|------------------|
| Periodo estudio   | 20                                     |                          |                      |                          |                   | V1.M3.T1.PV1.(INF-24,6) |                |                   | V1.M3.T1.PV1.(INF-8)    |                |                  |
| Inversión inicial   | Elemento                               | Tipo de aislación        | Espesor              | Tipo de aislación        | Espesor           | Costo UF/m <sup>2</sup> | Costo estimado | Valor presente    | Costo UF/m <sup>2</sup> | Costo estimado | Valor presente   |
|   | Vanos                                  | Aluminio                 | V. Simple            | Aluminio                 | DVH               | 2,17                    | 16,35 UF       | 16,35 UF          | 3,12                    | 24,53 UF       | 24,53 UF         |
|   | Techo                                  | L.V                      | 100                  | L.V                      | 120               | 0,16                    | 7,87 UF        | 7,87 UF           | 0,17                    | 8,42 UF        | 8,42 UF          |
|   | Muros piso 1                           | EPS 10 kg/m <sup>3</sup> | 40                   | EPS 10 kg/m <sup>3</sup> | 120               | 0,07                    | 4,09 UF        | 4,09 UF           | 0,27                    | 16,89 UF       | 16,89 UF         |
|   | Muros piso 2                           | EPS 10 kg/m <sup>3</sup> | 40                   | EPS 10 kg/m <sup>3</sup> | 120               | 0,00                    | 0,00 UF        | 0,00 UF           | 0,00                    | 0,00 UF        | 0,00 UF          |
|   | Piso                                   | -                        | 0                    | XPS                      | 50                | 0,14                    | 7,16 UF        | 7,16 UF           | 0,08                    | 4,13 UF        | 4,13 UF          |
|   | Sellado env.                           | -                        | -                    | -                        | -                 | 0,00                    | 0,00 UF        | 0,00 UF           | 0,06                    | 4,75 UF        | 4,75 UF          |
|   | Sist. Ventilación                      | -                        | -                    | -                        | -                 | 0,00                    | 0,00 UF        | 0,00 UF           | 13,46                   | 13,46 UF       | 13,46 UF         |
|   | E. Fachada                             | -                        | -                    | -                        | -                 | 0,00                    | 0,00 UF        | 0,00 UF           | 1,23                    | 1,23 UF        | 1,23 UF          |
| <b>TOTAL COSTOS INICIALES Y COLATERALES</b>                 |  |                          |                      |                          |                   | <b>35,47 UF</b>         |                |                   | <b>73,40 UF</b>         |                |                  |
| <b>DIFERENCIA COSTOS DE INVERSIÓN(Mejorado-Base)</b>        |  |                          |                      |                          |                   |                         |                |                   | <b>37,93 UF</b>         |                |                  |
| Costos de Operación   | Instalaciones                          | Tipo de energía          | Tasa de escalamiento | Coste UF/kWh             | UF/m <sup>2</sup> | UF/año                  | UF/20años      | UF/m <sup>2</sup> | UF/año                  | UF/20años      |                  |
|   | Calefacción                            | Electricidad             | 5,34%                | 0,00440                  | 0,61              | 25,76 UF                | 482,78         | 0,29              | 12,27 UF                | 229,97 UF      |                  |
| <b>TOTAL COSTOS ANUALES CONSUMO ENERGÉTICO</b>              |  |                          |                      |                          |                   | <b>25,76 UF</b>         |                | <b>482,78</b>     | <b>12,27 UF</b>         |                | <b>229,97 UF</b> |
| <b>DIFERENCIA COSTOS CONSUMO ENERGÉTICO (Base-Mejorado)</b> |  |                          |                      |                          |                   |                         |                |                   | 13,49 UF                |                | 252,81 UF        |
| LCCA  | <b>COSTOS DE CICLO DE VIDA (LCCA)</b>  |                          |                      |                          |                   |                         |                | <b>518,26 UF</b>  |                         |                | <b>303,37 UF</b> |
|   | <b>Diferencia LCCA (Mejorado-Base)</b> |                          |                      |                          |                   |                         |                |                   |                         |                | -214,89          |
|   | <b>Variación LCCA (Mejorado-Base)</b>  |                          |                      |                          |                   |                         |                |                   |                         |                | -41,5%           |
|   | <b>Payback (Años)</b>                  |                          |                      |                          |                   |                         |                |                   |                         |                | 3,00             |

ANEXO A: CALCULO ANÁLISIS COSTO DE CICLO DE VIDA

**Tabla A 11: Análisis Costo Ciclo de Vida caso Vivienda 1 Base V1.M4.T1.PV1. (INF-24,6) y Vivienda 1 Propuesta V1.M4.T1.PV1. (INF-5)**

| Tasa descuento  | 6%                                     |                          |                      |                          |                   | BASE                    |                |                   | MEJORADO                |                  |                  |
|---|--|--------------------------|----------------------|--------------------------|-------------------|-------------------------|----------------|-------------------|-------------------------|------------------|------------------|
| Periodo estudio   | 20                                     |                          |                      |                          |                   | V1.M4.T1.PV1.(INF-24,6) |                |                   | V1.M4.T1.PV1.(INF-5)    |                  |                  |
| Inversión inicial   | Elemento                               | Tipo de aislación        | Espesor              | Tipo de aislación        | Espesor           | Costo UF/m <sup>2</sup> | Costo estimado | Valor presente    | Costo UF/m <sup>2</sup> | Costo estimado   | Valor presente   |
|   | Vanos                                  | Aluminio                 | V. Simple            | Pvc                      | DVH               | 2,17                    | 16,35 UF       | 16,35 UF          | 3,59                    | 28,08 UF         | 28,08 UF         |
|   | Techo                                  | L.V                      | 100                  | L.V                      | 120               | 0,16                    | 7,87 UF        | 7,87 UF           | 0,17                    | 8,42 UF          | 8,42 UF          |
|   | Muros piso 1                           | EPS 15 kg/m <sup>3</sup> | 56                   | EPS 15 kg/m <sup>3</sup> | 105               | 0,07                    | 4,69 UF        | 4,69 UF           | 0,26                    | 16,36 UF         | 16,36 UF         |
|   | Muros piso 2                           | EPS 15 kg/m <sup>3</sup> | 56                   | EPS 15 kg/m <sup>3</sup> | 105               | 0,00                    | 0,00 UF        | 0,00 UF           | 0,00                    | 0,00 UF          | 0,00 UF          |
|   | Piso                                   | -                        | 0                    | XPS                      | 50                | 0,14                    | 7,16 UF        | 7,16 UF           | 0,08                    | 4,13 UF          | 4,13 UF          |
|   | Sellado env.                           | -                        | -                    | -                        | -                 | 0,00                    | 0,00 UF        | 0,00 UF           | 0,06                    | 4,75 UF          | 4,75 UF          |
|   | Sist. Ventilación                      | -                        | -                    | -                        | -                 | 0,00                    | 0,00 UF        | 0,00 UF           | 13,46                   | 13,46 UF         | 13,46 UF         |
|   | E. Fachada                             | -                        | -                    | -                        | -                 | 0,00                    | 0,00 UF        | 0,00 UF           | 1,23                    | 1,23 UF          | 1,23 UF          |
| <b>TOTAL COSTOS INICIALES Y COLATERALES</b>                 |  |                          |                      |                          |                   | <b>36,08 UF</b>         |                |                   | <b>76,43 UF</b>         |                  |                  |
| <b>DIFERENCIA COSTOS DE INVERSIÓN(Mejorado-Base)</b>        |  |                          |                      |                          |                   |                         |                |                   | <b>40,35 UF</b>         |                  |                  |
| Costos de Operación   | Instalaciones                          | Tipo de energía          | Tasa de escalamiento | Coste UF/kWh             | UF/m <sup>2</sup> | UF/año                  | UF/20años      | UF/m <sup>2</sup> | UF/año                  | UF/20años        |                  |
|   | Calefacción                            | Electricidad             | 5,34%                | 0,00440                  | 0,57              | 24,05 UF                | 450,72         | 0,22              | 9,46 UF                 | 177,23 UF        |                  |
| <b>TOTAL COSTOS ANUALES CONSUMO ENERGÉTICO</b>              |  |                          |                      |                          |                   | <b>24,05 UF</b>         | <b>450,72</b>  |                   | <b>9,46 UF</b>          | <b>177,23 UF</b> |                  |
| <b>DIFERENCIA COSTOS CONSUMO ENERGÉTICO (Base-Mejorado)</b> |  |                          |                      |                          |                   |                         |                |                   | 14,59 UF                | 273,50 UF        |                  |
| LCCA  | <b>COSTOS DE CICLO DE VIDA (LCCA)</b>  |                          |                      |                          |                   |                         |                | <b>486,80 UF</b>  |                         |                  | <b>253,65 UF</b> |
|   | <b>Diferencia LCCA (Mejorado-Base)</b> |                          |                      |                          |                   |                         |                |                   |                         |                  | -233,14          |
|   | <b>Variación LCCA (Mejorado-Base)</b>  |                          |                      |                          |                   |                         |                |                   |                         |                  | -47,9%           |
|   | <b>Payback (Años)</b>                  |                          |                      |                          |                   |                         |                |                   |                         |                  | 3,00             |

ANEXO A: CALCULO ANÁLISIS COSTO DE CICLO DE VIDA

**Tabla A 12: Análisis Costo Ciclo de Vida caso Vivienda 1 Base V1.M4.T1.PV1. (INF-24,6) y Vivienda 1 Propuesta V1.M4.T1.PV1. (INF-8)**

| Tasa descuento  | 6%                                     |                          |                      |                          |                   | BASE                    |                |                   | MEJORADO                |                |                  |
|---|--|--------------------------|----------------------|--------------------------|-------------------|-------------------------|----------------|-------------------|-------------------------|----------------|------------------|
| Periodo estudio   | 20                                     |                          |                      |                          |                   | V1.M4.T1.PV1.(INF-24,6) |                |                   | V1.M4.T1.PV1.(INF-8)    |                |                  |
| Inversión inicial   | Elemento                               | Tipo de aislación        | Espesor              | Tipo de aislación        | Espesor           | Costo UF/m <sup>2</sup> | Costo estimado | Valor presente    | Costo UF/m <sup>2</sup> | Costo estimado | Valor presente   |
|   | Vanos                                  | Aluminio                 | V. Simple            | Aluminio                 | DVH               | 2,17                    | 16,35 UF       | 16,35 UF          | 3,12                    | 24,53 UF       | 24,53 UF         |
|   | Techo                                  | L.V                      | 100                  | L.V                      | 120               | 0,16                    | 7,87 UF        | 7,87 UF           | 0,17                    | 8,42 UF        | 8,42 UF          |
|   | Muros piso 1                           | EPS 15 kg/m <sup>3</sup> | 56                   | EPS 15 kg/m <sup>3</sup> | 105               | 0,07                    | 4,69 UF        | 4,69 UF           | 0,26                    | 16,36 UF       | 16,36 UF         |
|   | Muros piso 2                           | EPS 15 kg/m <sup>3</sup> | 56                   | EPS 15 kg/m <sup>3</sup> | 105               | 0,00                    | 0,00 UF        | 0,00 UF           | 0,00                    | 0,00 UF        | 0,00 UF          |
|   | Piso                                   | -                        | 0                    | XPS                      | 50                | 0,14                    | 7,16 UF        | 7,16 UF           | 0,08                    | 4,13 UF        | 4,13 UF          |
|   | Sellado env. Sist.                     | -                        | -                    | -                        | -                 | 0,00                    | 0,00 UF        | 0,00 UF           | 0,06                    | 4,75 UF        | 4,75 UF          |
|   | Ventilación                            | -                        | -                    | -                        | -                 | 0,00                    | 0,00 UF        | 0,00 UF           | 13,46                   | 13,46 UF       | 13,46 UF         |
|   | E. Fachada                             | -                        | -                    | -                        | -                 | 0,00                    | 0,00 UF        | 0,00 UF           | 1,23                    | 1,23 UF        | 1,23 UF          |
| <b>TOTAL COSTOS INICIALES Y COLATERALES</b>                 |  |                          |                      |                          |                   | <b>36,08 UF</b>         |                |                   | <b>72,87 UF</b>         |                |                  |
| <b>DIFERENCIA COSTOS DE INVERSIÓN(Mejorado-Base)</b>        |  |                          |                      |                          |                   |                         |                |                   | <b>36,80 UF</b>         |                |                  |
| Costos de Operación   | Instalaciones                          | Tipo de energía          | Tasa de escalamiento | Coste UF/kWh             | UF/m <sup>2</sup> | UF/año                  | UF/20años      | UF/m <sup>2</sup> | UF/año                  | UF/20años      |                  |
|   | Calefacción                            | Electricidad             | 5,34%                | 0,00440                  | 0,57              | 24,05 UF                | 450,72         | 0,29              | 12,27 UF                | 229,97 UF      |                  |
| <b>TOTAL COSTOS ANUALES CONSUMO ENERGÉTICO</b>              |  |                          |                      |                          |                   | <b>24,05 UF</b>         |                | <b>450,72</b>     | <b>12,27 UF</b>         |                | <b>229,97 UF</b> |
| <b>DIFERENCIA COSTOS CONSUMO ENERGÉTICO (Base-Mejorado)</b> |  |                          |                      |                          |                   |                         |                |                   | <b>11,78 UF</b>         |                | <b>220,75 UF</b> |
| LCCA  | <b>COSTOS DE CICLO DE VIDA (LCCA)</b>  |                          |                      |                          |                   |                         |                | <b>486,80 UF</b>  |                         |                | <b>302,84 UF</b> |
|   | <b>Diferencia LCCA (Mejorado-Base)</b> |                          |                      |                          |                   |                         |                |                   |                         |                | -183,96          |
|   | <b>Variación LCCA (Mejorado-Base)</b>  |                          |                      |                          |                   |                         |                |                   |                         |                | -37,8%           |
|   | <b>Payback (Años)</b>                  |                          |                      |                          |                   |                         |                |                   |                         |                | 4,00             |

ANEXO A: CALCULO ANÁLISIS COSTO DE CICLO DE VIDA

**Tabla A 13: Análisis Costo Ciclo de Vida caso Vivienda 2 Base V2.M1.T1.PC6. (INF-24,6) y Vivienda 2 Propuesta V2.M1.T1.PC6. (INF-5)**

| Tasa descuento  | 6%                                     |                   |                      |                   |                   | BASE                    |                |                   | MEJORADO                |                  |                |
|---|--|-------------------|----------------------|-------------------|-------------------|-------------------------|----------------|-------------------|-------------------------|------------------|----------------|
| Periodo estudio   | 20                                     |                   |                      |                   |                   | V2.M1.T1.PC6.(INF-24,6) |                |                   | V2.M1.T1.PC6.(INF-5)    |                  |                |
| Inversión inicial   | Elemento                               | Tipo de aislación | Espesor              | Tipo de aislación | Espesor           | Costo UF/m <sup>2</sup> | Costo estimado | Valor presente    | Costo UF/m <sup>2</sup> | Costo estimado   | Valor presente |
|   | Vanos                                  | Aluminio          | V. Simple            | Pvc               | DVH               | 2,07                    | 11,12 UF       | 11,12 UF          | 3,90                    | 21,98 UF         | 21,98 UF       |
|   | Techo                                  | L.V               | 100                  | L.V               | 120               | 0,16                    | 4,19 UF        | 4,19 UF           | 0,17                    | 4,48 UF          | 4,48 UF        |
|   | Muros piso 1                           | L.V               | 40                   | L.V               | 110               | 0,07                    | 3,66 UF        | 3,66 UF           | 0,26                    | 12,56 UF         | 12,56 UF       |
|   | Muros piso 2                           | L.V               | 40                   | L.V               | 110               | 0,07                    | 3,33 UF        | 3,33 UF           | 0,26                    | 11,45 UF         | 11,45 UF       |
|   | Piso                                   | -                 | 0                    | XPS               | 75                | 0,00                    | 0,00 UF        | 0,00 UF           | 0,62                    | 16,72 UF         | 16,72 UF       |
|   | Sellado env.                           | -                 | -                    | -                 | -                 | 0,00                    | 0,00 UF        | 0,00 UF           | 0,06                    | 4,44 UF          | 4,44 UF        |
|   | Sist. Ventilación                      | -                 | -                    | -                 | -                 | 0,00                    | 0,00 UF        | 0,00 UF           | 14,99                   | 14,99 UF         | 14,99 UF       |
|   | E. Fachada                             | -                 | -                    | -                 | -                 | 0,00                    | 0,00 UF        | 0,00 UF           | 1,23                    | 1,23 UF          | 1,23 UF        |
| <b>TOTAL COSTOS INICIALES Y COLATERALES</b>                 |  |                   |                      |                   |                   |                         |                | <b>22,30 UF</b>   | <b>87,86 UF</b>         |                  |                |
| <b>DIFERENCIA COSTOS DE INVERSIÓN(Mejorado-Base)</b>        |  |                   |                      |                   |                   |                         |                |                   | <b>65,55 UF</b>         |                  |                |
| Costos de Operación   | Instalaciones                          | Tipo de energía   | Tasa de escalamiento | Coste UF/kWh      | UF/m <sup>2</sup> | UF/año                  | UF/20años      | UF/m <sup>2</sup> | UF/año                  | UF/20años        |                |
|   | Calefacción                            | Electricidad      | 5,34%                | 0,00440           | 0,62              | 22,60 UF                | 423,65         | 0,12              | 4,46 UF                 | 83,59 UF         |                |
| <b>TOTAL COSTOS ANUALES CONSUMO ENERGÉTICO</b>              |  |                   |                      |                   |                   | <b>22,60 UF</b>         | <b>423,65</b>  |                   | <b>4,46 UF</b>          | <b>83,59 UF</b>  |                |
| <b>DIFERENCIA COSTOS CONSUMO ENERGÉTICO (Base-Mejorado)</b> |  |                   |                      |                   |                   |                         |                |                   | <b>18,14 UF</b>         | <b>340,07 UF</b> |                |
| LCCA  | <b>COSTOS DE CICLO DE VIDA (LCCA)</b>  |                   |                      |                   |                   |                         |                | <b>445,95 UF</b>  | <b>171,44 UF</b>        |                  |                |
|   | <b>Diferencia LCCA (Mejorado-Base)</b> |                   |                      |                   |                   |                         |                |                   | <b>-274,51</b>          |                  |                |
|   | <b>Variación LCCA (Mejorado-Base)</b>  |                   |                      |                   |                   |                         |                |                   | <b>-61,6%</b>           |                  |                |
|   | <b>Payback (Años)</b>                  |                   |                      |                   |                   |                         |                |                   | <b>4,00</b>             |                  |                |

ANEXO A: CALCULO ANÁLISIS COSTO DE CICLO DE VIDA

**Tabla A 14: Análisis Costo Ciclo de Vida caso Vivienda 2 Base V2.M1.T1.PC6. (INF-24,6) y Vivienda 2 Propuesta V2.M1.T1.PC6. (INF-8)**

| Tasa descuento  | 6%                                     |                   |                      |                   |                   | BASE                    |                |                   | MEJORADO                |                           |                  |  |
|---|--|-------------------|----------------------|-------------------|-------------------|-------------------------|----------------|-------------------|-------------------------|---------------------------|------------------|--|
| Periodo estudio   | 20                                     |                   |                      |                   |                   | V2.M1.T1.PC6.(INF-24,6) |                |                   | V2.M1.T1.PC6.(INF-8)    |                           |                  |  |
| Inversión inicial   | Elemento                               | Tipo de aislación | Espesor              | Tipo de aislación | Espesor           | Costo UF/m <sup>2</sup> | Costo estimado | Valor presente    | Costo UF/m <sup>2</sup> | Costo estimado            | Valor presente   |  |
|   | Vanos                                  | Aluminio          | V. Simple            | Aluminio          | DVH               | 2,07                    | 11,12 UF       | 11,12 UF          | 3,32                    | 18,89 UF                  | 18,89 UF         |  |
|   | Techo                                  | L.V               | 100                  | L.V               | 120               | 0,16                    | 4,19 UF        | 4,19 UF           | 0,17                    | 4,48 UF                   | 4,48 UF          |  |
|   | Muros piso 1                           | L.V               | 40                   | L.V               | 110               | 0,07                    | 3,66 UF        | 3,66 UF           | 0,26                    | 12,56 UF                  | 12,56 UF         |  |
|   | Muros piso 2                           | L.V               | 40                   | L.V               | 110               | 0,07                    | 3,33 UF        | 3,33 UF           | 0,26                    | 11,45 UF                  | 11,45 UF         |  |
|   | Piso                                   | -                 | 0                    | XPS               | 75                | 0,00                    | 0,00 UF        | 0,00 UF           | 0,62                    | 16,72 UF                  | 16,72 UF         |  |
|   | Sellado env.                           | -                 | -                    | -                 | -                 | 0,00                    | 0,00 UF        | 0,00 UF           | 0,06                    | 4,44 UF                   | 4,44 UF          |  |
|   | Sist. Ventilación                      | -                 | -                    | -                 | -                 | 0,00                    | 0,00 UF        | 0,00 UF           | 14,99                   | 14,99 UF                  | 14,99 UF         |  |
|   | E. Fachada                             | -                 | -                    | -                 | -                 | 0,00                    | 0,00 UF        | 0,00 UF           | 1,23                    | 1,23 UF                   | 1,23 UF          |  |
| <b>TOTAL COSTOS INICIALES Y COLATERALES</b>                 |  |                   |                      |                   |                   | <b>22,30 UF</b>         |                |                   | <b>84,76 UF</b>         |                           |                  |  |
| <b>DIFERENCIA COSTOS DE INVERSIÓN(Mejorado-Base)</b>        |  |                   |                      |                   |                   |                         |                |                   | <b>62,46 UF</b>         |                           |                  |  |
| Costos de Operación   | Instalaciones                          | Tipo de energía   | Tasa de escalamiento | Coste UF/kWh      | UF/m <sup>2</sup> | UF/año                  | UF/20años      | UF/m <sup>2</sup> | UF/año                  | UF/20años                 |                  |  |
|   | Calefacción                            | Electricidad      | 5,34%                | 0,00440           | 0,62              | 22,60 UF                | 423,65         | 0,18              | 6,69 UF                 | 125,35 UF                 |                  |  |
| <b>TOTAL COSTOS ANUALES CONSUMO ENERGÉTICO</b>              |  |                   |                      |                   |                   | <b>22,60 UF</b>         |                | <b>423,65</b>     |                         | <b>6,69 UF 125,35 UF</b>  |                  |  |
| <b>DIFERENCIA COSTOS CONSUMO ENERGÉTICO (Base-Mejorado)</b> |  |                   |                      |                   |                   |                         |                |                   |                         | <b>15,92 UF 298,30 UF</b> |                  |  |
| LCCA  | <b>COSTOS DE CICLO DE VIDA (LCCA)</b>  |                   |                      |                   |                   |                         |                | <b>445,95 UF</b>  |                         |                           | <b>210,11 UF</b> |  |
|   | <b>Diferencia LCCA (Mejorado-Base)</b> |                   |                      |                   |                   |                         |                |                   |                         |                           | <b>-235,84</b>   |  |
|   | <b>Variación LCCA (Mejorado-Base)</b>  |                   |                      |                   |                   |                         |                |                   |                         |                           | <b>-52,9%</b>    |  |
|   | <b>Payback (Años)</b>                  |                   |                      |                   |                   |                         |                |                   |                         |                           | <b>4,00</b>      |  |

ANEXO A: CALCULO ANÁLISIS COSTO DE CICLO DE VIDA

**Tabla A 15: Análisis Costo Ciclo de Vida caso Vivienda 2 Base V2.M3.T1.PC6. (INF-24,6) y Vivienda 2 Propuesta V2.M3.T1.PC6. (INF-5)**

| Tasa descuento  | 6%                                     |                   |                      |                   |                   | BASE                    |                |                   | MEJORADO                |                                     |                  |  |
|---|--|-------------------|----------------------|-------------------|-------------------|-------------------------|----------------|-------------------|-------------------------|-------------------------------------|------------------|--|
| Periodo estudio   | 20                                     |                   |                      |                   |                   | V2.M3.T1.PC6.(INF-24,6) |                |                   | V2.M3.T1.PC6.(INF-5)    |                                     |                  |  |
| Inversión inicial   | Elemento                               | Tipo de aislación | Espesor              | Tipo de aislación | Espesor           | Costo UF/m <sup>2</sup> | Costo estimado | Valor presente    | Costo UF/m <sup>2</sup> | Costo estimado                      | Valor presente   |  |
|   | Vanos                                  | Aluminio          | V. Simple            | Pvc               | DVH               | 2,07                    | 11,12 UF       | 11,12 UF          | 3,90                    | 21,98 UF                            | 21,98 UF         |  |
|   | Techo                                  | L.V               | 100                  | L.V               | 120               | 0,16                    | 4,19 UF        | 4,19 UF           | 0,17                    | 4,48 UF                             | 4,48 UF          |  |
|   | Muros piso 1                           | EPS 10 kg/m3      | 50                   | EPS 10 kg/m3      | 120               | 0,08                    | 3,88 UF        | 3,88 UF           | 0,17                    | 8,49 UF                             | 8,49 UF          |  |
|   | Muros piso 2                           | EPS 10 kg/m3      | 50                   | EPS 10 kg/m3      | 120               | 0,08                    | 3,54 UF        | 3,54 UF           | 0,17                    | 7,75 UF                             | 7,75 UF          |  |
|   | Piso                                   | -                 | 0                    | XPS               | 75                | 0,00                    | 0,00 UF        | 0,00 UF           | 0,62                    | 16,72 UF                            | 16,72 UF         |  |
|   | Sellado env.                           | -                 | -                    | -                 | -                 | 0,00                    | 0,00 UF        | 0,00 UF           | 0,06                    | 4,44 UF                             | 4,44 UF          |  |
|   | Sist. Ventilación                      | -                 | -                    | -                 | -                 | 0,00                    | 0,00 UF        | 0,00 UF           | 14,99                   | 14,99 UF                            | 14,99 UF         |  |
|   | E. Fachada                             | -                 | -                    | -                 | -                 | 0,00                    | 0,00 UF        | 0,00 UF           | 1,23                    | 1,23 UF                             | 1,23 UF          |  |
| <b>TOTAL COSTOS INICIALES Y COLATERALES</b>                 |  |                   |                      |                   |                   | <b>22,73 UF</b>         |                |                   | <b>80,08 UF</b>         |                                     |                  |  |
| <b>DIFERENCIA COSTOS DE INVERSIÓN(Mejorado-Base)</b>        |  |                   |                      |                   |                   |                         |                |                   | <b>57,36 UF</b>         |                                     |                  |  |
| Costos de Operación   | Instalaciones                          | Tipo de energía   | Tasa de escalamiento | Coste UF/kWh      | UF/m <sup>2</sup> | UF/año                  | UF/20años      | UF/m <sup>2</sup> | UF/año                  | UF/20años                           |                  |  |
|   | Calefacción                            | Electricidad      | 5,34%                | 0,00440           | 0,61              | 22,26 UF                | 417,14         | 0,12              | 4,46 UF                 | 83,53 UF                            |                  |  |
| <b>TOTAL COSTOS ANUALES CONSUMO ENERGÉTICO</b>              |  |                   |                      |                   |                   | <b>22,26 UF</b>         |                | <b>417,14</b>     |                         | <b>4,46 UF</b><br><b>83,53 UF</b>   |                  |  |
| <b>DIFERENCIA COSTOS CONSUMO ENERGÉTICO (Base-Mejorado)</b> |  |                   |                      |                   |                   |                         |                |                   |                         | <b>17,80 UF</b><br><b>333,61 UF</b> |                  |  |
| LCCA  | <b>COSTOS DE CICLO DE VIDA (LCCA)</b>  |                   |                      |                   |                   |                         |                | <b>439,87 UF</b>  |                         |                                     | <b>163,62 UF</b> |  |
|   | <b>Diferencia LCCA (Mejorado-Base)</b> |                   |                      |                   |                   |                         |                |                   |                         |                                     | <b>-276,26</b>   |  |
|   | <b>Variación LCCA (Mejorado-Base)</b>  |                   |                      |                   |                   |                         |                |                   |                         |                                     | <b>-62,8%</b>    |  |
|   | <b>Payback (Años)</b>                  |                   |                      |                   |                   |                         |                |                   |                         |                                     | <b>4,00</b>      |  |

ANEXO A: CALCULO ANÁLISIS COSTO DE CICLO DE VIDA

**Tabla A 16: Análisis Costo Ciclo de Vida caso Vivienda 2 Base V2.M3.T1.PC6. (INF-24,6) y Vivienda 2 Propuesta V2.M3.T1.PC6. (INF-8)**

| Tasa descuento  | 6%                                     |                          |                      |                          |                   | BASE                    |                |                   | MEJORADO                |                           |                  |  |
|---|--|--------------------------|----------------------|--------------------------|-------------------|-------------------------|----------------|-------------------|-------------------------|---------------------------|------------------|--|
| Periodo estudio   | 20                                     |                          |                      |                          |                   | V2.M3.T1.PC6.(INF-24,6) |                |                   | V2.M3.T1.PC6.(INF-8)    |                           |                  |  |
| Inversión inicial   | Elemento                               | Tipo de aislación        | Espesor              | Tipo de aislación        | Espesor           | Costo UF/m <sup>2</sup> | Costo estimado | Valor presente    | Costo UF/m <sup>2</sup> | Costo estimado            | Valor presente   |  |
|   | Vanos                                  | Aluminio                 | V. Simple            | Aluminio                 | DVH               | 2,07                    | 11,12 UF       | 11,12 UF          | 3,32                    | 18,89 UF                  | 18,89 UF         |  |
|   | Techo                                  | L.V                      | 100                  | L.V                      | 120               | 0,16                    | 4,19 UF        | 4,19 UF           | 0,17                    | 4,48 UF                   | 4,48 UF          |  |
|   | Muros piso 1                           | EPS 10 kg/m <sup>3</sup> | 50                   | EPS 10 kg/m <sup>3</sup> | 120               | 0,08                    | 3,88 UF        | 3,88 UF           | 0,17                    | 8,49 UF                   | 8,49 UF          |  |
|   | Muros piso 2                           | EPS 10 kg/m <sup>3</sup> | 50                   | EPS 10 kg/m <sup>3</sup> | 120               | 0,08                    | 3,54 UF        | 3,54 UF           | 0,17                    | 7,75 UF                   | 7,75 UF          |  |
|   | Piso                                   | -                        | 0                    | XPS                      | 75                | 0,00                    | 0,00 UF        | 0,00 UF           | 0,62                    | 16,72 UF                  | 16,72 UF         |  |
|   | Sellado env.                           | -                        | -                    | -                        | -                 | 0,00                    | 0,00 UF        | 0,00 UF           | 0,06                    | 4,44 UF                   | 4,44 UF          |  |
|   | Sist. Ventilación                      | -                        | -                    | -                        | -                 | 0,00                    | 0,00 UF        | 0,00 UF           | 14,99                   | 14,99 UF                  | 14,99 UF         |  |
|   | E. Fachada                             | -                        | -                    | -                        | -                 | 0,00                    | 0,00 UF        | 0,00 UF           | 1,23                    | 1,23 UF                   | 1,23 UF          |  |
| <b>TOTAL COSTOS INICIALES Y COLATERALES</b>                 |  |                          |                      |                          |                   | <b>22,73 UF</b>         |                |                   | <b>76,99 UF</b>         |                           |                  |  |
| <b>DIFERENCIA COSTOS DE INVERSIÓN(Mejorado-Base)</b>        |  |                          |                      |                          |                   |                         |                |                   | <b>54,26 UF</b>         |                           |                  |  |
| Costos de Operación   | Instalaciones                          | Tipo de energía          | Tasa de escalamiento | Coste UF/kWh             | UF/m <sup>2</sup> | UF/año                  | UF/20años      | UF/m <sup>2</sup> | UF/año                  | UF/20años                 |                  |  |
|   | Calefacción                            | Electricidad             | 5,34%                | 0,00440                  | 0,61              | 22,26 UF                | 417,14         | 0,18              | 6,68 UF                 | 125,29 UF                 |                  |  |
| <b>TOTAL COSTOS ANUALES CONSUMO ENERGÉTICO</b>              |  |                          |                      |                          |                   | <b>22,26 UF</b>         |                | <b>417,14</b>     |                         | <b>6,68 UF 125,29 UF</b>  |                  |  |
| <b>DIFERENCIA COSTOS CONSUMO ENERGÉTICO (Base-Mejorado)</b> |  |                          |                      |                          |                   |                         |                |                   |                         | <b>15,57 UF 291,85 UF</b> |                  |  |
| LCCA  | <b>COSTOS DE CICLO DE VIDA (LCCA)</b>  |                          |                      |                          |                   |                         |                | <b>439,87 UF</b>  |                         |                           | <b>202,28 UF</b> |  |
|   | <b>Diferencia LCCA (Mejorado-Base)</b> |                          |                      |                          |                   |                         |                |                   |                         |                           | <b>-237,59</b>   |  |
|   | <b>Variación LCCA (Mejorado-Base)</b>  |                          |                      |                          |                   |                         |                |                   |                         |                           | <b>-54,0%</b>    |  |
|   | <b>Payback (Años)</b>                  |                          |                      |                          |                   |                         |                |                   |                         |                           | <b>4,00</b>      |  |

**Tabla A 17: Análisis Costo Ciclo de Vida caso Vivienda 2 Base V2.M1.T2.PC6. (INF-24,6) y Vivienda 2 Propuesta V2.M1.T2.PC6. (INF-5)**

| Tasa descuento  | 6%  |                   |                      |                   |                   | BASE                    |                 |                   | MEJORADO                |                           |                  |                |  |
|---|---|-------------------|----------------------|-------------------|-------------------|-------------------------|-----------------|-------------------|-------------------------|---------------------------|------------------|----------------|--|
| Periodo estudio   | 20  |                   |                      |                   |                   | V2.M1.T2.PC6.(INF-24,6) |                 |                   | V2.M1.T2.PC6.(INF-5)    |                           |                  |                |  |
| Inversión inicial   | Elemento                                    | Tipo de aislación | Espesor              | Tipo de aislación | Espesor           | Costo UF/m <sup>2</sup> | Costo estimado  | Valor presente    | Costo UF/m <sup>2</sup> | Costo estimado            | Valor presente   |                |  |
|   | Vanos                                       | Aluminio          | V. Simple            | Pvc               | DVH               | 2,07                    | 11,12 UF        | 11,12 UF          | 3,90                    | 21,98 UF                  | 21,98 UF         |                |  |
|   | Techo                                       | L.M               | 100                  | L.M               | 100               | 0,16                    | 4,21 UF         | 4,21 UF           | 0,16                    | 4,21 UF                   | 4,21 UF          |                |  |
|   | Muros piso 1                                | L.V               | 40                   | L.V               | 110               | 0,07                    | 3,66 UF         | 3,66 UF           | 0,26                    | 12,56 UF                  | 12,56 UF         |                |  |
|   | Muros piso 2                                | L.V               | 40                   | L.V               | 110               | 0,07                    | 3,33 UF         | 3,33 UF           | 0,26                    | 11,45 UF                  | 11,45 UF         |                |  |
|   | Piso  | -                 | 0                    | XPS               | 75                | 0,00                    | 0,00 UF         | 0,00 UF           | 0,62                    | 16,72 UF                  | 16,72 UF         |                |  |
|   | Sellado env.                                | -                 | -                    | -                 | -                 | 0,00                    | 0,00 UF         | 0,00 UF           | 0,06                    | 4,44 UF                   | 4,44 UF          |                |  |
|   | Sist. Ventilación                           | -                 | -                    | -                 | -                 | 0,00                    | 0,00 UF         | 0,00 UF           | 14,99                   | 14,99 UF                  | 14,99 UF         |                |  |
|   | E. Fachada                                  | -                 | -                    | -                 | -                 | 0,00                    | 0,00 UF         | 0,00 UF           | 1,23                    | 1,23 UF                   | 1,23 UF          |                |  |
|   | <b>TOTAL COSTOS INICIALES Y COLATERALES</b> |                   |                      |                   |                   |                         | <b>22,32 UF</b> |                   |                         | <b>87,59 UF</b>           |                  |                |  |
| <b>DIFERENCIA COSTOS DE INVERSIÓN(Mejorado-Base)</b>        |   |                   |                      |                   |                   |                         |                 |                   | <b>65,26 UF</b>         |                           |                  |                |  |
| Costos de Operación   | Instalaciones                               | Tipo de energía   | Tasa de escalamiento | Coste UF/kWh      | UF/m <sup>2</sup> | UF/año                  | UF/20años       | UF/m <sup>2</sup> | UF/año                  | UF/20años                 |                  |                |  |
|   | Calefacción                                 | Electricidad      | 5,34%                | 0,00440           | 0,61              | 22,45 UF                | 420,77          | 0,12              | 4,46 UF                 | 83,62 UF                  |                  |                |  |
| <b>TOTAL COSTOS ANUALES CONSUMO ENERGÉTICO</b>              |   |                   |                      |                   |                   | <b>22,45 UF</b>         |                 | <b>420,77</b>     |                         | <b>4,46 UF 83,62 UF</b>   |                  |                |  |
| <b>DIFERENCIA COSTOS CONSUMO ENERGÉTICO (Base-Mejorado)</b> |   |                   |                      |                   |                   |                         |                 |                   |                         | <b>17,99 UF 337,16 UF</b> |                  |                |  |
| LCCA  | <b>COSTOS DE CICLO DE VIDA (LCCA)</b>       |                   |                      |                   |                   |                         |                 | <b>443,10 UF</b>  |                         |                           | <b>171,20 UF</b> |                |  |
|   | <b>Diferencia LCCA (Mejorado-Base)</b>      |                   |                      |                   |                   |                         |                 |                   |                         |                           |                  | <b>-271,90</b> |  |
|   | <b>Variación LCCA (Mejorado-Base)</b>       |                   |                      |                   |                   |                         |                 |                   |                         |                           |                  | <b>-61,4%</b>  |  |
|   | <b>Payback (Años)</b>                       |                   |                      |                   |                   |                         |                 |                   |                         |                           |                  | <b>4,00</b>    |  |

**Tabla A 18: Análisis Costo Ciclo de Vida caso Vivienda 2 Base V2.M1.T2.PC6. (INF-24,6) y Vivienda 2 Propuesta V2.M1.T2.PC6. (INF-8)**

| Tasa descuento  | 6%  |                   |                      |                   |                   | BASE                    |                 |                   | MEJORADO                |                           |                  |  |
|---|---|-------------------|----------------------|-------------------|-------------------|-------------------------|-----------------|-------------------|-------------------------|---------------------------|------------------|--|
| Periodo estudio   | 20  |                   |                      |                   |                   | V2.M1.T2.PC6.(INF-24,6) |                 |                   | V2.M1.T2.PC6.(INF-8)    |                           |                  |  |
| Inversión inicial   | Elemento                                    | Tipo de aislación | Espesor              | Tipo de aislación | Espesor           | Costo UF/m <sup>2</sup> | Costo estimado  | Valor presente    | Costo UF/m <sup>2</sup> | Costo estimado            | Valor presente   |  |
|   | Vanos                                       | Aluminio          | V. Simple            | Aluminio          | DVH               | 2,07                    | 11,12 UF        | 11,12 UF          | 3,32                    | 18,89 UF                  | 18,89 UF         |  |
|   | Techo                                       | L.M               | 100                  | L.M               | 100               | 0,16                    | 4,21 UF         | 4,21 UF           | 0,16                    | 4,21 UF                   | 4,21 UF          |  |
|   | Muros piso 1                                | L.V               | 40                   | L.V               | 110               | 0,07                    | 3,66 UF         | 3,66 UF           | 0,26                    | 12,56 UF                  | 12,56 UF         |  |
|   | Muros piso 2                                | L.V               | 40                   | L.V               | 110               | 0,07                    | 3,33 UF         | 3,33 UF           | 0,26                    | 11,45 UF                  | 11,45 UF         |  |
|   | Piso  | -                 | 0                    | XPS               | 75                | 0,00                    | 0,00 UF         | 0,00 UF           | 0,62                    | 16,72 UF                  | 16,72 UF         |  |
|   | Sellado env.                                | -                 | -                    | -                 | -                 | 0,00                    | 0,00 UF         | 0,00 UF           | 0,06                    | 4,44 UF                   | 4,44 UF          |  |
|   | Sist. Ventilación                           | -                 | -                    | -                 | -                 | 0,00                    | 0,00 UF         | 0,00 UF           | 14,99                   | 14,99 UF                  | 14,99 UF         |  |
|   | E. Fachada                                  | -                 | -                    | -                 | -                 | 0,00                    | 0,00 UF         | 0,00 UF           | 1,23                    | 1,23 UF                   | 1,23 UF          |  |
|   | <b>TOTAL COSTOS INICIALES Y COLATERALES</b> |                   |                      |                   |                   |                         | <b>22,32 UF</b> |                   |                         | <b>84,49 UF</b>           |                  |  |
| <b>DIFERENCIA COSTOS DE INVERSIÓN(Mejorado-Base)</b>        |   |                   |                      |                   |                   |                         |                 |                   | <b>62,17 UF</b>         |                           |                  |  |
| Costos de Operación   | Instalaciones                               | Tipo de energía   | Tasa de escalamiento | Coste UF/kWh      | UF/m <sup>2</sup> | UF/año                  | UF/20años       | UF/m <sup>2</sup> | UF/año                  | UF/20años                 |                  |  |
|   | Calefacción                                 | Electricidad      | 5,34%                | 0,00440           | 0,61              | 22,45 UF                | 420,77          | 0,18              | 6,69 UF                 | 125,41 UF                 |                  |  |
| <b>TOTAL COSTOS ANUALES CONSUMO ENERGÉTICO</b>              |   |                   |                      |                   |                   | <b>22,45 UF</b>         |                 | <b>420,77</b>     |                         | <b>6,69 UF 125,41 UF</b>  |                  |  |
| <b>DIFERENCIA COSTOS CONSUMO ENERGÉTICO (Base-Mejorado)</b> |   |                   |                      |                   |                   |                         |                 |                   |                         | <b>15,76 UF 295,36 UF</b> |                  |  |
| LCCA  | <b>COSTOS DE CICLO DE VIDA (LCCA)</b>       |                   |                      |                   |                   |                         |                 | <b>443,10 UF</b>  |                         |                           | <b>209,91 UF</b> |  |
|   | <b>Diferencia LCCA (Mejorado-Base)</b>      |                   |                      |                   |                   |                         |                 |                   |                         |                           | <b>-233,19</b>   |  |
|   | <b>Variación LCCA (Mejorado-Base)</b>       |                   |                      |                   |                   |                         |                 |                   |                         |                           | <b>-52,6%</b>    |  |
|   | <b>Payback (Años)</b>                       |                   |                      |                   |                   |                         |                 |                   |                         |                           | <b>5,00</b>      |  |

ANEXO A: CALCULO ANÁLISIS COSTO DE CICLO DE VIDA

**Tabla A 19: Análisis Costo Ciclo de Vida caso Vivienda 2 Base V2.M3.T.PC6. (INF-24,6) y Vivienda 2 Propuesta V2.M3.T2.PC6. (INF-5)**

| Tasa descuento  | 6%                                     |                   |                      |                   |                   | BASE                    |                |                   | MEJORADO                |                 |                  |
|---|--|-------------------|----------------------|-------------------|-------------------|-------------------------|----------------|-------------------|-------------------------|-----------------|------------------|
| Periodo estudio   | 20                                     |                   |                      |                   |                   | V2.M3.T2.PC6.(INF-24,6) |                |                   | V2.M3.T2.PC6.(INF-5)    |                 |                  |
| Inversión inicial   | Elemento                               | Tipo de aislación | Espesor              | Tipo de aislación | Espesor           | Costo UF/m <sup>2</sup> | Costo estimado | Valor presente    | Costo UF/m <sup>2</sup> | Costo estimado  | Valor presente   |
|   | Vanos                                  | Aluminio          | V. Simple            | Pvc               | DVH               | 2,07                    | 11,12 UF       | 11,12 UF          | 3,90                    | 21,98 UF        | 21,98 UF         |
|   | Techo                                  | L.M               | 100                  | L.M               | 100               | 0,16                    | 4,21 UF        | 4,21 UF           | 0,16                    | 4,21 UF         | 4,21 UF          |
|   | Muros piso 1                           | EPS 10 kg/m3      | 50                   | EPS 10 kg/m3      | 120               | 0,08                    | 3,88 UF        | 3,88 UF           | 0,17                    | 8,49 UF         | 8,49 UF          |
|   | Muros piso 2                           | EPS 10 kg/m3      | 50                   | EPS 10 kg/m3      | 120               | 0,08                    | 3,54 UF        | 3,54 UF           | 0,17                    | 7,75 UF         | 7,75 UF          |
|   | Piso                                   | -                 | 0                    | XPS               | 75                | 0,00                    | 0,00 UF        | 0,00 UF           | 0,62                    | 16,72 UF        | 16,72 UF         |
|   | Sellado env.                           | -                 | -                    | -                 | -                 | 0,00                    | 0,00 UF        | 0,00 UF           | 0,06                    | 4,44 UF         | 4,44 UF          |
|   | Sist. Ventilación                      | -                 | -                    | -                 | -                 | 0,00                    | 0,00 UF        | 0,00 UF           | 14,99                   | 14,99 UF        | 14,99 UF         |
|   | E. Fachada                             | -                 | -                    | -                 | -                 | 0,00                    | 0,00 UF        | 0,00 UF           | 1,23                    | 1,23 UF         | 1,23 UF          |
| <b>TOTAL COSTOS INICIALES Y COLATERALES</b>                 |  |                   |                      |                   |                   | <b>22,75 UF</b>         |                |                   | <b>79,81 UF</b>         |                 |                  |
| <b>DIFERENCIA COSTOS DE INVERSIÓN(Mejorado-Base)</b>        |  |                   |                      |                   |                   |                         |                |                   | <b>57,06 UF</b>         |                 |                  |
| Costos de Operación   | Instalaciones                          | Tipo de energía   | Tasa de escalamiento | Coste UF/kWh      | UF/m <sup>2</sup> | UF/año                  | UF/20años      | UF/m <sup>2</sup> | UF/año                  | UF/20años       |                  |
|   | Calefacción                            | Electricidad      | 5,34%                | 0,00440           | 0,60              | 22,10 UF                | 414,23         | 0,12              | 4,46 UF                 | 83,56 UF        |                  |
| <b>TOTAL COSTOS ANUALES CONSUMO ENERGÉTICO</b>              |  |                   |                      |                   |                   | <b>22,10 UF</b>         | <b>414,23</b>  |                   | <b>4,46 UF</b>          | <b>83,56 UF</b> |                  |
| <b>DIFERENCIA COSTOS CONSUMO ENERGÉTICO (Base-Mejorado)</b> |  |                   |                      |                   |                   |                         |                |                   | 17,64 UF                | 330,67 UF       |                  |
| LCCA  | <b>COSTOS DE CICLO DE VIDA (LCCA)</b>  |                   |                      |                   |                   |                         |                | <b>436,98 UF</b>  |                         |                 | <b>163,38 UF</b> |
|   | <b>Diferencia LCCA (Mejorado-Base)</b> |                   |                      |                   |                   |                         |                |                   |                         |                 | -273,61          |
|   | <b>Variación LCCA (Mejorado-Base)</b>  |                   |                      |                   |                   |                         |                |                   |                         |                 | -62,6%           |
|   | <b>Payback (Años)</b>                  |                   |                      |                   |                   |                         |                |                   |                         |                 | 4,00             |

ANEXO A: CALCULO ANÁLISIS COSTO DE CICLO DE VIDA

**Tabla A 20: Análisis Costo Ciclo de Vida caso Vivienda 2 Base V2.M3.T2.PC6. (INF-24,6) y Vivienda 2 Propuesta V2.M3.T2.PC6. (INF-8)**

| Tasa descuento  | 6%  |                          |                      |                          |                   | BASE                     |                 |                   | MEJORADO                |                  |                |
|---|---|--------------------------|----------------------|--------------------------|-------------------|--------------------------|-----------------|-------------------|-------------------------|------------------|----------------|
| Periodo estudio   | 20  |                          |                      |                          |                   | V2.M3.T2.PC6. (INF-24,6) |                 |                   | V2.M3.T2.PC6. (INF-8)   |                  |                |
| Inversión inicial   | Elemento                                    | Tipo de aislación        | Espesor              | Tipo de aislación        | Espesor           | Costo UF/m <sup>2</sup>  | Costo estimado  | Valor presente    | Costo UF/m <sup>2</sup> | Costo estimado   | Valor presente |
|   | Vanos                                       | Aluminio                 | V. Simple            | Aluminio                 | DVH               | 2,07                     | 11,12 UF        | 11,12 UF          | 3,32                    | 18,89 UF         | 18,89 UF       |
|   | Techo                                       | L.M                      | 100                  | L.M                      | 100               | 0,16                     | 4,21 UF         | 4,21 UF           | 0,16                    | 4,21 UF          | 4,21 UF        |
|   | Muros piso 1                                | EPS 10 kg/m <sup>3</sup> | 50                   | EPS 10 kg/m <sup>3</sup> | 120               | 0,08                     | 3,88 UF         | 3,88 UF           | 0,17                    | 8,49 UF          | 8,49 UF        |
|   | Muros piso 2                                | EPS 10 kg/m <sup>3</sup> | 50                   | EPS 10 kg/m <sup>3</sup> | 120               | 0,08                     | 3,54 UF         | 3,54 UF           | 0,17                    | 7,75 UF          | 7,75 UF        |
|   | Piso  | -                        | 0                    | XPS                      | 75                | 0,00                     | 0,00 UF         | 0,00 UF           | 0,62                    | 16,72 UF         | 16,72 UF       |
|   | Sellado env.                                | -                        | -                    | -                        | -                 | 0,00                     | 0,00 UF         | 0,00 UF           | 0,06                    | 4,44 UF          | 4,44 UF        |
|   | Sist. Ventilación                           | -                        | -                    | -                        | -                 | 0,00                     | 0,00 UF         | 0,00 UF           | 14,99                   | 14,99 UF         | 14,99 UF       |
|   | E. Fachada                                  | -                        | -                    | -                        | -                 | 0,00                     | 0,00 UF         | 0,00 UF           | 1,23                    | 1,23 UF          | 1,23 UF        |
|   | <b>TOTAL COSTOS INICIALES Y COLATERALES</b> |                          |                      |                          |                   |                          | <b>22,75 UF</b> |                   |                         | <b>76,72 UF</b>  |                |
| <b>DIFERENCIA COSTOS DE INVERSIÓN(Mejorado-Base)</b>        |   |                          |                      |                          |                   |                          |                 |                   | <b>53,97 UF</b>         |                  |                |
| Costos de Operación   | Instalaciones                               | Tipo de energía          | Tasa de escalamiento | Coste UF/kWh             | UF/m <sup>2</sup> | UF/año                   | UF/20años       | UF/m <sup>2</sup> | UF/año                  | UF/20años        |                |
|   | Calefacción                                 | Electricidad             | 5,34%                | 0,00440                  | 0,60              | 22,10 UF                 | 414,23          | 0,18              | 6,69 UF                 | 125,35 UF        |                |
| <b>TOTAL COSTOS ANUALES CONSUMO ENERGÉTICO</b>              |   |                          |                      |                          |                   | <b>22,10 UF</b>          | <b>414,23</b>   |                   | <b>6,69 UF</b>          | <b>125,35 UF</b> |                |
| <b>DIFERENCIA COSTOS CONSUMO ENERGÉTICO (Base-Mejorado)</b> |   |                          |                      |                          |                   |                          |                 |                   | 15,41 UF                | 288,88 UF        |                |
| LCCA  | <b>COSTOS DE CICLO DE VIDA (LCCA)</b>       |                          |                      |                          |                   |                          |                 | <b>436,98 UF</b>  |                         |                  |                |
|   | <b>Diferencia LCCA (Mejorado-Base)</b>      |                          |                      |                          |                   |                          |                 |                   |                         |                  |                |
|   | <b>Variación LCCA (Mejorado-Base)</b>       |                          |                      |                          |                   |                          |                 |                   |                         |                  |                |
|   | <b>Payback (Años)</b>                       |                          |                      |                          |                   |                          |                 | 4,00              |                         |                  |                |

ANEXO A: CALCULO ANÁLISIS COSTO DE CICLO DE VIDA

**Tabla A 21: Análisis Costo Ciclo de Vida caso Vivienda 3 Base V3.M5P1.M1P2.T1.PC6. (INF-15) y Vivienda 3 Propuesta V3.M5P1.M1P2.T1.PC6. (INF-5)**

| Tasa descuento  | 6%                                     |                   |                      |                   |                   | BASE                          |                  |                   | MEJORADO                     |                  |                |  |
|---|--|-------------------|----------------------|-------------------|-------------------|-------------------------------|------------------|-------------------|------------------------------|------------------|----------------|--|
| Periodo estudio   | 20                                     |                   |                      |                   |                   | V3.M5P1.M1P2.T1.PC6. (INF-15) |                  |                   | V3.M5P1.M1P2.T1.PC6. (INF-5) |                  |                |  |
| Inversión inicial   | Elemento                               | Tipo de aislación | Espesor              | Tipo de aislación | Espesor           | Costo UF/m <sup>2</sup>       | Costo estimado   | Valor presente    | Costo UF/m <sup>2</sup>      | Costo estimado   | Valor presente |  |
|   | Vanos                                  | Aluminio          | V. Simple            | Pvc               | DVH               | 2,07                          | 11,12 UF         | 11,12 UF          | 3,90                         | 21,98 UF         | 21,98 UF       |  |
|   | Techo                                  | L.V               | 100                  | L.V               | 100               | 0,16                          | 4,19 UF          | 4,19 UF           | 0,16                         | 4,19 UF          | 4,19 UF        |  |
|   | Muros piso 1                           | EPS 20 kg/m3-LV   | 0-50                 | EPS 20 kg/m3-LV   | 80-100            | 0,00                          | 0,00 UF          | 0,00 UF           | 0,57                         | 27,80 UF         | 27,80 UF       |  |
|   | Muros piso 2                           | EPS 20 kg/m3-LV   | 0-50                 | EPS 20 kg/m3-LV   | 80-100            | 0,08                          | 3,65 UF          | 3,65 UF           | 0,19                         | 8,46 UF          | 8,46 UF        |  |
|   | Piso                                   | -                 | 0                    | XPS               | 75                | 0,00                          | 0,00 UF          | 0,00 UF           | 0,62                         | 16,72 UF         | 16,72 UF       |  |
|   | Sellado env.                           | -                 | -                    | -                 | -                 | 0,00                          | 0,00 UF          | 0,00 UF           | 0,14                         | 8,02 UF          | 8,02 UF        |  |
|   | Sist. Ventilación                      | -                 | -                    | -                 | -                 | 0,00                          | 0,00 UF          | 0,00 UF           | 14,99                        | 14,99 UF         | 14,99 UF       |  |
|   | E. Fachada                             | -                 | -                    | -                 | -                 | 0,00                          | 0,00 UF          | 0,00 UF           | 1,23                         | 1,23 UF          | 1,23 UF        |  |
| <b>TOTAL COSTOS INICIALES Y COLATERALES</b>                 |  |                   |                      |                   |                   | <b>18,96 UF</b>               |                  |                   | <b>103,39 UF</b>             |                  |                |  |
| <b>DIFERENCIA COSTOS DE INVERSIÓN(Mejorado-Base)</b>        |  |                   |                      |                   |                   |                               |                  |                   | <b>84,43 UF</b>              |                  |                |  |
| Costos de Operación   | Instalaciones                          | Tipo de energía   | Tasa de escalamiento | Coste UF/kWh      | UF/m <sup>2</sup> | UF/año                        | UF/20años        | UF/m <sup>2</sup> | UF/año                       | UF/20años        |                |  |
|   | Calefacción                            | Electricidad      | 5,34%                | 0,00440           | 0,46              | 17,01 UF                      | 318,72           | 0,12              | 4,40 UF                      | 82,49 UF         |                |  |
| <b>TOTAL COSTOS ANUALES CONSUMO ENERGÉTICO</b>              |  |                   |                      |                   |                   | <b>17,01 UF</b>               | <b>318,72</b>    |                   | <b>4,40 UF</b>               | <b>82,49 UF</b>  |                |  |
| <b>DIFERENCIA COSTOS CONSUMO ENERGÉTICO (Base-Mejorado)</b> |  |                   |                      |                   |                   |                               |                  |                   | 12,60 UF                     | 236,23 UF        |                |  |
| LCCA  | <b>COSTOS DE CICLO DE VIDA (LCCA)</b>  |                   |                      |                   |                   |                               | <b>337,68 UF</b> |                   |                              | <b>185,88 UF</b> |                |  |
|   | <b>Diferencia LCCA (Mejorado-Base)</b> |                   |                      |                   |                   |                               |                  |                   |                              | -151,80          |                |  |
|   | <b>Variación LCCA (Mejorado-Base)</b>  |                   |                      |                   |                   |                               |                  |                   |                              | -45,0%           |                |  |
|   | <b>Payback (Años)</b>                  |                   |                      |                   |                   |                               |                  |                   |                              | 7,00             |                |  |

ANEXO A: CALCULO ANÁLISIS COSTO DE CICLO DE VIDA

**Tabla A 22: Análisis Costo Ciclo de Vida caso Vivienda 3 Base V3.M5P1.M1P2.T1.PC6. (INF-15) y Vivienda 3 Propuesta V3.M5P1.M1P2.T1.PC6. (INF-8)**

| Tasa descuento  | 6%                                     |                              |                      |                              |                   | BASE                          |                  |                   | MEJORADO                     |                           |                |  |
|---|--|------------------------------|----------------------|------------------------------|-------------------|-------------------------------|------------------|-------------------|------------------------------|---------------------------|----------------|--|
| Periodo estudio   | 20                                     |                              |                      |                              |                   | V3.M5P1.M1P2.T1.PC6. (INF-15) |                  |                   | V3.M5P1.M1P2.T1.PC6. (INF-8) |                           |                |  |
| Inversión inicial   | Elemento                               | Tipo de aislación            | Espesor              | Tipo de aislación            | Espesor           | Costo UF/m <sup>2</sup>       | Costo estimado   | Valor presente    | Costo UF/m <sup>2</sup>      | Costo estimado            | Valor presente |  |
|   | Vanos                                  | Aluminio                     | V. Simple            | Aluminio                     | DVH               | 2,07                          | 11,12 UF         | 11,12 UF          | 3,32                         | 18,89 UF                  | 18,89 UF       |  |
|   | Techo                                  | L.V                          | 100                  | L.V                          | 100               | 0,16                          | 4,19 UF          | 4,19 UF           | 0,16                         | 4,19 UF                   | 4,19 UF        |  |
|   | Muros piso 1                           | EPS 20 kg/m <sup>3</sup> -LV | 0-50                 | EPS 20 kg/m <sup>3</sup> -LV | 80-100            | 0,00                          | 0,00 UF          | 0,00 UF           | 0,57                         | 27,80 UF                  | 27,80 UF       |  |
|   | Muros piso 2                           | EPS 20 kg/m <sup>3</sup> -LV | 0-50                 | EPS 20 kg/m <sup>3</sup> -LV | 80-100            | 0,08                          | 3,65 UF          | 3,65 UF           | 0,19                         | 8,46 UF                   | 8,46 UF        |  |
|   | Piso                                   | -                            | 0                    | XPS                          | 75                | 0,00                          | 0,00 UF          | 0,00 UF           | 0,62                         | 16,72 UF                  | 16,72 UF       |  |
|   | Sellado env.                           | -                            | -                    | -                            | -                 | 0,00                          | 0,00 UF          | 0,00 UF           | 0,14                         | 8,02 UF                   | 8,02 UF        |  |
|   | Sist. Ventilación                      | -                            | -                    | -                            | -                 | 0,00                          | 0,00 UF          | 0,00 UF           | 14,99                        | 14,99 UF                  | 14,99 UF       |  |
|   | E. Fachada                             | -                            | -                    | -                            | -                 | 0,00                          | 0,00 UF          | 0,00 UF           | 1,23                         | 1,23 UF                   | 1,23 UF        |  |
| <b>TOTAL COSTOS INICIALES Y COLATERALES</b>                 |  |                              |                      |                              |                   | <b>18,96 UF</b>               |                  |                   | <b>100,29 UF</b>             |                           |                |  |
| <b>DIFERENCIA COSTOS DE INVERSIÓN(Mejorado-Base)</b>        |  |                              |                      |                              |                   |                               |                  |                   | <b>81,33 UF</b>              |                           |                |  |
| Costos de Operación   | Instalaciones                          | Tipo de energía              | Tasa de escalamiento | Coste UF/kWh                 | UF/m <sup>2</sup> | UF/año                        | UF/20años        | UF/m <sup>2</sup> | UF/año                       | UF/20años                 |                |  |
|   | Calefacción                            | Electricidad                 | 5,34%                | 0,00440                      | 0,46              | 17,01 UF                      | 318,72           | 0,18              | 6,58 UF                      | 123,25 UF                 |                |  |
| <b>TOTAL COSTOS ANUALES CONSUMO ENERGÉTICO</b>              |  |                              |                      |                              |                   | <b>17,01 UF</b>               |                  | <b>318,72</b>     |                              | <b>6,58 UF 123,25 UF</b>  |                |  |
| <b>DIFERENCIA COSTOS CONSUMO ENERGÉTICO (Base-Mejorado)</b> |  |                              |                      |                              |                   |                               |                  |                   |                              | <b>10,43 UF 195,47 UF</b> |                |  |
| LCCA  | <b>COSTOS DE CICLO DE VIDA (LCCA)</b>  |                              |                      |                              |                   |                               | <b>337,68 UF</b> |                   |                              | <b>223,54 UF</b>          |                |  |
|   | <b>Diferencia LCCA (Mejorado-Base)</b> |                              |                      |                              |                   |                               |                  |                   |                              | <b>-114,14</b>            |                |  |
|   | <b>Variación LCCA (Mejorado-Base)</b>  |                              |                      |                              |                   |                               |                  |                   |                              | <b>-33,8%</b>             |                |  |
|   | <b>Payback (Años)</b>                  |                              |                      |                              |                   |                               |                  |                   |                              | <b>9,00</b>               |                |  |

ANEXO A: CALCULO ANÁLISIS COSTO DE CICLO DE VIDA

**Tabla A 23: Análisis Costo Ciclo de Vida caso Vivienda 3 Base V3.M5P1.M3P2.T1.PC6. (INF-15) y Vivienda 3 Propuesta V3.M5P1.M3P2.T1.PC6. (INF-5)**

| Tasa descuento  | 6%                                     |                       |                      |                       |                   | BASE                         |                |                   | MEJORADO                    |                           |                  |  |
|---|--|-----------------------|----------------------|-----------------------|-------------------|------------------------------|----------------|-------------------|-----------------------------|---------------------------|------------------|--|
| Periodo estudio   | 20                                     |                       |                      |                       |                   | V3.M5P1.M3P2.T1.PC6.(INF-15) |                |                   | V3.M5P1.M3P2.T1.PC6.(INF-5) |                           |                  |  |
| Inversión inicial   | Elemento                               | Tipo de aislación     | Espesor              | Tipo de aislación     | Espesor           | Costo UF/m <sup>2</sup>      | Costo estimado | Valor presente    | Costo UF/m <sup>2</sup>     | Costo estimado            | Valor presente   |  |
|   | Vanos                                  | Aluminio              | V. Simple            | Pvc                   | DVH               | 2,07                         | 11,12 UF       | 11,12 UF          | 3,90                        | 21,98 UF                  | 21,98 UF         |  |
|   | Techo                                  | L.V                   | 100                  | L.V                   | 100               | 0,16                         | 4,19 UF        | 4,19 UF           | 0,16                        | 4,19 UF                   | 4,19 UF          |  |
|   | Muros piso 1                           | EPS 20 kg/m3-10 kg/m3 | 0-40                 | EPS 20 kg/m3-10 kg/m3 | 80-95             | 0,00                         | 0,00 UF        | 0,00 UF           | 0,57                        | 27,80 UF                  | 27,80 UF         |  |
|   | Muros piso 2                           | EPS 20 kg/m3-10 kg/m3 | 0-40                 | EPS 20 kg/m3-10 kg/m3 | 80-95             | 0,07                         | 2,91 UF        | 2,91 UF           | 0,23                        | 10,17 UF                  | 10,17 UF         |  |
|   | Piso                                   | -                     | 0                    | XPS                   | 75                | 0,00                         | 0,00 UF        | 0,00 UF           | 0,62                        | 16,72 UF                  | 16,72 UF         |  |
|   | Sellado env.                           | -                     | -                    | -                     | -                 | 0,00                         | 0,00 UF        | 0,00 UF           | 0,14                        | 8,02 UF                   | 8,02 UF          |  |
|   | Sist. Ventilación                      | -                     | -                    | -                     | -                 | 0,00                         | 0,00 UF        | 0,00 UF           | 14,99                       | 14,99 UF                  | 14,99 UF         |  |
|   | E. Fachada                             | -                     | -                    | -                     | -                 | 0,00                         | 0,00 UF        | 0,00 UF           | 1,23                        | 1,23 UF                   | 1,23 UF          |  |
| <b>TOTAL COSTOS INICIALES Y COLATERALES</b>                 |  |                       |                      |                       |                   | <b>18,22 UF</b>              |                |                   | <b>105,09 UF</b>            |                           |                  |  |
| <b>DIFERENCIA COSTOS DE INVERSIÓN(Mejorado-Base)</b>        |  |                       |                      |                       |                   |                              |                |                   | <b>86,87 UF</b>             |                           |                  |  |
| Costos de Operación   | Instalaciones                          | Tipo de energía       | Tasa de escalamiento | Coste UF/kWh          | UF/m <sup>2</sup> | UF/año                       | UF/20años      | UF/m <sup>2</sup> | UF/año                      | UF/20años                 |                  |  |
|   | Calefacción                            | Electricidad          | 5,34%                | 0,00440               | 0,49              | 17,77 UF                     | 333,03         | 0,12              | 4,38 UF                     | 82,12 UF                  |                  |  |
| <b>TOTAL COSTOS ANUALES CONSUMO ENERGÉTICO</b>              |  |                       |                      |                       |                   | <b>17,77 UF</b>              |                | <b>333,03</b>     |                             | <b>4,38 UF 82,12 UF</b>   |                  |  |
| <b>DIFERENCIA COSTOS CONSUMO ENERGÉTICO (Base-Mejorado)</b> |  |                       |                      |                       |                   |                              |                |                   |                             | <b>13,39 UF 250,90 UF</b> |                  |  |
| LCCA  | <b>COSTOS DE CICLO DE VIDA (LCCA)</b>  |                       |                      |                       |                   |                              |                | <b>351,25 UF</b>  |                             |                           | <b>187,22 UF</b> |  |
|   | <b>Diferencia LCCA (Mejorado-Base)</b> |                       |                      |                       |                   |                              |                |                   |                             |                           | <b>-164,03</b>   |  |
|   | <b>Variación LCCA (Mejorado-Base)</b>  |                       |                      |                       |                   |                              |                |                   |                             |                           | <b>-46,7%</b>    |  |
|   | <b>Payback (Años)</b>                  |                       |                      |                       |                   |                              |                |                   |                             |                           | <b>7,00</b>      |  |

ANEXO A: CALCULO ANÁLISIS COSTO DE CICLO DE VIDA

**Tabla A 24: Análisis Costo Ciclo de Vida caso Vivienda 3 Base V3.M5P1.M3P2.T1.PC6. (INF-15) y Vivienda 3 Propuesta V3.M5P1.M3P2.T1.PC6. (INF-8)**

| Tasa descuento  | 6%                                     |                       |                      |                       |                   | BASE                         |                |                   | MEJORADO                    |                           |                |
|---|--|-----------------------|----------------------|-----------------------|-------------------|------------------------------|----------------|-------------------|-----------------------------|---------------------------|----------------|
| Periodo estudio   | 20                                     |                       |                      |                       |                   | V3.M5P1.M3P2.T1.PC6.(INF-15) |                |                   | V3.M5P1.M3P2.T1.PC6.(INF-8) |                           |                |
| Inversión inicial   | Elemento                               | Tipo de aislación     | Espesor              | Tipo de aislación     | Espesor           | Costo UF/m <sup>2</sup>      | Costo estimado | Valor presente    | Costo UF/m <sup>2</sup>     | Costo estimado            | Valor presente |
|   | Vanos                                  | Aluminio              | V. Simple            | Aluminio              | DVH               | 2,07                         | 11,12 UF       | 11,12 UF          | 3,32                        | 18,89 UF                  | 18,89 UF       |
|   | Techo                                  | L.V                   | 100                  | L.V                   | 100               | 0,16                         | 4,19 UF        | 4,19 UF           | 0,16                        | 4,19 UF                   | 4,19 UF        |
|   | Muros piso 1                           | EPS 20 kg/m3-10 kg/m3 | 0-40                 | EPS 20 kg/m3-10 kg/m3 | 80-95             | 0,00                         | 0,00 UF        | 0,00 UF           | 0,57                        | 27,80 UF                  | 27,80 UF       |
|   | Muros piso 2                           | EPS 20 kg/m3-10 kg/m3 | 0-40                 | EPS 20 kg/m3-10 kg/m3 | 80-95             | 0,07                         | 2,91 UF        | 2,91 UF           | 0,23                        | 10,17 UF                  | 10,17 UF       |
|   | Piso                                   | -                     | 0                    | XPS                   | 75                | 0,00                         | 0,00 UF        | 0,00 UF           | 0,62                        | 16,72 UF                  | 16,72 UF       |
|   | Sellado env.                           | -                     | -                    | -                     | -                 | 0,00                         | 0,00 UF        | 0,00 UF           | 0,14                        | 8,02 UF                   | 8,02 UF        |
|   | Sist. Ventilación                      | -                     | -                    | -                     | -                 | 0,00                         | 0,00 UF        | 0,00 UF           | 14,99                       | 14,99 UF                  | 14,99 UF       |
|   | E. Fachada                             | -                     | -                    | -                     | -                 | 0,00                         | 0,00 UF        | 0,00 UF           | 1,23                        | 1,23 UF                   | 1,23 UF        |
| <b>TOTAL COSTOS INICIALES Y COLATERALES</b>                 |  |                       |                      |                       |                   | <b>18,22 UF</b>              |                |                   | <b>102,00 UF</b>            |                           |                |
| <b>DIFERENCIA COSTOS DE INVERSIÓN(Mejorado-Base)</b>        |  |                       |                      |                       |                   |                              |                |                   | <b>83,78 UF</b>             |                           |                |
| Costos de Operación   | Instalaciones                          | Tipo de energía       | Tasa de escalamiento | Coste UF/kWh          | UF/m <sup>2</sup> | UF/año                       | UF/20años      | UF/m <sup>2</sup> | UF/año                      | UF/20años                 |                |
|   | Calefacción                            | Electricidad          | 5,34%                | 0,00440               | 0,49              | 17,77 UF                     | 333,03         | 0,18              | 6,55 UF                     | 122,77 UF                 |                |
| <b>TOTAL COSTOS ANUALES CONSUMO ENERGÉTICO</b>              |  |                       |                      |                       |                   | <b>17,77 UF</b>              |                | <b>333,03</b>     |                             | <b>6,55 UF 122,77 UF</b>  |                |
| <b>DIFERENCIA COSTOS CONSUMO ENERGÉTICO (Base-Mejorado)</b> |  |                       |                      |                       |                   |                              |                |                   |                             | <b>11,22 UF 210,25 UF</b> |                |
| LCCA  | <b>COSTOS DE CICLO DE VIDA (LCCA)</b>  |                       |                      |                       |                   |                              |                | <b>351,25 UF</b>  |                             | <b>224,77 UF</b>          |                |
|   | <b>Diferencia LCCA (Mejorado-Base)</b> |                       |                      |                       |                   |                              |                |                   |                             | <b>-126,47</b>            |                |
|   | <b>Variación LCCA (Mejorado-Base)</b>  |                       |                      |                       |                   |                              |                |                   |                             | <b>-36,0%</b>             |                |
|   | <b>Payback (Años)</b>                  |                       |                      |                       |                   |                              |                |                   |                             | <b>8,00</b>               |                |

## REFERENCIAS

**Ambiente Consultores, 2007.** *Programa de Inversión Pública para fomentar el reacondicionamiento térmico del parque construido de viviendas.* Santiago; Ministerio de Vivienda y Urbanismo, Chile, 2007.

**Bobadilla, Ariel. 2014.** *Calidad energética y ambiental interior de la edificación habitacional en Chile. Análisis de las tendencias, logros y desafíos pendientes.* Concepción : Université Catholique de Louvain, 2014.

**Bodadilla , A, y otros. 1991.** *Aislación térmica de muros de albañilería y madera. Actas II Seminario de Investigación.* Chillán : Universidad del Bío-Bío, 1991.

**Bodadilla, A, Goycoolea, F y Saelzer, G. 1986.** *Calidad térmica de la vivienda y su incidencia en las condiciones de habitabilidad.* Temuco : III Semana de la Energía, Universidad de la Frontera, 1986.

**Bustamante, Waldo. 2009.** *Eficiencia energética en vivienda social un desafío posible.* [aut. libro] Centro de Políticas Públicas UC. *Camino al Bicentenario Propuesta para Chile.* Santiago, Chile : Ediciones Universidad Católica de Chile, 2009.

**Borja, J. 2011.** *El gobierno del territorio de las ciudades latinoamericanas. Instituciones y Desarrollo,* 2011, N° 8-9, p. 83-142.

**Bustamante, Waldo. 2009.** *Guía de diseño para la eficiencia energética de la vivienda social.* Santiago, Chile, 2009.

**Bustamante, Waldo. 2015.** *Estudio sobre rangos de confort térmico y riesgo de sobrecalentamiento en el contexto de la aplicación de nuevos estándares de desempeño térmico en viviendas.* Santiago, Chile : Ministerio de Vivienda y Urbanismo, 2015.

**CDT, 2010.** *Estudio de usos finales y curva de oferta de conservación de la energía en el sector residencial. Estudio final y resumen ejecutivo.* Santiago, Cámara Chilena de la Construcción, Chile. 2010.

**CCTP. 2011.** *Chile necesita una gran reforma energética. Propuestas de la Comisión Ciudadana-Técnico-Parlamentaria para la Transición hacia un Desarrollo Eléctrico Limpio, Seguro, Sustentable y Justo. Comité Editorial Comisión Ciudadana-Técnico-Parlamentaria para la política y la Matriz Eléctrica.* Santiago, Chile :2011.

**CITEC UBB. 2013b.** *Desarrollo de estándares e innovaciones en el diseño hidrotérmico de envolvente de construcciones habitacionales en Chile. Programa IDeA II concurso Ciencia Aplicada Fondef.* Concepción : s.n., 2013b.

—. **2013a.** *Diagnóstico de fallas en construcciones habitacionales de Loncoche. Serviu IX Región.* Concepción : s.n., 2013a.

—. **2012a.** *Manual de Diseño Pasivo y Eficiencia Energética de Edificios Públicos.* Santiago : s.n., 2012a.

**CITEC UBB; DECON UC; 2010.** Establecimiento de clases de infiltración aceptable de edificios para Chile. *XVIII Concurso de Proyectos de Investigación y Desarrollo.* Santiago : CONICYT, 2010.

**CITEC UBB & CCHC Delegación Concepción. 2017.** *Manual de control de condensación para usuarios de viviendas en altura del gran Concepción.* Concepción, Chile. 2017.

**CITEC UBB. 2015.** Evaluación de la Rentabilidad Social de la incorporación de Eficiencia Energética en Edificios Públicos. Santiago : Subsecretaría de Evaluación Social del Ministerio de Desarrollo Social, 2015.

**D'Alencon, Renato. 2008.** Parámetros y estándares de habitabilidad calidad en la vivienda, el entorno inmediato y el conjunto habitacional. [aut. libro] Centro de Políticas Públicas UC. *Camino al Bicentenario Propuestas para Chile.* Santiago, Chile : Ediciones Universidad Católica de Chile, 2008.

**Damico, F. C, y otros. 2012.** Análisis energético de las viviendas del centro-sur de Chile. s.l. : Revista de Arquitectura, 2012. 10.4013/arq2012.81.07.

**DGI Universidad del Bío-Bío. 2016.** *Entrevista Diario Concepción Ariel Bobadilla, viernes 29 de abril 2016.* <http://www.dgi.ubiobio.cl/dgi/index.php/2016/04/29/director-del-citec-ubb-el-rendimiento-actual-de-una-vivienda-equivale-a-un-auto-que-da-4-kmlitro/>

**Escorcía, O., García, R. Trebilcock, M. Celis, F., & Miotto, U. 2012.** *Mejoramiento de envolvente para la eficiencia energética de viviendas en el centro-sur de Chile.* s.l.: Informes de la Construcción, 2012.

**Flanagan, R. 1987.** *Life Costing and Risk Management. In: Construction Management an Economics,* May 1987. pp 1987, (pp 553-571).1987.

**FISSORE, A. 2009.** *La Realidad Energética en el Sector Residencial de la Región del Bío-Bío.* Santiago de Chile: Alianza de Energía y Clima de las Américas, 2009.

**Fissore, A. 2012.** *La realidad energética en el sector residencial de la Región del Biobío.* Santiago: EPCAmericas. Chile, 2012.

**García, R; Herrera, R; Muñoz, C, & Wanderleben, G. 2016.** *Desempeño ambiental de recintos habitacionales. Comparación de simulaciones, monitorización y percepción de residentes en seis viviendas de Concepción, Chile.* *Concepción: Revista Tecnura, 20(47), 71-78.* Doi: 10.14483/udistrital.jour.tecnura.2016.1.a06.

**Instituto Nacional de Estadísticas (INE), 2016.** *Plataforma de Navegación según datos censales.* Chile. 2016

**ISO. (2008). ISO 15686-5:2008:** Buildings and constructed assets -- Service-life planning -- Part 5: Life-cycle costing. (p.41).

**Jhonson, B. 1981.** Patterns of Residential Occupancy. Ottawa: National Research Council Of Canadá, Canadá. 1981.

**Meachman, B.J, y otros. 2002.** *Performance System Model - A Framework for Describing the Totality of Building Performance.* 2002.

**MINVU. 2013.** *Estrategía Nacional de Construcción Sustentable 2013-2020.* Santiago : s.n., 2013. 978-956-9432-02-6.

—. **2016.** *Ley General de Urbanismo y Construcción de Chile.* Chile : s.n., 2016.

**Nordic Committee on Building Regulations NKB, 1976.** *Programme of Work for the NKB,* Report No. 28, Stockholm. 1976.

**Ossio, F, De Herde, A y Veas, L. 2012.** *Exigencias europeas para infiltraciones de aire: Lecciones para Chile.* s.l. : Revista de la Construcción, 2012.

**Salinas, E. y Pérez, L. 2011.** *Procesos urbanos recientes en el Área Metropolitana de Concepción: transformaciones morfológicas y tipologías de ocupación.* Revista de Geografía Norte Grande, 2011, N° 49, p. 79-97.

**Schneiderova, R. 2014.** *Life Cycle Cost Optimization withingdesing making on alternative design of public buildings.* *ProcediaEngineering.* (454-463).2014.

**Wadel, G; Avellaneda, J; Cuchí, A. 2010.** *Sustainability in industrialized architecture: closing the materials cycle.* Informes de la Construcción.Vol 62, 517, 37-51, 2010.

**Wouters, P. 2000.** *Quality in Relationto Indoor Climate and Energy Efficiency. An analysis of trends, archievements and remaining challenges.* Louvian-la-Neuve : Univertité Catholique de Louvain, 2000.

**BIBLIOGRAFÍA**

**Bobadilla, Ariel. 2014.** *Calidad energética y ambiental interior de la edificación habitacional en Chile. Análisis de las tendencias, logros y desafíos pendientes.* Concepción : Université Catholique de Louvain, 2014.

**Bodadilla , A, y otros. 1991.** *Aislación térmica de muros de albañilería y madera. Actas II Seminario de Investigación.* Chillán : Universidad del Bío-Bío, 1991.

**Bodadilla, A, Goycoolea, F y Saelzer, G. 1986.** *Calidad térmica de la vivienda y su incidencia en las condiciones de habitabilidad.* Temuco : III Semana de la Energía, Universidad de la Frontera, 1986.

**Bustamante, Waldo. 2009.** Eficiencia energética en vivienda social un desafío posible. [aut. libro] Centro de Políticas Públicas UC. *Camino al Bicentenario Propuesta para Chile.* Santiago, Chile : Ediciones Universidad Católica de Chile, 2009.

**CITEC UBB. 2013b.** *Desarrollo de estándares e innovaciones en el diseño hidrotérmico de envolvente de construcciones habitacionales en Chile. Programa IDeA II concurso Ciencia Aplicada Fondef.* Concepción : s.n., 2013b.

—. **2013a.** *Diagnóstico de fallas en construcciones habitacionales de Loncoche. Serviu IX Región.* Concepción : s.n., 2013a.

—. **2012a.** *Manual de Diseño Pasivo y Eficiencia Energética de Edificios Públicos.* Santiago : s.n., 2012a.

**CITEC UBB; DECON UC; 2010.** Establecimiento de clases de infiltración aceptable de edificios para Chile. *XVIII Concurso de Proyectos de Investigación y Desarrollo.* Santiago : CONICYT, 2010.

**D'Alencon, Renato. 2008.** Parámetros y estándares de habitabilidad calidad en la vivienda, el entorno inmediato y el conjunto habitacional. [aut. libro] Centro de Políticas Públicas UC. *Camino al Bicentenario Propuestas para Chile.* Santiago, Chile : Ediciones Universidad Católica de Chile, 2008.

**Damico, F C, y otros. 2012.** *Análisis energético de las viviendas del centro-sur de Chile.* s.l. : Revista de Arquitectura, 2012. 10.4013/arq2012.81.07.

**Escorcia, O, y otros. 2012.** *Mejoramiento de envolvente para la eficiencia energética de viviendas en el centro-sur de Chile.* s.l. : Informes de la Construcción, 2012.

**Flanagan, R. 1987.** *Life Costing and Risk Management. In: Construction Management an Economics,* May 1987. pp 1987, (pp 553-571).

**Hatt, Tobias. 2012.** *El estándar "Passivhaus" en el centro sur de Chile. Un estudio paramétrico multifactorial.* Concepción : Universidad del Bío-Bío, 2012.

**Meachman, B.J, y otros. 2002.** *Performance System Model - A Framework for Describing the Totality of Building Performance.* 2002.

**MINVU. 2013.** *Estrategía Nacional de Construcción Sustentable 2013-2020.* Santiago : s.n., 2013. 978-956-9432-02-6.

—. **2016.** *Ley General de Urbanismo y Construcción de Chile.* Chile : s.n., 2016.

**Ossio, F, De Herde, A y Veas, L. 2012.** *Exigencias europeas para infiltraciones de aire: Lecciones para Chile.* s.l. : Revista de la Construcción, 2012.

**Schneiderova, R. 2014.** 2014.

**Wouters, P. 2000.** *Quality in Relation to Indoor Climate and Energy Efficiency. An analysis of trends, achievements and remaining challenges.* Louvain-la-Neuve : Univerité Catholique de Louvain, 2000.