



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

**EVALUACIÓN DE ESTÁNDARES DE ENVOLVENTE TÉRMICA PARA VIVIENDAS
EN PUNTA ARENAS, APLICANDO CRITERIOS DE RENTABILIDAD SOCIAL
MEDIANTE ANÁLISIS DE COSTOS DE CICLO DE VIDA.**

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

**AUTOR: CÉSAR ALVIAL CHANDÍA
Arquitecto**

**PROFESOR GUÍA: SR. ARIEL BOBADILLA MORENO
Ingeniero Civil Mecánico
Doctor en Ciencias Aplicadas de la Ingeniería
Universidad Católica de Lovaina, Bélgica**

CONCEPCION, 07 de AGOSTO de 2018

Resumen

Esta investigación propone valores de transmitancia térmica mínimos óptimos para envolventes de viviendas de la Zona SE de Chile, aplicando criterios de rentabilidad social mediante Análisis de Costos de Ciclo de Vida para reducir las demandas de energía en calefacción, y mejorar su calidad habitable. Lo anterior es impostergable en Punta Arenas, ciudad que cuenta con energía para calefacción y electricidad generada con gas natural regional, cuyo bajo precio subsidiado ha fomentado su desarrollo urbano, provocando a su vez un evidente descuido en el consumo energético para suplir altas demandas de calefacción de viviendas mal preparadas para su clima frío y ventoso, siendo poco rentable para los usuarios la aplicación de medidas de eficiencia energética, situación que genera un alto costo para el estado.

Se toma como referencia la experiencia de la provincia de Columbia Británica, Canadá, por sus altos índices de eficiencia energética y sustentabilidad en una región de similar clima y geografía, efectuando un análisis comparativo del estado del arte, de las normativas vigentes y/o en estudio. Luego, se analizan mejoras constructivas disponibles, las que son evaluados según ACCV para obtener valores de transmitancia térmica y de demanda estimada de calefacción factibles de ser exigidos en la comunidad, permitiendo preservar el recurso gas a través de la eficiencia energética, y aportar con ello a un desarrollo sustentable de la región.

Palabras claves: Vivienda – Magallanes – Envolverte Térmica – Eficiencia Energética – Análisis de Costos de Ciclo de Vida.

Abstract

This research proposes optimum minimum thermal transmittance values for housing envelopes of the SE Zone of Chile, applying criteria of social profitability through Life Cycle Cost Analysis to reduce the energy demands in heating, and improve its habitable quality. The above can not be postponed in Punta Arenas, a city that has energy for heating and electricity generated with regional natural gas, whose low subsidized price has encouraged its urban development, causing at the same time an evident neglect in energy consumption to meet high heating demands of poorly prepared homes for its cold and windy climate, being unprofitable for users the application of energy efficiency measures, situation that generates a high cost for the state.

The experience of the province of British Columbia, Canada, is taken as a reference, for its high rates of energy efficiency and sustainability in a region of similar climate and geography, making a comparative analysis of the state of the art, current regulations and / or study. Then, available constructive improvements are analyzed, which are evaluated according to ACCV to obtain values of thermal transmittance and estimated heating demand feasible to be demanded in the community, allowing to preserve the gas resource through energy efficiency, and thereby contribute to a sustainable development of the region.

Key words: Housing – Magellan – Thermal Envelope – Energy Efficiency – Life Cycle Costing Analysis.

Índice

Capítulo 1. Introducción	11
1.1 Hipótesis.....	13
1.1.1 Objetivo general.....	13
1.1.2 Preguntas de investigación	13
1.1.3 Objetivos específicos.....	14
1.2 Metodología propuesta.....	15
1.3 Estructura del documento.....	17
Capítulo 2. Análisis comparativo de la reglamentación térmica nacional e internacional aplicada a viviendas de clima frío – oceánico	18
2.1 Antecedentes de la reglamentación térmica internacional para clima frío oceánico	26
2.1.1 Las normas de construcción sustentable en Norteamérica.....	27
2.1.2 Las normas de construcción sustentable en Columbia Británica, Canadá	29
2.2 La reglamentación y normativa térmica en Chile	33
2.2.1 Antecedentes generales.....	33
2.2.2 Ley y Ordenanza General de urbanismo y construcciones, artículo 4.1.10. y Manual de Reglamentación Térmica MINVU (RT parte 1 y 2).....	35
2.2.3 Calificación Energética de Viviendas – CEV.....	36
2.2.4 Norma Técnica MINVU N°11 para la Nueva Reglamentación Térmica OGUC.....	36
2.2.5 Estándares de Construcción Sustentable para Viviendas (ECSV).....	38
2.3 Análisis comparativo de la reglamentación térmica chilena vigente y/o en estudio, con respecto a la reglamentación térmica canadiense.	40
2.4 Conclusiones.....	43
Capítulo 3. Estado del Arte de la vivienda en Punta Arenas	44
3.1 Caracterización climática de la ciudad de Punta Arenas.....	45
3.1.1 Descripción climática de la Zona Sur Extremo.....	45
3.1.2 Análisis en Software Climat Consultant para Punta Arenas	48
3.2 Caracterización de la vivienda de la ciudad de Punta Arenas.....	51
3.2.1 La vivienda tradicional magallánica, 1848 – 1948	53
3.2.2 Las soluciones habitacionales sociales (CORVI – MINVU), 1948 – 2000.....	59

3.2.3	La vivienda de la Primera Reglamentación Térmica, 2000 – 2007.	63
3.2.4	La Vivienda de la Segunda Reglamentación Térmica, 2007 – 2018.....	64
3.2.5	Línea Base del desempeño energético de viviendas en Punta Arenas.....	66
3.3	Caracterización de las instalaciones térmicas de viviendas de Punta Arenas.....	72
3.4	Caracterización del usuario de la ciudad de Punta Arenas	74
3.5	Conclusiones	76
Capítulo 4.	Caso de estudio parte 1: análisis y simulación de un Caso Base según Reglamentación Térmica vigente para viviendas en Punta Arenas	77
4.1	Criterios para selección y modelación del Caso Base	78
4.1.1	Caracterización de las soluciones constructivas representativas de Punta Arenas.....	80
4.1.2	Algunas consideraciones referidas a las soluciones constructivas y materialidades disponibles en Punta Arenas.....	82
4.1.3	Parámetros para simulación energético – ambiental en Software Design Builder.....	86
4.2	Descripción del Caso Base y simulación energético ambiental	88
4.3	Análisis de resultados de desempeño energético del Caso Base.....	89
Capítulo 5.	Caso de estudio parte 2: análisis y simulación de estándares de envolvente térmica para viviendas en Punta Arenas a partir del Caso Base	91
5.1	Proposición de estándares mediante Sistema Prestacional de Jerarquías	91
5.2	Criterios para la proposición y modelación de mejoras según estándares	95
5.3	Descripción de mejoras y verificación mediante simulación energético ambiental.....	98
5.4	Análisis de resultados de la simulación energético – ambiental	104
Capítulo 6.	Caso de estudio parte 3: evaluación de estándares de envolvente térmica aplicando criterios de rentabilidad social mediante Análisis de Costos de Ciclo de Vida	110
6.1	Marco metodológico y conceptual de la Rentabilidad Social y el Análisis de Costos de Ciclo de Vida.....	111
6.1.1	Rentabilidad Social.....	111
6.1.2	Análisis de Costos de Ciclo de Vida.....	114
6.1.3	Cálculo de Costos de Ciclo de Vida.....	114

6.2	Análisis de Costos de Ciclo de Vida de estándares de envolvente térmica.....	116
6.2.1	Cálculo de los Costos Iniciales.....	119
6.2.2	Cálculo de los Operacionales.....	123
6.2.3	Cálculo de Costos de Ciclo de Vida.....	124
6.3	Evalución y comparación de resultados del Análisis de Costos de Ciclo de Vida.....	126
6.4	Evalución y comparación de resultados del Análisis de Costos de Ciclo de Vida.....	129
Capítulo 7.	Conclusiones.....	133
7.1	Conclusiones generales.....	133
7.2	Consideraciones para el cumplimiento de estándares mínimos óptimos	135
7.3	Futuras investigaciones sugeridas	137
	Referencias bibliográficas.....	138

Índice de figuras

Figura 1. Disponibilidad de recursos fósiles en la Región de Magallanes y Antártica Chilena.	20
Figura 2. Similitudes geográficas zona Sur Extremo de Chile y costa oeste norteamericana.....	22
Figura 3. Regiones climáticas americanas de clima frío oceánico.	23
Figura 4. Gráfico resumido de los climas del mundo.	26
Figura 5. Portadas de normas y códigos de construcción norteamericanos.	29
Figura 6. Esquema de aplicación del NECB Canadá 2011.	30
Figura 7. Mapa de las zonas climáticas de Columbia Británica.....	31
Figura 8. Sello de calificación energética de viviendas.	36
Figura 9. Exigencias de demanda de calefacción propuestas por la NTM-11 y cuadro esquemático nacional de demandas energéticas.....	38
Figura 10. Zona Sur Extremo y su detalle climatológico.	46
Figura 11. Rango mensual de temperaturas Punta Arenas.	48
Figura 12. Rango mensual de temperaturas y radiación solar Punta Arenas.	49
Figura 13. Rango mensual de velocidad de viento Punta Arenas.	49
Figura 14. Rosa de los vientos Punta Arenas.	50
Figura 15. Temperatura de bulbo seco y temperatura de rocío Punta Arenas.	50
Figura 16. Actual zona urbana de Punta Arenas y ubicación figura 17.....	51
Figura 17. Crecimiento urbano de Punta Arenas en anillos concéntricos, siglos XIX y XX.....	51
Figura 18. Set de fotografías de viviendas tradicionales de volumen simple	54
Figura 19. Set de fotografías de ventanas y puertas de viviendas tradicionales.	58
Figura 20: Set de fotografías que demuestran similitudes entre viviendas de Punta Arenas (Chile) y Victoria (Canadá).....	62
Figura 21: Set de fotografías de viviendas construidas bajo la Reglamentación Térmica.	63
Figura 22. Imagen de vivienda Villa Pudeto.	65
Figura 23. Imagen de vivienda Impasivhaus.	65
Figura 24. Gráfico comparativo de consumos energéticos máximos y mínimos entre categorías proyecto Innova - Corfo 15BPCR - 48594.....	68
Figura 25. Porcentajes de variación del consumo energético entre categorías proyecto Innova - Corfo 15BPCR - 48594	68
Figura 26. Gráfica de ahorro propuesto por Calificación Energética de Viviendas.....	69

Figura 27. Diagrama de Sankey representando el balance energético de calefacción.....	77
Figura 28. Porcentajes de vivienda por tipología de altura en pisos y agrupamiento.....	78
Figura 29. Fotografía de vivienda seleccionada para Caso Base.....	79
Figura 30. Porcentajes de viviendas según materialidades existentes en Punta Arenas.	81
Figura 31. Sistemas constructivos para envolventes del mercado nacional en Punta Arenas.	81
Figura 32. Horarios de ocupación para simulación energético ambiental según B.M. Johnson	87
Figura 33. Plano de emplazamiento y planos de arquitectura de vivienda Caso Base.....	88
Figura 34. Gráfica resumen de los porcentajes de pérdida por elementos, Proyecto INNOVA - CORFO.....	90
Figura 35. Niveles de jerarquía Modelo NKB	92
Figura 36. Gráfica de definición de un Estándar de Desempeño Aceptable (EDAn).....	93
Figura 37. Línea base energética y estándares de desempeño aceptable.....	93
Figura 38. Concepto de Sustentabilidad en Edificios (EN-UNE 15978).	112
Figura 39. Comparación de rentabilidad social mediante ACCV para estándares propuestos.....	127
Figura 40. Set de fotografías de la vivienda IMPASIVHAUS, usada de base para la proposición de estándares mínimos óptimos.....	132

Índice de tablas

Tabla 1. Datos generales de Victoria (Canadá) y Punta Arenas (Chile).....	23
Tabla 2. Gráfico comparativo de estándares socio económicos de Chile y Canadá.	24
Tabla 3. Cuadro resumen de los Estándares de Construcción Sustentable de Viviendas.....	36
Tabla 4. Comparación Reglamentación Térmica Chile (Zona SE) y Canadá (Columbia Británica). ...	41
Tabla 5. Requerimientos de desempeño para edificaciones propuestas por el BCBC al 2032.....	42
Tabla 6. Cuadro resúmen de características climáticas Zona Sur Extremo.....	48
Tabla 7. Resumen de viviendas según Censo de 2017.....	52
Tabla 8. Catastro estimado de viviendas de Punta Arenas por período histórico.....	52
Tabla 9. Resumen permisos de edificación Punta Arenas según Instituto Nacional de Estadísticas y porcentaje de tipologías por piso.....	64
Tabla 10. Muestra línea base constructiva período 2008 – 2014 según proyecto Innova – Corfo. .	66
Tabla 11. Categorización de casas según parámetro del proyecto Innova – Corfo	67
Tabla 12. Muestra línea base constructiva de viviendas período 2008 – 2014 según proyecto Innova – Corfo 15BPCR – 48594	69
Tabla 13. Consumo energético de viviendas en Punta Arenas v/s metas ECSV al 2050.....	70
Tabla 14. Resumen Parque Habitacional 2008 – 2018, proyectos SERVIU e Inmobiliarios.	71
Tabla 15. Porcentaje de reducción de demanda en función del factor de adosamiento.....	79
Tabla 16. Listado de materiales de construcción de origen y/o fabricación regional.	83
Tabla 17. Resumen de parámetros simulación energético ambiental en Design Builder.	87
Tabla 18. Resultados de simulación energético ambiental en Design Builder.	89
Tabla 19. Resultado porcentajes de pérdida de calefacción según simulación Design Builder.....	90
Tabla 20. Cuadro resumen de estándares analizados.....	95
Tabla 21. Resultados de simulación Caso 1 en Software Design Builder.....	104
Tabla 22. Resultados de simulación Caso 2 en Software Design Builder.....	105
Tabla 23. Resultados de simulación Caso 3 en Software Design Builder.....	106
Tabla 24. Resultados de simulación Caso 4 en Software Design Builder.....	107
Tabla 25. Resultados de simulación Caso 5 en Software Design Builder.....	108
Tabla 26. Cálculo de Costos Iniciales para el Caso Base.....	119
Tabla 27. Cálculo de Costos Iniciales para el Caso 1.	120
Tabla 28. Cálculo de Costos Iniciales para el Caso 2 (parte 1).	120

Tabla 29. Cálculo de Costos Iniciales para el Caso 2 (parte 2).	121
Tabla 30. Cálculo de Costos Iniciales para el Caso 3.	121
Tabla 31. Cálculo de Costos Iniciales para el Caso 4.	122
Tabla 32. Cálculo de Costos Iniciales para el Caso 5 (parte 1)..	122
Tabla 33. Cálculo de Costos Iniciales para el Caso 5 (parte 2)..	123
Tabla 34. Cálculo de Costos Operacionales por ahorro de gas natural según casos propuestos... 123	
Tabla 35. ACCV Caso 1.....	124
Tabla 36. ACCV Caso 2.....	124
Tabla 37. ACCV Caso 3.....	125
Tabla 38. ACCV Caso 4.....	125
Tabla 39. ACCV Caso 5.....	126
Tabla 40. Cuadro comparativo de ACCV para los casos estudiados.	126
Tabla 41. Modificaciones al Caso 4 para lograr mínimos óptimos de transmitancia térmica.	131

Índice de ecuaciones

Ecuación 1. Similitudes geográficas zona Sur Extremo de Chile y costa oeste norteamericana.	5
Ecuación 2. Similitudes geográficas zona Sur Extremo de Chile y costa oeste norteamericana.	5
Ecuación 3. Similitudes geográficas zona Sur Extremo de Chile y costa oeste norteamericana.	5
Ecuación 4. Similitudes geográficas zona Sur Extremo de Chile y costa oeste norteamericana.	5
Ecuación 5. Similitudes geográficas zona Sur Extremo de Chile y costa oeste norteamericana.	5
Ecuación 6. Similitudes geográficas zona Sur Extremo de Chile y costa oeste norteamericana.	5

Capítulo 1. Introducción

El descubrimiento y explotación de yacimientos de petróleo y gas en las provincias de Magallanes y Tierra del Fuego a mediados del siglo XX, es coincidente con la implementación de políticas habitacionales nacionales, levantándose a partir de esa época en Punta Arenas una serie de villas y poblaciones al alero de la Corporación para la Vivienda (CORVI), y más tarde por el Ministerio de Vivienda y Urbanismo. Hasta entonces, prevalecía la vivienda tradicional regional de madera, la que en sus más de 100 años de desarrollo había logrado cierta adaptación al clima estepárico – frío, con técnicas aportadas por carpinteros chilotes e inmigrantes europeos provenientes de climas fríos, que arriban al puerto siguiendo la ruta marítima hacia la costa oeste de Norteamérica por el Estrecho de Magallanes (Martinic, 2005). De este modo, las nuevas viviendas no consideran las estrategias de diseño que mitigaban el bajo comportamiento térmico de la casa magallánica, y que hoy podríamos describir como “sustentables”, tales como su diseño compacto, uso de cámaras de aire como aislante térmico bajo piso y en techumbres, tabiques de madera revestidos y aislados con barro y paja, doble ventana y exclusas de acceso, entre otras características.

Mientras el mundo sufre las consecuencias de la crisis energética de 1973, la ciudad es abastecida con gas natural regional, en un principio abundante y de bajo costo, con el cual es posible mitigar la escasa protección térmica de las viviendas, generándose altos consumos de calefacción que parecían poco relevantes ante el importante desarrollo económico regional. Más adelante, cuando los costos de extracción y transporte del gas se encarecen, el Estado decide aplicar subsidios que mantienen el precio del gas un 70% más bajo con respecto al resto del país, perdiéndose paulatinamente el sentido de un consumo responsable y eficiente de la energía. Ya iniciado el siglo XX, y pese a que la normativa chilena va incorporando exigencias térmicas a la envolvente de edificaciones (NCh 853 de 1991), no se logra obtener una disminución significativa de las demandas de calefacción, ya que al bajo desempeño térmico de las viviendas se debe sumar un alto nivel de infiltraciones (Díaz, 2015). Lo anterior, provoca demandas de calefacción en viviendas nuevas cuatro o cinco veces mayores a los 150 kwh/m²/año planteados por la NTM-11 para el 2020, y muy superiores a los 15 kwh/m²/año requeridos para una certificación “Passive Haus”.

En 2017, Chile ratificó el Acuerdo de París, comprometiendo los máximos esfuerzos para enfrentar el Cambio Climático mediante la disminución de las emisiones de gases de efecto invernadero para que el aumento global de temperaturas se sitúe "muy por debajo" de los 2°C con respecto a la era preindustrial, e inferior a los 1,5°. El mismo año, Chile alcanzó el primer lugar en inversión de energías renovables y en la lucha contra el cambio climático en la región de América Latina y el Caribe ¹, superando incluso a Estados Unidos y Canadá en el reemplazo de energías fósiles por Energías Renovables No Convencionales (ERNC), lo que indica que el país estaría en condiciones de cumplir con los objetivos del COP21 para el año 2050. Esta llamada "revolución energética" (Pacheco, 2018), no se condice con los altos niveles de demanda energética presentes en las edificaciones, al postergarse la aplicación de normas que promueven una adecuada eficiencia y sustentabilidad. Más aún, la reglamentación térmica chilena sólo es obligatoria para edificaciones nuevas y no considera exigencias de hermeticidad y confort higrotérmico, pese a la amplitud de climas del territorio nacional, siendo particularmente extremo para el caso de Punta Arenas. Al respecto, la dilatada NTM 11, usada como base para el código de construcción conocido como "Estándares de Construcción Sustentable para Viviendas" (ECSV), plantea apuestas cercanas a estándares internacionales, aunque no se ha podido verificar su aplicabilidad en la realidad socioeconómica nacional.

El presente trabajo hace una comparación entre la normativa térmica vigente para la ciudad de Punta Arenas y la ciudad de Victoria, capital de la provincia de Columbia Británica (Canadá), con el objeto de verificar establecer identificar elementos que pudiesen ser incorporados a la normativa nacional. Sin embargo, atendiendo a las diferencias culturales y económicas de ambas localidades, y lejos de replicar a priori la normativa canadiense, se propuso establecer valores de transmitancia térmica mínimos óptimos para envolventes de viviendas de la zona Sur Extremo de Chile, aplicando para ello metodologías que permiten evaluar la rentabilidad social de las mejoras posibles a las envolventes tipo, a través del análisis de costos de ciclo de vida de las soluciones constructivas disponibles en el mercado local, con el objeto de reducir al máximo las demandas de energía en calefacción, mejorando además la calidad y confort ambiental interior de las viviendas.

En la última versión del New Energy Finance Climacope elaborado por Bloomberg New Energy Finance y el Banco Interamericano de Desarrollo, Chile alcanzó el primer lugar en inversión de energías renovables y en la lucha contra el cambio climático en la región de América Latina y el Caribe (MINENERG, 2017).

1.1 Hipótesis

“Los actuales indicadores de calidad de vida y bienestar socioeconómico existentes en la Región de Magallanes, permiten exigir mejores estándares de eficiencia energética y construcción sustentable, con respecto a estándares oficiales vigentes y en estudio (OGUC – NTM 11 – ECSV) y tan altos posibles como los exigidos en regiones similares de Norteamérica. Lo anterior, permitiría disminuir las demandas de calefacción de viviendas en más de un 50% con respecto a la media de demanda de calefacción actual, permitiendo cumplir, por ejemplo, con la demanda de 30 kWh/m²/año planteada por la NTM-11 para la zona Sur Extremo en el año 2050”.

1.1.1 Objetivo general

Definir valores de transmitancia térmica mínimos óptimos según criterios de rentabilidad social por Análisis de Costos de Ciclo de Vida para envolventes de vivienda de la Zona Climática Sur Extremo, con el objeto de reducir su demanda de energía en calefacción, y mejorar su calidad habitable.

1.1.2 Preguntas de investigación

Con el objeto de dar respuesta al objetivo general antes descrito, se plantean las siguientes preguntas de investigación, las cuales deberán ser respondidas a través de los objetivos específicos descritos más adelante:

1. ¿Cuáles son los actuales estándares de envolvente térmica de vivienda vigentes y/o en estudio, aplicables a la ciudad de Punta Arenas y a cuáles demandas de energía se relacionan?
2. ¿Cuáles son los valores de transmitancia térmica mínimos factibles de obtener con los sistemas constructivos actualmente usados para construcción de viviendas en Punta Arenas?
3. ¿Cuáles son los valores de transmitancia térmica para viviendas en países desarrollados asimilables al caso chileno y a cuáles valores de demanda de energía se relacionan?
4. ¿Cuáles son los valores de transmitancia térmica mínimos factibles de exigir en Punta Arenas, según las soluciones constructivas disponibles y la realidad socioeconómica regional?
5. ¿Cómo se relacionan esos valores mínimos con la norma NTM-11 y los Estándares de Construcción Sustentable para Viviendas promovidos por MINVU?

1.1.3 Objetivos específicos

Objetivo específico 1: Determinar el estado del arte de la vivienda en Magallanes, analizando los aportes de envolventes de la vivienda tradicional, comparándolos con las envolventes de viviendas de épocas posteriores hasta los modelos actuales. Identificar características de envolventes, materiales, criterios y elementos de diseño que puedan ser un aporte a los modelos actuales. Se analizarán las bases de datos del Proyecto INNOVA CORFO 15BPCR – 48594 “Generación de Estándares de Construcción en la Región de Magallanes y Antártica Chilena, a través de Eficiencia Energética y Uso de Energías Renovables”. Se analizarán además investigaciones de autores regionales en temas de vivienda tradicional y desarrollo de los asentamientos urbanos, incluyendo análisis de bases de datos de la Dirección de Obras Municipales e Instituto de la Patagonia.

Objetivo específico 2: Identificar el estado del arte de los estándares nacionales aplicados a Magallanes, efectuando un análisis comparativo con países americanos que cuentan con regiones homologables a la Zona climática Sur Extremo de Chile (Canadá). Propuesta preliminar de estándares ideales para análisis, valor U y demanda energética. Se analizarán comparativamente los estándares propuestos por las normas chilenas vigentes y en estudio, así como las normas y Códigos de Construcción y de Eficiencia Energética vigentes en Canadá.

Objetivo específico 3: Proposición y modelación de casos base (línea base local), identificando valores U y de demanda energética según tipo de envolvente y materialidad (aplicación de software de simulación Design Builder). Se seleccionarán modelos representativos de viviendas para establecer un Caso Base, analizando las demandas energéticas de estos mediante simulación energético - ambiental con software Design Builder.

Objetivo específico 4: Efectuar una evaluación de rentabilidad social y análisis de costos de ciclo de vida de modelos alternativos simulados a partir del caso base, con el objeto de establecer estándares de envolvente eficiente adecuados a la realidad de Magallanes (aplicación de software de simulación Design Builder y de herramientas de evaluación social disponibles en el país). En base a la información recabada, se evaluará la rentabilidad social obtenida para los casos propuestos, previa simulación energético – ambiental, en términos de calidad de la envolvente, infiltraciones, porcentaje de aberturas y factor de forma, proponiendo sistemas de calefacción alimentadas con gas natural. Se propondrán distintos niveles de exigencia y se seleccionarán los

que generen una mejor rentabilidad social para el contexto de la región dentro de parámetros aceptables de emisión de CO₂.

Objetivo específico 5: Efectuar un análisis comparativo de resultados con el objeto de identificar los valores U de envolventes y de demanda energética óptimos para la región de Magallanes. Se detallarán las conclusiones de los estudios precedentes, presentando los valores U y de demanda energética propuestos para ser incorporados en normas con carácter obligatorio y/u optativo según corresponda.

1.2 Metodología propuesta

Para enfrentar la investigación, se plantean una serie de etapas, cada una de las cuales incluye diferentes desarrollos metodológicos incluyendo investigación de campo, estudios de casos, planteamientos de modelos para simulación energético ambiental y análisis de ciclo de vida ex – ante. Se proponen las siguientes etapas metodológicas:

Etapas 1: Definición de la línea base de la vivienda en Magallanes

Se propone definir una línea base de la vivienda en Magallanes objeto precisar el estado del arte. Se consideran las siguientes actividades:

- Confección de plano catastral referencial de los actuales barrios y poblaciones residenciales, singularizando su antigüedad y los modelos de viviendas aplicados. Para la confección del plano se analizarán bases de datos de la Dirección de Obras Municipales, así como levantamientos catastrales de vivienda, lo cual se verificará con trabajo de campo.
- Individualización de los distintos modelos de viviendas existentes, a partir de plano anterior, caracterizadas según período histórico, fecha de construcción, sistemas constructivos y demandas energéticas estimadas. Para lo anterior, se consultarán investigaciones realizadas por el Centro de Estudios de los Recursos Energéticos (CERE – UMAG).
- Levantamiento de modelos de vivienda más representativos, con el objeto de efectuar simulaciones energético – ambientales para precisar valores U de envolvente térmica y demandas de calefacción.

Etapas 2: Revisión del estado del arte: análisis comparado de estándares de Chile y Canadá

- Descripción del estado del arte de la normativa nacional. Análisis de requerimientos para zona climática asimilable a zona SE de la NCh 853-1991, NCh 1079-2008 y proyecto NTM-11. Confección de cuadro comparativo de estándares relevantes.
- Descripción del estado del arte de la normativa canadiense y análisis comparado con el caso chileno.

Etapas 3: Investigación de alternativas de mejoramiento con respecto al Caso Base

- Proposición de modelos para Caso Base y simulación energético – ambiental en software Design Builder de los mismos. Se incluye descripción de variables climáticas locales.
- Proposición mejoras de envolvente mediante aplicación de sistemas constructivos existentes a nivel local. Simulación energético – ambiental en software Design Builder de los mismos.
- Aplicación de experiencia metodológica desarrollada por CITEC – UBB para proyecto “SERVICIO DE EVALUACIÓN DE LA RENTABILIDAD SOCIAL DE LA INCORPORACIÓN DE EFICIENCIA ENERGÉTICA EN EDIFICIOS PÚBLICOS (LICITACIÓN PÚBLICA ID730566-15-LE14)”. Dicha metodología está basada en el análisis de costos de ciclo de vida para análisis ex – ante de la rentabilidad social de inversiones en Eficiencia Energética y Ahorro de Agua incorporada en diseños de proyectos de edificios públicos postulados al Sistema Nacional de Inversiones (SNI); metodología general aplicable a los casos en que se dispone de los diseños y especialidades de las edificaciones. Los resultados serán contrastados con un análisis de costos de ciclo de vida de cada modelo, con el objeto de identificar su rentabilidad social.

Etapas 4: Tabulación de datos y proposición de estándares mejorados (valor U en relación a demanda kwh/m2/año).

- Identificación de los modelos rentabilidad social según el análisis de costos de ciclo de vida. Identificación de valor U, infiltraciones y de demanda de calefacción factibles de ser exigidos en envolventes térmicas locales. Redacción de conclusiones.

1.3 Estructura del documento.

El trabajo de investigación se ordena en 7 capítulos donde se desarrollan las etapas de investigación, complementándose además con un cuerpo de documentos referidos en el texto pero que se consideraron dispensables y se presentan en el apartado Anexos.

El capítulo primero presenta la organización general de la investigación y el marco metodológico general de la investigación.

El segundo capítulo corresponde a la descripción del marco teórico de la investigación, indicándose el estado del arte de la normativa nacional referida a eficiencia energética y análisis comparativo de la normativa nacional y canadiense vigentes identificando valores límite exigidos.

El tercer capítulo presenta una caracterización de las viviendas construidas en la zona urbana de la ciudad de Punta Arenas, con el objeto de definir un universo de estudio para la definición de muestras y selección de casos según tipología constructiva representativa.

El cuarto capítulo describe las simulaciones efectuadas a los casos de estudio según tipología constructiva, objeto determinar la demanda energética y contrastar resultados con los obtenidos por el Proyecto INNOVA CORFO CERE-UMAG 2018 “Generación de Estándares de Construcción en la Región de Magallanes y Antártica Chilena, a través de Eficiencia Energética y Uso de Energías Renovables” y determinar una línea base.

El quinto capítulo describe los para la proposición de mejoras a los casos de estudio, así como los resultados de simulación para determinar la demanda energética resultante.

El sexto describe los criterios y la formulación de los estudios de rentabilidad social y análisis de costos de ciclos de vida a ser aplicados a los paquetes de simulaciones y su desarrollo.

El capítulo séptimo presenta las conclusiones generales del estudio y propone futuras líneas de investigación identificadas a través del presente trabajo investigativo.

Capítulo 2. Análisis comparativo de la normativa térmica nacional e internacional aplicada a viviendas de clima frío – oceánico en América.

“Las leyes demasiado benignas rara vez son obedecidas; las demasiado severas, rara vez ejecutadas” (Franklin, 1780)

Introducción

Cada vez son más los países desarrollados en el mundo cuyas reglamentaciones térmicas han ampliado el objetivo de una óptima eficiencia energética en las edificaciones, debido a la escasez o alto precio de la energía, hacia una mirada sustentable, no solo preocupadas del período de operación del edificio, sino que a lo largo de su ciclo de vida, no siendo suficiente el ahorro energético, sino que la urgente disminución de las emisiones de gases de efecto invernadero para evitar los efectos de un inminente cambio climático en las generaciones presentes y futuras.

Si bien es cierto, en Chile se están promoviendo una serie de iniciativas para propender a una construcción sustentable, en la práctica estas han tenido cierta resistencia en el sector de la construcción, ya sea por desconocimiento general del tema o por la falta de interés en promover cambios que pudiesen encarecer la industria. La realidad es que solo existe a la fecha una reglamentación térmica que tiene la intención de obtener cierta eficiencia energética de las envolventes, pero que no cuenta con herramientas para constatarla, más aún, posee valores comparativamente pobres con respecto a reglamentaciones internacionales, pese a que Chile fue el primer país latinoamericano en contar con una normativa térmica. Bien podríamos estar ante una normativa demasiado “benigna” para la industria nacional de la construcción, o al menos a su medida, lo que podría explicar el retraso en la promulgación de iniciativas MINVU que fijan estándares de construcción sustentable más actualizados con respecto a la realidad internacional, o la falta de obligatoriedad de los Estándares de Construcción Sustentable de Viviendas, elaborados bajo la influencia de códigos británicos de construcción. Lo cierto, es que estas normativas se han debido utilizar, pero por motivos de salud, mediante los Planes de Prevención y Descontaminación Atmosférica (PPDA) que han sido aplicados como medidas medioambientales en 10 comunas del país afectadas con altos niveles de contaminación atmosférica, y en vías de ser aplicadas en 13 comunas adicionales, abarcando casi un 60% de la población país.

¿Por qué es necesaria una reglamentación térmica más estricta en Punta Arenas?

La problemática de la sustentabilidad y la eficiencia energética a nivel nacional, posee particulares matices en la región de Magallanes y en especial, en la ciudad de Punta Arenas, donde la todavía abundante presencia de gas natural y la imposibilidad de ocurrencias de emergencias medioambientales por contaminación atmosférica, generan un singular entorno energético.

En el país, solo existen 6 comunas que cuentan con ductos de gas natural conectados directamente a pozos de gas natural locales: Punta Arenas, Natales, Laguna Blanca y San Gregorio en la provincia de Magallanes; Porvenir y Primavera en la provincia de Tierra del Fuego. Este importante sistema interconectado de gas natural magallánico, abastecido desde los pozos ubicados en el tramo oriental del Estrecho de Magallanes, a través de los Contratos Especiales de Operación (CEOP) vigentes, han consolidado el carácter mono – energético de las provincias de Magallanes y Tierra del Fuego, incluida la comuna de Natales, con abastecimiento de gas natural para generación térmica y eléctrica. Por este motivo, al provocarse la crisis del gas del año 2011, gatillada por el aparente agotamiento del recurso, y que provocó el cierre de tres de los cuatro trenes de producción de Metanol más importantes de Latinoamérica, la región se opuso en forma transversal al alza del gas propuesto por el gobierno de turno, el cual había dispuesto recortar los subsidios del estado, dejando en evidencia, por una parte, la exclusiva y dependencia del gas en la frágil matriz energética regional y, por otra, las altas brechas de pobreza energética existente dentro de la región, al existir comunas y localidades como Puerto Williams y Puerto Edén, que dependen del uso de la leña o el gas licuado para calefacción, y aún de petróleo para electricidad.

Esta crisis generó a su vez la formulación del plan denominado “Política Energética Magallanes y Antártica Chilena 2050”, el cual fijó una hoja de ruta para ese año, sustentado en cuatro pilares estratégicos que fueron elaborados con la participación de la comunidad:

1. “Uso eficiente de nuestra energía”.
2. “Desarrollo diversificado de nuestros recursos energéticos”.
3. “Acceso a energía segura y de calidad”
4. “Fortalecimiento regional”.

Si bien es cierto, esta política energética plantea la necesidad de ampliar la matriz energética, también hace notar el carácter productor y exportador de energías fósiles que posee la región, reimpulsado en los últimos años mediante los mencionados contratos especiales de operación para la exploración y explotación de nuevos pozos de petróleo y gas, y consolidado con la apertura

de la segunda mina de carbón sub – bituminoso activa en la región², la Mina Invierno (del grupo económico Angellini – Von Appen), la que, con una producción superior a los 2 millones de toneladas anuales, reparte el 54% de su producción para exportación a España e India, mientras que el 46% restante es dedicado para abastecer las plantas termoeléctricas del Sistema Interconectado Norte Grande (SING) y del Sistema Interconectado Central (SIC), con el importante daño medioambiental que ello conlleva.

La crisis energética del 2011 también se transformó en una nueva oportunidad de negocio para la industria carbonífera de la región, la que concentra el 95% de la producción nacional, efectuando estudios para implementar una planta de producción de gas sintético a partir de carbón sub – bituminoso. De igual modo, ENAP contrató la exploración de nuevos recursos fósiles como el gas no convencional “tight gas”, los que podrían llegar a una cantidad de 8,3 trillones de pies cúbicos refrendados por el Servicio Geológico de Estados Unidos (USGS, 2016).

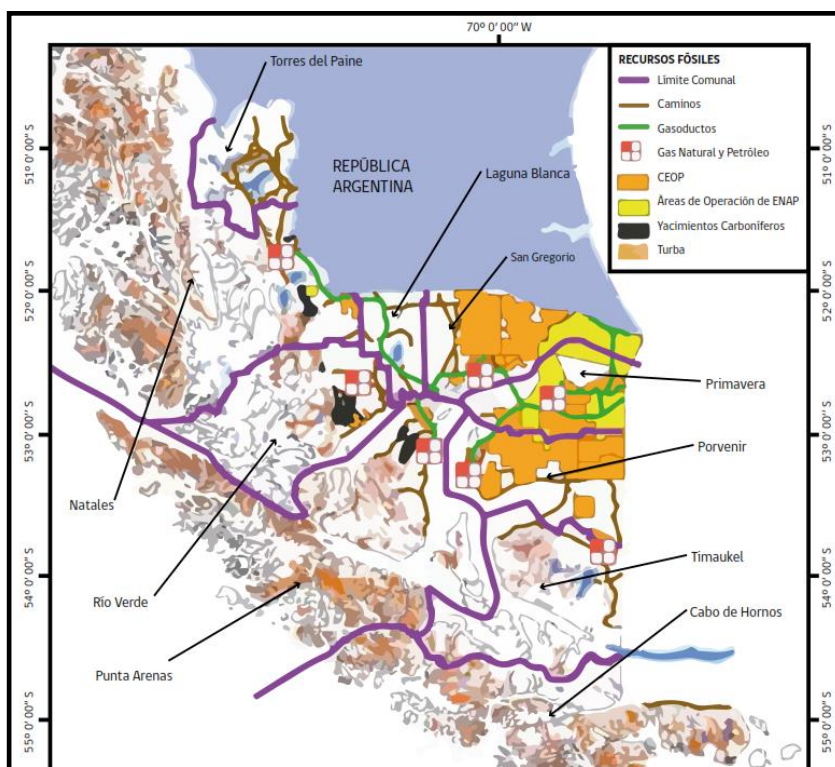


Figura 1: Disponibilidad de recursos fósiles en la Región de Magallanes y Antártica Chilena (FUENTE CERE – UMAG).

A partir de 1981, inició su explotación la actual Mina Pecket, cercana a la ciudad de Punta Arenas, con un record histórico de 1.262.847 de toneladas anuales y una cifra actual cercana a las 300.000 toneladas anuales (Martinic, 2010).

Todo lo anterior, nos lleva a inferir que, independientemente al costo final para el consumidor magallánico, el gas (natural o sintético) continuará abasteciendo las mencionadas provincias, al menos durante los próximos 50 años, aunque con escasas posibilidades que la red interconectada de gas abarque nuevas localidades, por lo que es importante analizar el primer pilar de la Política Energética Magallanes 2050, referido a “Uso eficiente de nuestra energía”.

Según datos de la Secretaría Ministerial de Energía de Magallanes, el consumo promedio de gas por medidor en Punta Arenas alcanza los 347,7 m³ de gas natural, equivalentes a unos 3.668,24 kWh por cliente. Si consideramos que el consumo promedio de gas natural en Santiago es de 198 kWh, el consumo de Punta Arenas es equivalente a 18,52 veces el consumo de Santiago. Si consideramos que Santiago cuenta con cerca de 500.000 clientes de gas natural, y Punta Arenas cuenta sólo con cerca de 50.000, podemos constatar que el consumo de la totalidad de los clientes de gas natural de Punta Arenas equivale a cerca del doble del consumo de la totalidad de los clientes de gas natural de Santiago, lo que nos parece una cifra, a lo menos, alarmante. Si estas cifras las transformamos en huella de carbono, los clientes de gas natural de Santiago estarían aportando 20.255 toneladas de CO₂ eq/kWh versus las 37.521 toneladas de Punta Arenas.

A este primer antecedente, referido al consumo de gas natural para calefacción, ACS y cocción, en Punta Arenas, podemos incorporar el antecedente referido a las demandas de calefacción de viviendas, comparando el promedio nacional con valores medidos en Punta Arenas. Si el promedio nacional de demanda de calefacción alcanza valores entre los 140 a 150 kWh/m²/año, considerados altos según parámetros internacionales (equivale a un vehículo que rinde 4 km/litro) (A. Bobadilla, entrevista Diario Concepción, viernes 29 de abril de 2016), en Punta Arenas se han efectuado mediciones de entre 404 y 718 kWh/m²/año en viviendas nuevas, lo que equivaldría a comparar el rendimiento de un city car (20 km/litro) con un tracto camión (1,5 km/litro).

Si a lo anterior, consideramos que el sector residencial se lleva el 92% del consumo de gas natural de Punta Arenas, entonces la aplicación de estrictas normas de eficiencia energética en viviendas de Punta Arenas podría significar una drástica disminución de las demandas de calefacción, tan alta como sea posible mejorar la calidad de las envolventes térmicas de las viviendas. Se debe considerar además que la eficiencia energética en Magallanes no se relacionará con ahorros para los usuarios de gas natural, debido al bajo precio del recurso con respecto al resto del país.

¿Por qué es necesaria la comparación de la reglamentación térmica aplicada a Punta Arenas con una ciudad canadiense similar?

Para efectos de nuestra investigación, se ha propuesto comparar la reglamentación térmica con ciudades de locaciones similares a Punta Arenas, no solo en aspectos climáticos, sino que con escenarios de sustentabilidad comunes en ámbitos medioambientales, económicos y sociales. Por esta razón, una comparación con países europeos presentaría demasiadas distorsiones económicas, históricas y culturales, al tratarse además de países desarrollados que han superado la economía primaria, pero a costa de un alto impacto histórico en el medio ambiente inmediato y en el de sus colonias a ultramar. En ese sentido, es posible identificar las siguientes similitudes entre las ciudades – puerto de Punta Arenas y la canadiense Victoria, en la Columbia Británica:

a) Entorno medioambiental:

Ambas ciudades se emplazan en un clima frío – oceánico, con un entorno natural aún prístino y con importantes recursos forestales y energéticos que favorecieron el desarrollo de los asentamientos humanos en estos territorios inhóspitos, así como con importantes reservas de agua dulce almacenada en glaciares y campos de hielo. Las similitudes geográficas se hacen evidentes, caracterizadas por costas cordilleranas hundidas en el Océano Pacífico y desmembradas en islas y fiordos, con una espalda continental definida por la Cordillera de los Andes en el hemisferio sur, y la continuación de las Montañas Rocosas canadienses en el hemisferio norte.



Figura 2: Similitudes geográficas zona Sur Extremo de Chile y costa oeste norteamericana.

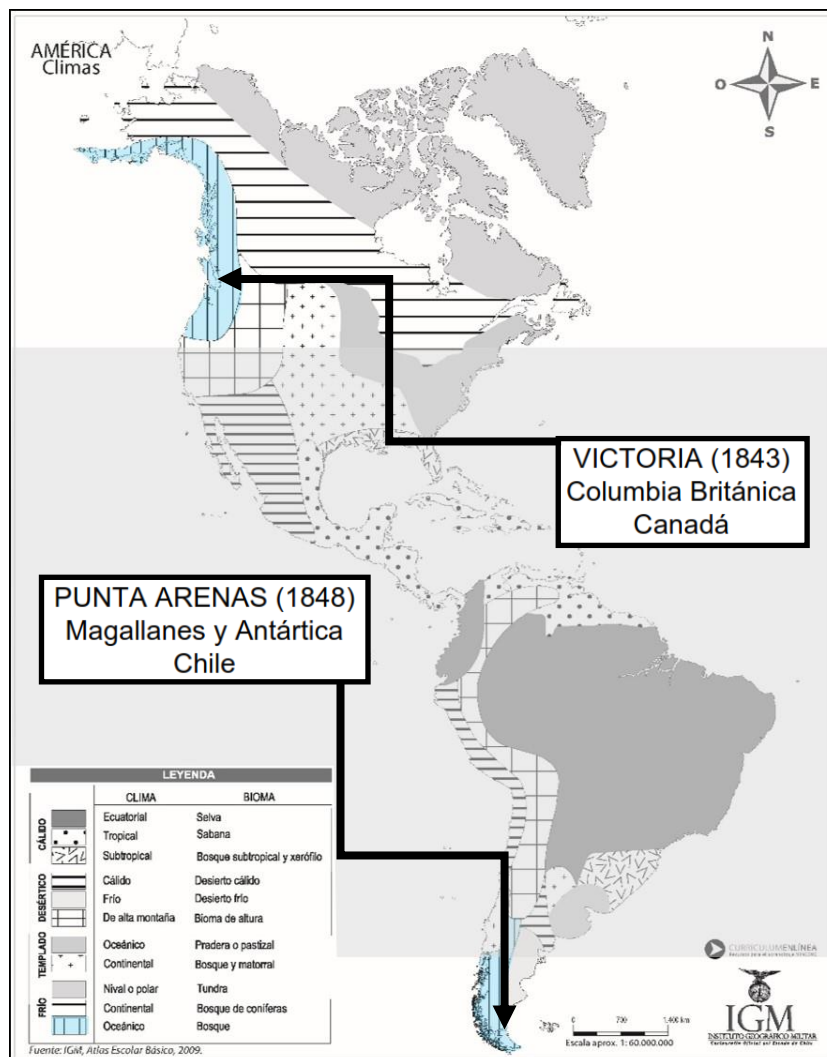


Figura 3: Regiones climáticas americanas de clima frío oceánico

DATOS COMPARATIVOS ENTRE CIUDADES		
DATOS	CHILE	CANADÁ
Ciudad	PUNTA ARENAS	VICTORIA
Ubicación	53°09'45"S 70°54'29"W	48°25'43"N 123°21'56"W
Capital de	Región de Magallanes y Antártica Chilena	Provincia de Columbia Británica
Año de fundación	1848	1843
Población urbana	131.592	85.792
Superficie Km2	39,03	19,47
Densidad	3.371,56 hab/km2	4.406,37 hab/km2

Tabla 1: Datos generales de Victoria (Canadá) y Punta Arenas (Chile)

b) Entorno económico:

Ambas regiones basan gran parte de su economía en la explotación y exportación de combustibles fósiles, como carbón, petróleo y gas natural, aunque para el caso de Canadá, es la provincia de Alberta, al este de Columbia Británica, la que posee la mayor producción nacional de energías fósiles, lo que sitúa al país como tercer productor mundial y principal abastecedor de EE.UU. Según lo anterior, existe una importante brecha económica entre ambos países, ya que Canadá es un país desarrollado con un PIB que triplica el PIB nacional y cuya economía se ha abierto a sectores secundarios y terciarios, junto con mencionar el importante del corredor tecnológico existente entre Vancouver y Seattle, EE.UU., el cual coloca a la provincia en una situación privilegiada. La Región de Magallanes y Antártica Chilena, por su parte, encabeza los índices de Bienestar Socioeconómico en Chile, particularmente en estándares de calidad de vivienda (0,658) y hacinamiento (0,904) (fuente IDERE 2016). Cabe mencionar además que, desde la incorporación de Chile a la OCDE en 2010, se han podido acortar brechas en temas tales como el índice de desarrollo humano (Chile 0,847 y Canadá 0,920 para 2015), incluso superando Chile a Canadá en porcentajes de uso de energías renovables (24,10% v/s 17,90%).

DATOS	CHILE	CANADÁ
POBLACIÓN	18.192.000 hab.	36.205.000 hab.
SUPERFICIE	756.096 km ²	9.984.670 km ²
ALIANZAS	Alianza del Pacífico, FMI, OEA, ONU, UNASUR	G20, G8, FMI, TLCAN, OTAN, OEA, OCDE, ONU, OSCE
IDH	0,847	0,920
PIB TRIM PER CAPITA	3.395 €	10.066 €
ENERGÍA RENOVABLE	24,10%	17,90%

Tabla 2: Gráfico comparativo de estándares socio económicos de Chile y Canadá

c) Entorno social y cultural:

Históricamente, se trata de ciudades fundadas a mediados del siglo XIX, con características de asentamientos fronterizos desarrollados a partir de economía primaria, conformados por fuertes contingentes de inmigración europea y participación de capital británico, ya sea por el hecho de que Victoria es la capital provincial de la colonia británica Canadiense ubicada en el Pacífico, o porque el auge económico de Magallanes se logra gracias a importantes capitales ingleses, tanto en la extinta actividad ballenera y vigente ganadería, así como en las flotas comerciales

transoceánicas y de explotación minera de carbón (Martinic, 2004). De esta forma, ambas localidades logran desarrollar similares condiciones de adaptación mediante la explotación de los recursos madereros, desarrollándose incluso una arquitectura de madera con ejemplos comunes de vivienda tradicional que incorpora elementos europeos de adaptación al frío. En cuanto a las características culturales, cabe mencionar la diferencia que tomaron los respectivos países con respecto a las etnias originarias desde el principio de los asentamientos, ya que, mientras en Canadá se gestionaron y promovieron reservas indígenas que existen hasta nuestros días, en Magallanes estas no dieron resultado, desprotegiéndose a los nativos hasta su exterminio violento o paulatino, sin haber preservado algún legado cultural de estos.

Consideraciones referidas a sustentabilidad y eficiencia energética.

Desde el punto de vista de las motivaciones normativas, tanto Canadá como Chile comparten un camino común hacia la eficiencia energética, desde la Conferencia Habitat I convocada en 1976 por la Asamblea General de las Naciones Unidas en la ciudad de Vancouver (Declaración de Vancouver sobre la sostenibilidad de los asentamientos humanos), pasando por la firma del protocolo de Kioto en 1997, hasta la salida definitiva de Canadá al citado acuerdo en el año 2012. Sin embargo, y pese a este último hecho, el país del norte dispuso una serie de iniciativas para acercarse a los desafíos impuestos para el año 2050, referidos a la disminución de la huella de carbono a través de la eficiencia energética y el reemplazo de energías fósiles por energías renovables, todas estas medidas impulsadas por el National Research Council de Canadá (NRCan).

Según estudios recientes, el promedio de consumo de energía para una vivienda en la ciudad de Victoria, Columbia Británica, solo alcanza los 213 kWh/m²/año, de los cuales el 51% es consumida en forma de gas natural (GNC), lo que implica un consumo de calefacción y cocción de 108,63 kWh/m²/año (Finch et al., 2010). Comparado con los 560 kWh/m²/año ponderado de demanda de calefacción para viviendas nuevas de Punta Arenas, podemos ver en forma preliminar que las viviendas de la ciudad canadiense demandan un quinto de la demanda de calefacción de viviendas nuevas de Punta Arenas, lo que representa una brecha de un 80% de ahorro en caso de replicar la reglamentación canadiense. Lo anterior, nos motiva a plantear que sí es factible, a lo menos, disminuir las demandas de calefacción en Punta Arenas en un 50% con la aplicación de una reglamentación térmica de carácter local.

2.1 Antecedentes de la reglamentación térmica internacional para clima frío oceánico.

Los climas del tipo frío oceánico se encuentran distribuidos en escasos lugares del mundo, destacándose el área nor – poniente de Europa (Irlanda, Reino Unido, Francia, Bélgica, Holanda, Alemania, Dinamarca y Noruega), el noroeste de América del Norte (Alaska y Canadá) y el extremo sur de América (Chile y Argentina) (figura 2.2).

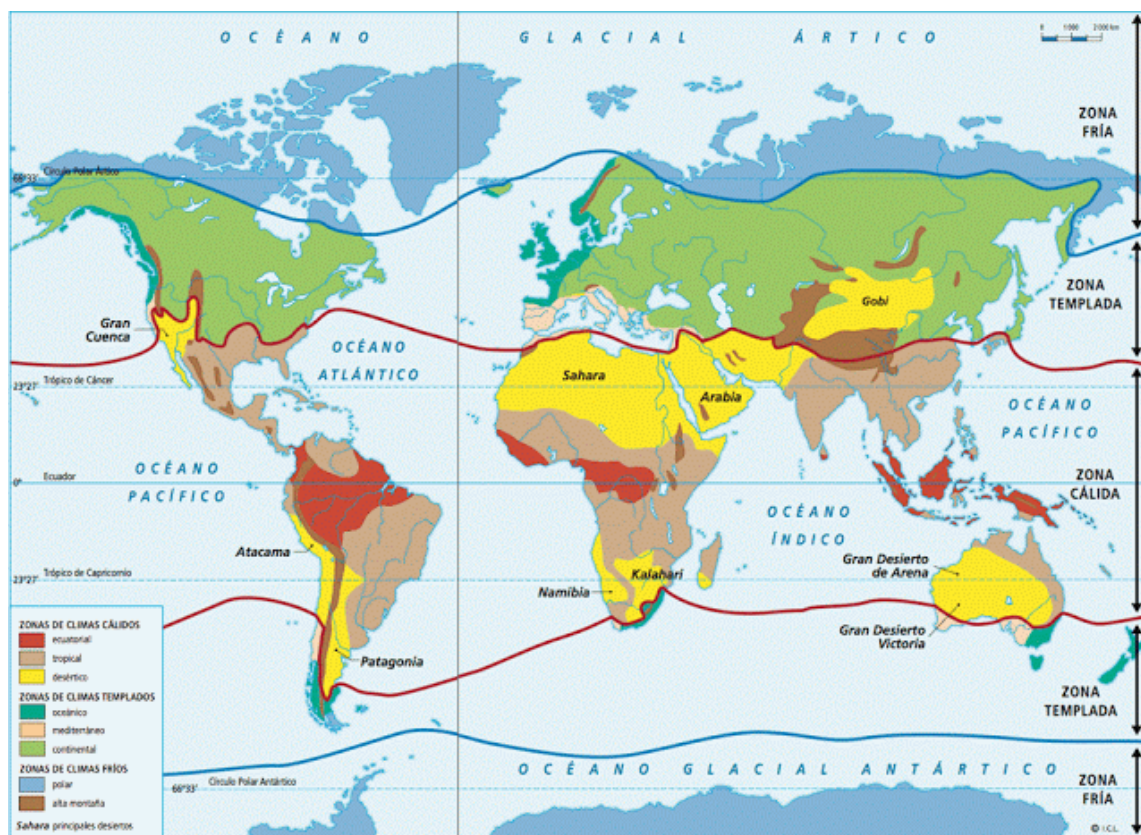


Figura 4: Gráfico resumido de los climas del mundo

Para efectos de la investigación, nos parece al menos interesante observar que las principales reglamentaciones térmicas internacionales se desarrollan desde países con un clima frío oceánico: tanto Inglaterra en 1965 (con el “National Buildings Regulations”) como Alemania en 1969 (con la norma “DIN 4108:1969”) implementaron reglamentaciones térmicas para evitar humedades y condensaciones en edificaciones (Teres et al, 2012). Sin embargo, la normativa internacional referida a edificación comenzó a considerar aspectos de eficiencia energética recién a partir de la crisis del petróleo de 1973, cuando el alza y restricción de suministros por parte de los países miembros de la OPEP hacen reaccionar a las grandes potencias consumidoras, las que a su vez buscan energías sustitutivas como la energía nuclear (Francia), o el aprovechamiento de residuos

de la madera (Estados Unidos y Canadá). Hasta entonces, cada país había optado por desarrollar estándares propios o a asimilar estándares a través de códigos regionales o internacionales de construcción, los que regían aspectos de habitabilidad y seguridad, muchas veces aplicados a través de ordenanzas (Kirkwood, 2010). A partir de la crisis, y con el fin de mitigar los impactos de la industrialización y la urbanización, comienzan a implementarse además algunos métodos de evaluación ambiental en Europa y muy particularmente en Norteamérica (Toth & Hiznyik, 1998).

A partir de los años 90, y como reacción al Informe Brunstland de 1987 “Nuestro futuro común”, aparece el concepto del Desarrollo Sostenible como una forma de “satisfacer nuestras necesidades actuales sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras de satisfacer las suyas”. Este concepto, ratificado en la Cumbre de la Tierra de 1992 y asumido en una serie de tareas multinacionales en el “Protocolo de Kioto” de 1997, motivó el desarrollo y divulgación de normas y códigos de construcción sustentable en las principales potencias económicas, siendo desarrollado a partir de 1991 el concepto Passive Haus en Alemania para edificación nueva.

2.1.1 Las normas de construcción sustentable en Norteamérica.

En Norteamérica, “The American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers” emite en 1975 la primera norma en plantear exigencias de eficiencia energética a edificaciones, exceptuando las de uso residencial de poca altura. Se trata de la norma ASHRAE 90.1, tan relevante que hasta el presente es considerada como el estándar base o línea base para la aplicación de normas relacionadas con la “construcción sustentable”, así como en softwares de simulación energético – ambiental de edificaciones. (De Marco, 2013).

Otras normativas y reglamentaciones que incluyen estándares de eficiencia energética son:

- International Energy Conservation Code (IECC, 2000)
- International Building Code (IBC, 1997)
- International Plumbing Code (IPC, 1995)
- International Mechanical Code (IMC, 1996)

Con el fin de incorporar requerimientos de sustentabilidad en las edificaciones, se emitió en 2011 la norma ASHRAE 189.1, la cual fue usada de referencia para la confección del International Green Construction Code (IgBC, 2012). Igualmente, en 2010 había sido implementada la norma IAPMO’s Green Plumbing & Mechanical Code Supplement (IAPMO Green).

Con el objeto de validar el cumplimiento de las herramientas normativas referidas a Eficiencia Energética y Construcción Sustentable, se implementa a partir de 1993 la Certificación LEED, promovida por la US Green Building Council, y cuyos capítulos internacionales han permitido su divulgación en el mundo, al alero de la World Green Building Council con sede en Toronto, Canadá, destacando también las certificaciones VERDE (Green Building Council de España) y CASBEE (Green Building Council of Japan), (Quezada, 2014).

Otras certificaciones de eficiencia energética o construcción sustentable norteamericanas son el Energy Star, aplicada como certificación desde diversos productos y electrodomésticos hasta viviendas nuevas o rehabilitadas, pasando por automóviles y plantas industriales.

A diferencia de lo que sucede con la aplicación de las normativas y reglamentaciones térmicas en Europa, donde los países miembros de la Unión Europea se han debido comprometer en el cumplimiento de las “Energy Performance of Buildings Directive” (Directive 2002/91/EC, EPBD), la reglamentación térmica norteamericana depende de las decisiones locales o estatales, lo que se relaciona con su administración de carácter federal y su sistema de economía de libre mercado. De este modo, si en la Unión Europea existe la obligación de cumplir los estándares nacionales que se adapten a sus dictámenes, con un estado fuertemente regulador y marcadamente subsidiario, tanto en Estados Unidos como en Canadá, esta obligación quedará a criterio de cada estado o provincia, lo que ha provocado que muchas regiones de Norteamérica no cuenten aún con exigencias reglamentarias de eficiencia energética para edificaciones. Sin embargo, mientras que al interior de la Unión Europea se han identificado profundas diferencias entre las reglamentaciones térmicas de cada país, con brechas de aporte de CO₂ difíciles de disminuir para los países de reglamentación precaria como España (Teres et al, 2012), en Norteamérica se está avanzando en la aplicación de sistemas cada vez más estandarizados, lo que se ha visto fortalecido mediante los acuerdos de cooperación energética mutua entre México, Estados Unidos y Canadá ² el cual viene a poner de manifiesto la interdependencia energética de estos países. Cabe mencionar que en 2017, estos países lanzaron la página web www.nacei.org, en la cual se dispone de información referida a importaciones y exportaciones de petróleo, electricidad y gas, dejando en claro el principal rol de Canadá como abastecedor de petróleo, electricidad y gas a EE.UU.

² En la administración del presidente Barak Obama, se firmó un tratado de Cooperación Energética entre los tres países, el cual ha quedado suspendido por las medidas proteccionistas de la actual administración estadounidense. (SOHR, 2018).



Figura 5: Portadas de normas y códigos de construcción norteamericanos

2.1.2 Las normas de construcción sustentable en Columbia Británica, Canadá.

Sin bien es cierto, las condiciones normativas en Canadá están en gran parte asimiladas a los estándares ASHRAE, el país ha optado por promover códigos propios de energía y construcción desde 1997 al alero de la National Research Council of Canadá (NRC), con la primera versión del Model National Energy Code of Canadá for Buildings. Este código viene a ser una adaptación nacional de la norma ASHRAE 90.1, estableciendo un modelo de código nacional para la fijación de estándares de eficiencia energética para todo tipo de edificaciones, a partir del cual se pueden pautear los códigos provinciales desde el año 2011. A diferencia de la norma ASHRAE, que pone énfasis en el consumo de energía, el código canadiense pone énfasis en los costos de la energía. Este código posee 3 divisiones: la División “A” referida a cumplimientos, objetivos y declaraciones funcionales, la División “B” referida a soluciones aceptables y la División “C” con las disposiciones administrativas. La División “B” ocupa más del 80% del código, proporcionando todos los requisitos, disposiciones y directrices de diseño.

Al igual que los estándares de la ASHRAE 90.1, la versión 2011 del National Energy Code of Canadá, incorporó como alternativa a la ruta de cumplimiento prescriptivo, el cumplimiento por rendimiento mediante el empleo de programas de simulación energética que pre – establezcan las demandas de los proyectos de edificación, las cuales deben ser debidamente comprobadas en las etapas de ejecución y operación del edificio. Para su cumplimiento, el código distingue zonas climáticas según grados día de calefacción (HDD), cada una con requerimientos propios.

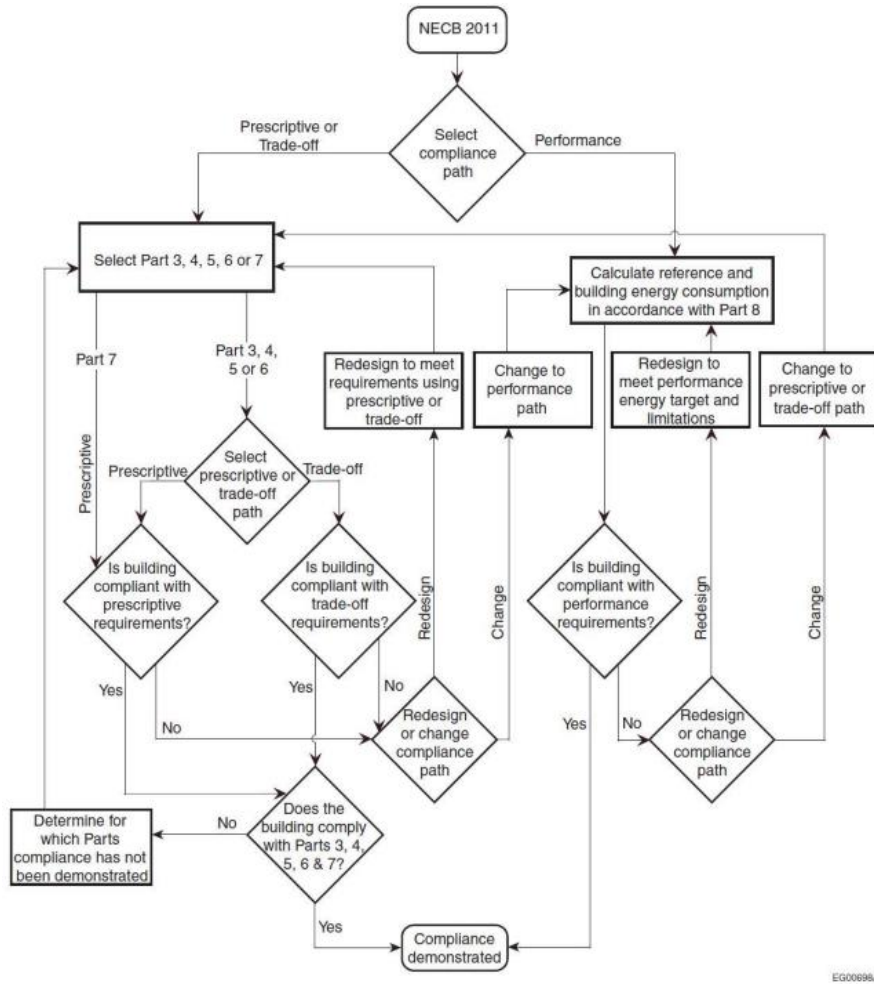


Figura 6: Esquema de aplicación del NECB Canadá 2011

Un segundo código nacional referido a construcción sustentable es el National Building Code Canadá (NBCc), elaborado en 2010 como un código nacional de edificación propio, el cual ha sido paulatinamente implementado en las provincias canadienses, siendo Columbia Británica una de las primeras en adaptarlo y hacerlo obligatorio desde el año 2012 mediante el British Columbia Building Code (NCBC). Este código de construcción toma la estructura del International Building Code de Estados Unidos, pero dispone de exigencias específicas mejoradas según el código de energía canadiense, y plantea distintos niveles de estándares para ser exigidos en forma paulatina. De igual modo, este código reconoce una zonificación climática según grados días de calor (HDD) que para la citada provincia reconoce 06 subzonas desde la más a la menos fría: la zona 8 (≥ 8.000 HDD), la zona 7B (6.000 a 6.999 HDD), la zona 7A (5.000 a 5.999 HDD), la zona 6 (4.000 a 4.999 HDD), la zona 5 (3.000 a 3.999 HDD) y la zona 4 (<3.000 HDD), donde se emplaza Victoria.

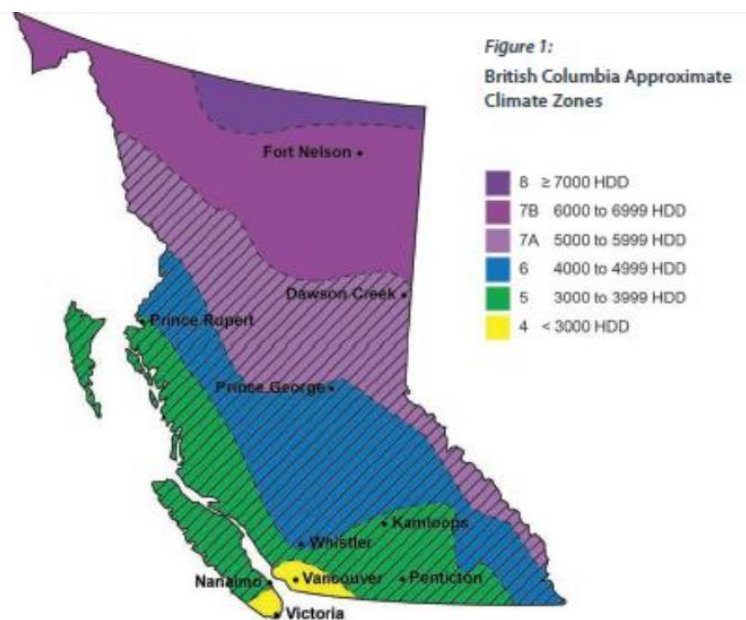


Figura 7: Mapa de las zonas climáticas de Columbia Británica según HDD

Finalmente, desde el año 2017, la provincia de Columbia Británica inició la aplicación voluntaria de un código de energía que plantea una serie de metas o pasos de eficiencia energética hasta el año 2032. Se trata del “Energy Step Code”, con el cual se pretende que la edificación de la provincia se ubique a la vanguardia de los estándares de Net-Zero en el país.

Según la información estudiada, es posible constatar el alto desarrollo de la reglamentación térmica canadiense, la cual, sumada a la cultura y know how de la eficiencia energética desde épocas anteriores a la crisis del petróleo de 1973, dan como resultado viviendas de gran eficiencia, con desempeños debidamente verificables en etapas de operación. Lo anterior, ha sido el resultado de años de investigación y desarrollo de tecnologías al alero de prestigiosos centros de investigación y entidades gubernamentales. Para el caso de la vivienda, existe el Canadian Mortgage Housing Corporation (CMHC), una entidad fundada en 1946, asimilable a la ex – Corporación de la Vivienda de Chile (CORVI) o al actual Servicio de Vivienda y Urbanismo (SERVIU), y que, gracias a sus importantes aportes en las ciencias de la construcción, ha tomado un carácter de referente internacional desde los últimos 20 años, promoviendo viviendas con una variedad de beneficios fundamentales entre los que están: eficiencia en el consumo de energía, control de la durabilidad y humedad, calidad del aire interior, diseño flexible y libre de barreras y aislamiento contra ruidos. Desde 2008 patrocina una competencia de viviendas sostenibles Net Zero.

Otra entidad que aporta en la construcción sustentable canadiense es el Canadian Wood Council, corporación no gubernamental que representa a los fabricantes de productos de madera usados en la construcción, y que ha fomentado el desarrollo e innovación en tecnologías y soluciones constructivas en madera, lo cual les ha permitido la construcción de edificios de madera en altura.

Los principales aportes canadienses en materia de reglamentación sustentable son los siguientes:

- Promoción de códigos locales de edificación que concentran todos los ámbitos normativos en documentos consolidados e integrados, adaptados a las realidades provinciales. Lo anterior, facilita los procesos de consulta y cumplimiento normativo para los diseñadores.
- El concepto de la “caja térmica” empleado en los códigos de construcción, permite concebir la envolvente no como la suma de elementos de piso, muro y techumbre, sino como una caja que requiere continuidad en todas sus caras y encuentros para cumplir con un adecuado desempeño térmico. Esto ha motivado el desarrollo de tecnologías para dar continuidad a la envolvente, evitando las infiltraciones y puentes térmicos, y promoviendo guías de edificación con adecuadas especificaciones y detalles de soluciones constructivas.
- El fomento de materiales sustentables, principalmente relacionados con la madera, lo que ha permitido incluso la exportación de tecnologías y sistemas constructivos (la “casa canadiense”), con altos estándares de confort térmico y eficiencia energética.
- Si bien es cierto, Canadá es uno de los principales productores y exportadores de petróleo y gas natural del mundo, los sistemas de calefacción y electricidad deben cumplir altas exigencias para lograr desempeños eficientes, lo que, sumado a la preocupación por adecuadas envolventes térmicas, da como resultado viviendas de bajas demanda energética y limitado consumo. De igual modo, en los últimos años se ha estimulado el concepto de Net Zero Buildings, donde la cantidad total de energía utilizada en un año es igual a la cantidad de energía renovable creada en el sitio. Para promover los beneficios de estas construcciones, las asociaciones industriales crearon la Net-Zero Energy Home Coalition. En agosto de 2017, el gobierno canadiense lanzó el Build Smart – Canada’s Buildings Strategy, como impulsor del Marco Pan Canadiense sobre el Crecimiento Limpio y el Cambio Climático, la que busca aumentar drásticamente la eficiencia energética de los edificios canadienses en busca de un nivel de rendimiento neto cero de energía.

2.2 La reglamentación y normativa térmica en Chile.

2.2.1 Antecedentes generales.

En el caso chileno, la aplicación de normativas de eficiencia energética se vio tardíamente reflejada en la Ley y Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones (O.G.U.C.) cuando se incluye la aplicación del artículo 4.1.10, el que hace alusión a exigencias de acondicionamiento térmico según valores establecidos por la NCh 859 de 1991, aplicados a partir del año 2000 para el complejo techumbre, y desde el año 2007 para muros perimetrales y pisos ventilados. En este artículo de la Ordenanza, conocida como Reglamentación Térmica (RT), se hace mención a la zonificación térmica de la citada NCh 859 de 1991, la cual reconoce la diversidad climática existente a lo largo y ancho del territorio nacional a través de 7 zonas térmicas de norte a sur, pero aplicando el criterio de los Grados Día de Calefacción anuales según las temperaturas medias, omitiendo las oscilaciones térmicas según localidad, y que fueron estimados para las diferentes regiones del país haciendo uso de información meteorológica de larga data (Bustamante, 2009).

Si bien, con la implementación de la RT se obtuvo un efecto positivo en la calidad y confort térmico de las viviendas, recientes estudios y mediciones han demostrado que su implementación no ha implicado necesariamente una disminución de las demandas de energía al no abordarse el problema desde un punto de vista sistémico (Bobadilla, 2012). En ese sentido, la reglamentación térmica vigente no tiene como objetivo un “desempeño energético socialmente aceptable”, el cual se puede obtener al lograr consumos mínimos de energía sin degradar el confort interior y bajo impacto ambiental (Wouters, P. 2000). Por otra parte, y a diferencia de otros casos internacionales como el canadiense, queda en evidencia la necesidad de un código de construcción de carácter obligatorio, ya sea regional o nacional, que recopile e integre, entre otras, al conjunto de normas técnicas que el Instituto Nacional de Normalización ha elaborado para elevar el actual y precario estado del arte de la construcción para llevarlo a un nivel de “construcción sustentable”. Por esta razón, al menos se ha avanzado en determinar requisitos mínimos para los diseños, proyectos y obras financiados con recursos fiscales, a través de instrumentos técnicos incorporados en los contratos, tales como los “TDRe” de la Dirección de Arquitectura del Ministerio de Obras Públicas (MOP) o la “Guía de Diseño para la Eficiencia Energética en la Vivienda Social” del Ministerio de Vivienda y Urbanismo (MINVU), con los cuales ha sido posible resguardar al menos un pequeño porcentaje de la construcción nacional, quedando el resto de los proyectos y obras a merced de certificaciones voluntarias por parte de los propietarios e inversionistas.

Para corregir las condiciones normativas, y en sintonía con los tratados internacionales de Cambio Climático firmados por Chile, se desarrolló el año 2008 la norma NCh 1079/2008, la cual propuso una zonificación climática habitacional con 9 zonas, proponiendo además una serie de recomendaciones y estándares de diseño para envolventes (elementos opacos verticales, techumbre opaca, piso ventilado y elementos vidriados verticales). Esta norma sirvió de base para proponer una nueva reglamentación de mayor alcance que la RT, esta vez incorporando requisitos y mecanismos de acreditación para acondicionamiento ambiental de las edificaciones. Se trata de la denominada NTM-11, la cual nace de un estudio de actualización de la reglamentación térmica para ser incorporada en la OGUC, considerando el comportamiento higrotérmico según la zonificación climática de la NCh 1079/2008, con el objeto de alcanzar estándares internacionales. De igual modo, propone subir los requisitos de acondicionamiento térmico de envolvente térmica (complejo techumbre, muros opacos, ventanas y pisos ventilados) incluyendo el complejo puerta y el complejo piso sobre terreno, proponiendo estándares de hermeticidad y ventilación a las envolventes, así como mecanismos de verificación en etapa de diseño y de ejecución de las obras.

Con el objeto de avanzar en la agenda de eficiencia energética, y al alero del Convenio Interministerial de Construcción Sustentable del año 2012, el MINVU encarga al Building Research Establishment del Reino Unido, la implementación de la Calificación Energética de Viviendas (CEV), un sistema simplificado que evalúa las demandas de energía de la envolvente (calificación de demanda en kWh/m²/año) y el consumo de energía primaria de sus instalaciones (calificación de consumo en kWh/m²/año). Para el primer caso, incorpora las variables de transmisión, ventilación, ganancias solares y aportes internos, según la locación de la vivienda, con el objeto de promover nuevos estándares de eficiencia energética en el sector residencial en Chile. Este sistema de evaluación, no obligatorio, define un etiquetado A, B, C, D, F y G, donde A equivale a la máxima eficiencia (menor a 30 kWh/m²/año), E equivale a una vivienda con parámetros de eficiencia según la RT actual (entre 80 y 110 kWh/m²/año) y G equivale a una vivienda no eficiente (superior a 135 kWh/m²/año), siguiendo patrones de sistemas de evaluación británicos y sin considerar infiltraciones, las que para el caso del clima frío – oceánico poseen un alto impacto.

Para continuar los esfuerzos de la Calificación Energética de Viviendas, el MINVU encarga al ya mencionado instituto británico la elaboración de un Código de Construcción Sustentable para Viviendas en Chile, el cual debería llegar a tener carácter de obligatorio en el mediano y largo plazo, y cuyos alcances de detallarán más adelante.

2.2.2 Ley y Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones, artículo 4.1.10. y Manual de Reglamentación Térmica MINVU (RT parte 1 y 2).

La Ley y Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones (D.S. N°47) es el cuerpo legal que regula los procedimientos administrativos, de planificación urbana, de urbanización, de construcción y los estándares técnicos de diseño y de construcción, imponiendo un carácter obligatorio en dentro de todo el territorio nacional. Este cuerpo legal de amplio alcance y gran amplitud normativa, consta de 3 niveles de acción: la Ley General, 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 Ordenanza General, que contiene las disposiciones reglamentarias de esta ley y que regula el procedimiento administrativo, el proceso de planificación urbana, urbanización y construcción, y los standards técnicos de diseño y construcción exigibles en los dos últimos; y las Normas Técnicas, que contienen y definen las características técnicas de los proyectos, materiales y sistemas de construcción y urbanización, para el cumplimiento de los standards exigidos en la Ordenanza General.

La Reglamentación Térmica aplicada en la ley y ordenanza, surgió como un programa definido por MINVU a partir del año 1994, el cual contemplaba tres fases de aplicación: una primera etapa desde el año 2000 que dispone exigencias de aislación en el complejo techumbre, una segunda etapa desde el año 2007 con exigencias de aislación en muros, pisos ventilados y ventanas mediante porcentajes de vanos y/o exigencias de doble vidriado hermético, y una tercera etapa que en su momento no se materializó, pero que pretendía una certificación energotérmica sobre el comportamiento global de la edificación. Esta reglamentación fue desarrollada con el objeto de limitar las demandas de calefacción y/o refrigeración por transmisión de energía entre el interior de los recintos y el ambiente exterior en forma prescriptiva, y se encuentra descrita en el artículo 4.1.10. de la OGUC.

En forma complementaria a la Reglamentación Térmica, y previo a la implementación de la Parte 2 del año 2007, el MINVU emitió un Manual de Aplicación de Reglamentación Térmica, el cual incluyó un glosario, los planos de la zonificación térmica, un capítulo de aplicación práctica, soluciones constructivas genéricas y un anexo de fichas técnicas con soluciones y materiales constructivos, el cual derivó en un Listado Oficial de Soluciones Constructivas para Acondicionamiento Térmico del MINVU de actualización permanente.

2.2.3 Calificación Energética de Viviendas – CEV

Tal como se explicó en párrafos anteriores, el programa inicial de la Reglamentación Térmica (RT) planteada el año 1994, había considerado una tercera etapa referida a una certificación energotérmica de la vivienda de carácter obligatorio. Sin embargo, han debido pasar casi 20 años para que sea implementada una Calificación Energética de Viviendas (CEV), siendo elaborada a partir del año 2013 para su implementación provisoria desde el año 2014, siendo publicada su última versión en mayo de 2017. Según informaciones del MINVU, esta certificación será obligatoria para las construcciones nuevas dentro de los próximos 2 o 3 años, en forma complementaria a la puesta en vigencia de la nueva Reglamentación Térmica. La última versión de la CEV fue mejorada incorporando los siguientes elementos:

- Mejoras al motor de cálculo de demandas de energía.
- Énfasis en el ahorro energético de la vivienda con respecto a vivienda base.
- Precalificación de viviendas en etapa de proyecto.
- Calificación

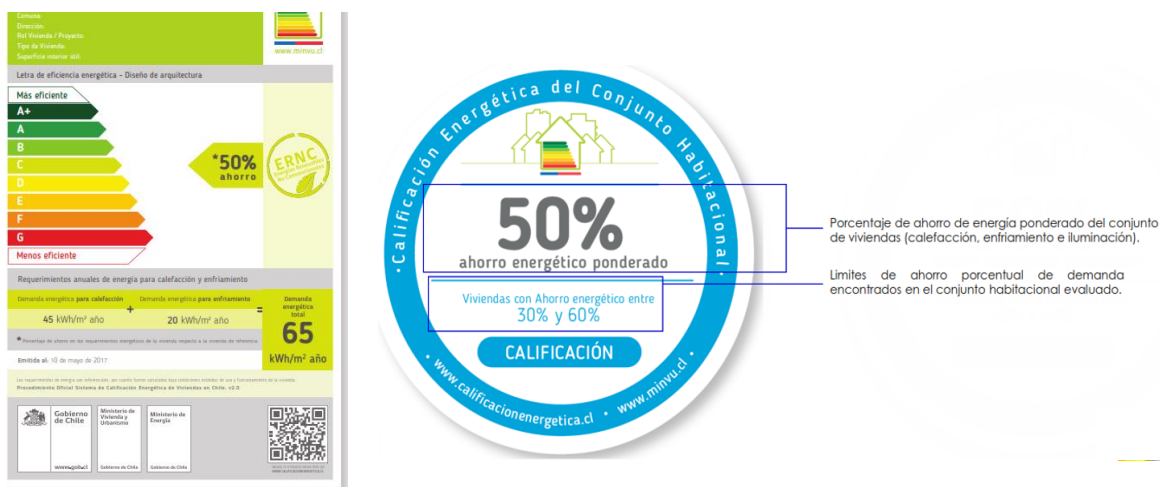


Figura 8: Sello de calificación energética de viviendas, implementado desde mayo 2018 (fuente MINVU – DITEC)

2.2.4 Norma Técnica MINVU N°11 para la Nueva Reglamentación Térmica OGUC

A fines del año 2013, el MINVU junto con una mesa técnica, elaboró el anteproyecto de Norma Técnica MINVU N° 11, a partir de una propuesta de actualización de la RT, artículo 4.1.10 de la OGUC solicitada al académico sr. Waldo Bustamante, con la finalidad de otorgar confort higrotérmico a los usuarios de las edificaciones, independiente a su uso.

Según consulta efectuada al Portal de Transparencia del Estado para la Subsecretaría de Vivienda y Urbanismo con fecha 28/02/2018 referida al estado de tramitación de la normativa, se contestó que “la NTM-11 corresponde a la propuesta inicial de modificación de la Reglamentación Térmica, que luego de una etapa de calibración, se encuentra en etapa de revisión con las nuevas autoridades”. No obstante, parte de los estándares técnicos definidos en la versión final ya se encuentran especificados como requerimientos para el diseño de viviendas en algunas de las ciudades saturadas por material particulado, siendo exigidos por el Ministerio de Medio Ambiente en los Planes de Prevención y Descontaminación Atmosférica (PPDA).

La NTM-11 se elaboró en base a las siguientes referencias normativas nacionales:

DS. N°47, (V. y U.), de 1992	Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones, artículo 4.1.10.
D.S N° 10, (V. y U.), de 2002	Crea el registro oficial de laboratorios de control técnico de calidad de construcción y aprueba reglamento del registro.
Norma Chilena INN - NCh 850/2008	Aislación térmica - Determinación de resistencia térmica en estado estacionario y propiedades relacionadas - Aparato de placa caliente de guarda.
Norma Chilena INN - NCh 851/2008	Aislación térmica - Determinación de propiedades de transmisión térmica en estado estacionario y propiedades relacionadas - Cámara térmica calibrada y de guarda.
Norma Chilena INN - NCh 853/2007	Acondicionamiento térmico – Envoltente térmica de edificios - Cálculo de resistencias y transmitancias térmicas.
Norma Chilena INN - NCh 888/2000	Arquitectura y Construcción. Ventanas. Requisitos básicos.
Norma Chilena INN - NCh 889/2000	Arquitectura y Construcción. Ventanas Ensayos mecánicos.
Norma Chilena INN - NCh 891/2000	Arquitectura y Construcción. Puertas y Ventanas. Ensayo de estanqueidad al agua.
Norma Chilena INN - NCh1079/2008	Arquitectura y construcción – Zonificación climático habitacional para Chile y recomendaciones para el diseño arquitectónico.
Norma Chilena INN - NCh1973/2008	Características higrotérmicas de los elementos y componentes de edificación – Temperatura superficial interior para evitar la humedad superficial crítica y la condensación intersticial – Métodos de cálculo.
Norma Chilena INN - NCh2457/2001	Materiales de construcción y aislación - Determinación de la permeabilidad al vapor de agua (humedad).
Norma Chilena INN - NCh3076_1/2008	Comportamiento térmico de puertas y ventanas - Determinación de la transmitancia térmica por el método de la cámara térmica – Parte 1: Puertas y Ventanas.
Norma Chilena INN - NCh3076_2/2008	Comportamiento térmico de puertas y ventanas - Determinación de la transmitancia térmica por el método de la cámara térmica – Parte 2: Ventanas de techumbre y otras ventanas sobresalientes.

- Norma Chilena INN - NCh3117/2008 Comportamiento térmico de edificios - Transmisión de calor por el terreno – Métodos de cálculo.
- Norma Chilena INN - NCh3136_1/2008 Puentes térmicos en construcción de edificios - Flujos de calor y temperaturas de superficie - Parte 1: Métodos generales de cálculo.
- Norma Chilena INN - NCh3137_1/2008 Comportamiento térmico de ventanas, puertas y contraventanas - Cálculo de transmitancia térmica - Parte 1: Generalidades.
- Norma Chilena INN - NCh3137_2/2008 Comportamiento térmico de ventanas, puertas y contraventanas - Cálculo de transmitancia térmica - Parte 2: Método numérico para marcos.
- Norma Chilena INN – prNCh3303_2014 Método para la determinación de la penetración de agua en fachadas.
- Norma Chilena INN – prNCh3304_2014 Láminas flexibles para impermeabilización - Láminas bituminosas, plásticas y de caucho para la impermeabilización de cubiertas - Determinación de estanquidad al agua.

Nota: Para zona “I” no se establece factor solar modificado máximo por orientación de complejo ventanas, ni requisitos para pisos no ventilados.

2.2.5 Estándares de construcción sustentable para viviendas (ECSV)

Es un código de construcción elaborado a partir del Código de Construcción Sustentable de Reino Unido, pero que reconoce requerimientos de la Norma Térmica NTM-11, proponiendo valores de demanda (kwh/m2/año) para cada una de las zonas climáticas propuestas por la NTM-11, así como estándares de envolvente e infiltraciones por zona. Se compone de 6 capítulos referidos a Salud, Energía, Agua, Materiales y Residuos, Impacto Ambiental y Entorno inmediato.

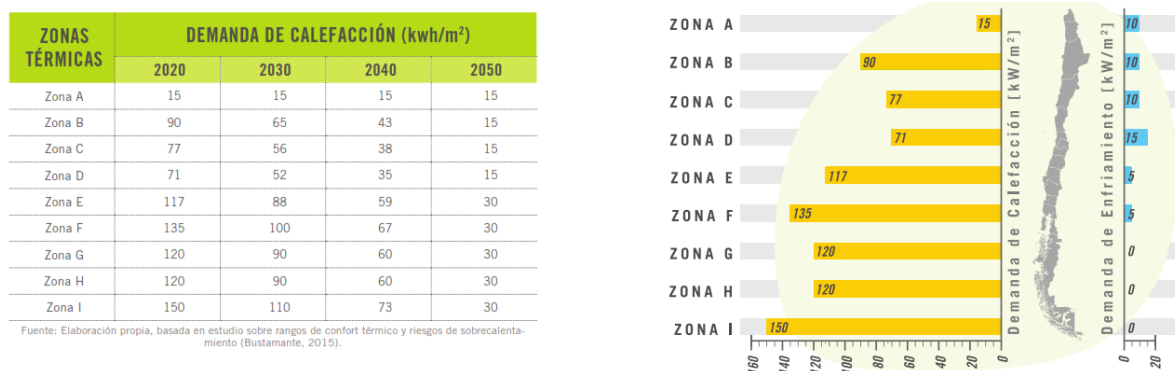


Figura 9: Exigencias de demanda de calefacción en kwh/m2/año propuestas por la NTM-11 (imagen izquierda) y cuadro esquemático nacional de demandas energéticas (imagen derecha) (Fuente ECSV)

A continuación, se indican los estándares más relevantes propuestos para la zona climática “I” (Sur Extremo) según las categorías relacionadas con la eficiencia energética:

Cuadro resumen de los Estándares de Construcción Sustentable de Viviendas relacionados con Eficiencia Energética - ZONA SUR EXTREMO (I)	
Categoría 1 – Salud:	
1.1 Calidad de Ambiente Interior	Calidad del aire interior
Ventilación pasiva:	Abertura ventilación mayor al 4% de la superficie del piso y no menor a 0,3m ² (habitables) y 0,15m ² (servicios) con distancia mínima de 3m a cualquier obstrucción exterior. Para zonas frías y velocidad viento mayor a 10 m/s, evaluar y justificar aberturas.
Ventilación activa:	Mínimo ventilación VEX (L/S): Cocina 50 L/S; Baño 25 L/S
Calidad aire interior:	CO inferior a 40ppm.
1.1 Calidad de Ambiente Interior	Confort higrotérmico
Confort higrotérmico:	60% del año mínimo en zona de confort (zona I), límites 20 y 24° con humedad relativa máxima interior de 75%. (Bustamante, 2015). No se indica confort acústico. Factor luz diurna mínimo de 1% (dormitorios) a 2% (cocina) (iluminancia exterior de 5.000 lux para Punta Arenas). Iluminancia de 50 (estar) a 500 lux (cocina).
Categoría 2 – Energía:	
2.1 Desempeño energitético	Desempeño energitético eficiente
Metas demandas calefacción (kWh/m ² /año):	2020/150 – 2030/110 – 2040/73 – 2050/30 (Bustamante 2015).
Demanda de enfriamiento “0”.	Sistema de calificación energética de viviendas obligatorio.
Horario encendido luces interior vivienda	MAR-ABR: 7-8/20-22 MAY-AGO: 7-8/17-22 SEP-OCT: 7-8/20-22
2.2 Método prescriptivo	Asoleamiento
Inclinación solar ref/medio día solar	Punta Arenas: solsticio invierno 13,3° - solsticio verano 60°.
2.2 Método prescriptivo	Envolvente opaca eficiente
Valores transmitancia térmica U (W/m ² K)	Valores transmitancia térmica y R100 de la NTM-11, salvo puertas (1,7)
Masa térmica	Índice mínimo de masa térmica: L
2.2 Método prescriptivo	Envolvente transparente eficiente
Valores transmitancia térmica U (W/m ² K)	U=2,4 (Aberturas máx.: NORTE 30% - SUR 10% - ESTE/OESTE 10%
2.2 Método prescriptivo	Infiltraciones
Infiltraciones envolvente:	Clase de infiltración a 50Pa: 4,00 renovaciones aire/hora (se excluyen complejo puertas y complejo ventanas)
Infiltraciones puertas y ventanas:	Grado de estanqueidad a 100 pa Zona I: 7m ³ /hora/m ² .

Tabla 3: Cuadro resumen de los Estándares de Construcción Sustentable de Viviendas (elaboración propia)

2.3 Análisis comparativo de la reglamentación térmica chilena vigente y/o en estudio, con respecto a la reglamentación térmica canadiense.

A continuación, se efectuará un análisis comparativo de la reglamentación térmica nacional versus la reglamentación térmica canadiense, aplicada a las ciudades de Punta Arenas y Victoria respectivamente.

Para el caso de la normativa nacional, se han considerado los siguientes documentos aplicables a la zona térmica 7 y la zona climática habitacional Sur Extremo (zona 8 o zona "I"):

- Reglamentación térmica artículo 4.1.10 de la OGUC (2007, obligatorio).
- NTM 11 (anteproyecto 2014, obligatorio para comunas con PPDA, resto sugerido).
- Estándares de Construcción Sustentable para Viviendas (2016, voluntario).

Para el caso de la normativa canadiense, se han considerado los siguientes documentos aplicables a la zona térmica 4 y la zona climática Pacífico (Victoria):

- British Columbia Building Code (2014, obligatorio).
- National Energy Code Canadá (2014, sugerido).

Con el objeto de fijar parámetros de comparación entre las reglamentaciones térmicas de cada provincia, se asimiló la zona climática "SUR EXTREMO ("I")", con la zona climática "Pacífico", así como la zona térmica 7 de la normativa canadiense con la zona térmica 4 del Código de Construcción de Columbia Británica, toda vez que ambas zonas poseen un rango mayor a los 2.000 Grados Día de Calefacción (GDC) e inferior a los 3.000 GDI.

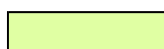
De la comparación vista en la tabla siguiente, es posible notar que las exigencias de aislación térmica en muros propuestas por la NTM-11 son similares a los exigidos por el código de British Columbia, con valores cercanos a los 0,35 W/m²k. Sin embargo, los estándares de muro vigentes en Chile casi la mitad de exigentes que en Canadá. La misma NTM-11 posee además valores cercanos de transmitancia térmica para complejo techumbre y pisos ventilados, con valores que en Canadá no pueden ser mayores a 0,227 W/m²k versus los 0,25 W/m²k y los 0,32 W/m²k de Chile. Sin embargo, mientras que en Canadá se exigen valores de transmitancia mínimos para pisos no ventilados (con instalación de losas radiantes), en Chile no hay exigencias. De igual modo, en Canadá no se permiten ventanas con vidrio monolítico, al menos para la zona climática de Victoria, siendo factible la instalación de ventanas con una transmitancia inferior a los 2,4 W/m²k, que es el mismo valor que en Chile consigna la OGUC para ventanales con proporción de superficie de vanos superior al 37% respecto a muros opacos.

CUADRO COMPARATIVO REGLAMENTACIÓN TÉRMICA CHILE - CANADÁ				
CIUDAD	PUNTA ARENAS		VICTORIA	
ZONA CLIMÁTICA	SUR EXTREMO (I)		PACÍFICO	
ZONA TÉRMICA	7		4	
GDOS. DIA CALEFACCIÓN	MAYOR A 2000 GDC		MENOR A 3000 GDC	
NORMATIVA	OGUC (art.4.1.10)	NTM-11	BRITISH COLUMBIA BUILDING CODE	NATIONAL ENERGY CODE CANADÁ FOR BUILDINGS
VALOR U (W/(m2k)) MAX. MUROS OPACOS	0,60	0,35	0,359	0,315
VALOR U (W/(m2k)) MAX. TECHUMBRE	0,25	0,25	0,214	0,227
VALOR U (W/(m2k)) MAX. PISO VENT.	0,32	0,32	0,227	0,227
VALOR U (W/(m2k)) MAX. PISO NO VENT. (losa rad.)	no indica	1,09	0,431	0,431
VALOR U (W/(m2k)) MAX. VENTANAS VM HASTA 12% DE SUPERFICIE VIDRIADA	entre 3,6 y 6,25 máx.	no permite	no permite	no permite
VALOR U (W/(m2k)) MAX. VENTANAS DVH HASTA 37% DE SUPERFICIE VIDRIADA	entre 2,4 y 3,6 máx.	3,00	1,800	2,400
VALOR U (W/(m2k)) MAX. VENTANAS DVH SOBRE 37% DE SUPERFICIE VIDRIADA	menor o igual a 2,4	3,00	1,800	2,400
VALOR U (W/(m2k)) MAX. LUCARNAS	no indica	2,400	2,900	no indica
VALOR U (W/(m2k)) MAX. PUERTAS	no indica	1,70	2,400	no indica
VALOR U PONDERADO W/m2k	1,22	no indica	no indica	no indica
BARRERA INFILTRACIÓN	no indica	no indica	continua	continua
otras características				
PROFUNDIDAD AISLANTE TERMICO FUNDACIONES	no indica	15cm	60cm	60cm
VALOR U FUNDACIONES DE MUROS	no indica	no indica	0,502	0,502
VALOR U FUNDACIONES SOBRE NIVEL ESCARCHA	no indica	no indica	0,510	0,510
VALOR U FUNDACIONES BAJO NIVEL DE ESCARCHA	no indica	no indica	no requiere	no requiere
INFILTRACIÓN MÁXIMA 1/H A 50pa AL 2020 ENV.	no indica	4,00	menor o igual a 3	menor o igual a 3
ESTANQUEIDAD AL AIRE MÍN. PTAS. Y VENT. A 100pa, M3/H M2	no indica	7,00	menor o igual a 3	menor o igual a 3

SIMBOLOGIA COLORES



Estándar de máxima exigencia



Estándar más cercano a la máxima exigencia

Tabla 4: Comparación Reglamentación Térmica para Punta Arenas (Chile) y Victoria (Canadá) (elaboración propia)

Cabe mencionar que existen al menos 2 aspectos que son fundamentales en la reglamentación canadiense. Primeramente, para la aplicación de la reglamentación térmica canadiense no son relevantes los revestimientos interiores y exteriores, como sí lo es el espesor del aislante térmico interior y exterior, ya que los valores de U son justamente exigidos para estos elementos, considerándose el resto de las capas como un aporte adicional, lo cual simplifica el cumplimiento normativo, al menos en la normativa prescriptiva. De igual modo, es clave para la normativa canadiense la continuidad de la envolvente respecto a las barreras de infiltración con el fin de obtener una máxima hermeticidad en la edificación, superando, por ejemplo, las tasas de infiltración propuestas por la NTM-11 y apostando por una clase de infiltración máxima de 3 renovaciones de aire hora a 50 pascales. Esta exigencia, junto con la definición de requerimientos de desempeño para equipos y envolvente de la edificación, han sido asumidos por el código de construcción de Columbia Británica, estableciendo metas cada 4 años partiendo el año 2017, para el 2021 (paso 2), para el 2025 (paso 3), para el 2029 (paso 4) y para el 2032 (paso 5).

Step	Airtightness (Air Changes per Hour at 50 Pa Pressure Differential)	Performance Requirement of <i>Building</i> Equipment and Systems	Performance Requirement of <i>Building</i> Envelope
1	N/A	EnerGuide Rating % lower than EnerGuide Reference House: not less than 0% lower energy consumption or conform to Subsection 9.36.5.	
2	≤ 3.0	EnerGuide Rating % lower than EnerGuide Reference House: not less than 10% lower energy consumption or mechanical energy use intensity ≤ 60 kWh/m ² -year	thermal energy demand intensity ≤ 45 kWh/(m ² -year) or peak thermal load ≤ 35 W/m ²
3	≤ 2.5	EnerGuide Rating % lower than EnerGuide Reference House: not less than 20% lower energy consumption or mechanical energy use intensity ≤ 45 kWh/m ² -year	thermal energy demand intensity ≤ 40 kWh/(m ² -year) or peak thermal load ≤ 30 W/m ²
4	≤ 1.5	EnerGuide Rating % lower than EnerGuide Reference House: not less than 40% lower energy consumption or mechanical energy use intensity ≤ 35 kWh/m ² -year	thermal energy demand intensity ≤ 25 kWh/(m ² -year) or peak thermal load ≤ 25 W/m ²
5	≤ 1.0	mechanical energy use intensity ≤ 25 kWh/m ² -year	thermal energy demand intensity ≤ 15 kWh/(m ² -year) or peak thermal load ≤ 10 W/m ²

Tabla 5: Requerimientos de desempeño para edificaciones propuestas por el BCBC al 2032 (fuente British Columbia Building Code 2017)

2.4 Conclusiones.

Según lo visto en los párrafos anteriores, fue factible verificar que la reglamentación térmica vigente en Chile sólo se acerca a la reglamentación térmica canadiense en valores de U exigidos para complejo de techumbre y, en menor medida, para pisos ventilados, mientras que en el resto de las exigencias se aleja en forma considerable.

Por otra parte, la NTM – 11 propone valores más cercanos a la reglamentación canadiense para la zona en estudio, aunque también omite elementos indicados en el párrafo anterior. Sólo el valor U exigido para el complejo de puertas resulta ser más exigente que el aplicado en Canadá, con un valor de 0,8 W/m²k de la NTM-11 versus los 2,4 W/m²k del código de Columbia Británica.

Según el análisis anterior, es posible corroborar en forma preliminar que los estándares propuestos por la NTM-11 para la zona sur – extremo, poseen similitudes en cuanto a exigencias de transmitancia de complejo techumbre, pisos ventilados y muros. Sin embargo, llama la atención la importante diferencia de criterio con la que es asumida la aislación en fundaciones, objeto evitar puentes térmicos. Al respecto, debiera analizarse el comportamiento energético de viviendas con estándares NTM-11 versus estándares canadienses, objeto verificar la importancia de aislar fundaciones y/o pisos que se encuentran en contacto con el terreno, evitando pérdidas de calor en el plano de rocío y/o escarcha, dando mayor profundidad a la aislación de fundaciones. Lo anterior, debido a la mayor experiencia de la normativa canadiense en desarrollar soluciones y estrategias para climas fríos, a diferencia de la normativa nacional, donde los principales centros de investigación se encuentran emplazados en zonas de clima templado.

Capítulo 3. Estado del arte de la construcción de viviendas en la ciudad de Punta Arenas, como resultado de la interacción del clima, la edificación, el usuario y las instalaciones térmicas.

Según el censo del año 2017, la ciudad de Punta Arenas cuenta con un parque habitacional de 47.835 viviendas en la zona urbana, equivalentes al 76,1% de las viviendas de la Región de Magallanes y Antártica Chilena y al 0,75% de viviendas del país. Las tipologías arquitectónicas de estas viviendas se relacionan con los diferentes períodos históricos, fácilmente reconocibles debido al lento crecimiento urbano en expansión y la baja densidad habitacional. Según lo anterior, ha sido posible identificar una serie de tipologías constructivas y de diseño, que obedecieron a distintas formas de concebir la vivienda, desde las elaboradas soluciones en madera del siglo XIX, hasta la actual diversidad de proyectos gubernamentales y de inmobiliarias.

El presente capítulo tiene, por tanto, la finalidad de cuantificar y clasificar el parque habitacional existente, de modo establecer las eventuales brechas para la implementación de una reglamentación térmica de mayor exigencia a la actual, tanto para viviendas existentes como para viviendas nuevas, logrando identificar además una línea base de la vivienda actual, entendida como aquella construida a partir de la entrada en vigencia de la Reglamentación Térmica (RT) incorporada por la Ordenanza General de Urbanismo y Construcción el año 2007.

Si bien es cierto, se identificarán las características de las tipologías de diseño y soluciones constructivas relativas a la vivienda, se deberán dejar en un segundo plano las consideraciones referidas al diseño arquitectónico para centrarnos en los sistemas constructivos y las soluciones de la envolvente térmica de viviendas, con el objeto de levantar una línea base a partir de los modelos más representativos. Sin perder de vista nuestra preocupación por el problema del desempeño energético de la vivienda, y considerando que éste tiene necesariamente un carácter sistémico (Bobadilla, 2011), el análisis revisará los subsistemas que interactúan en su resultado, es decir: **clima, usuario, edificación e instalaciones térmicas**. Lo anterior es relevante para caracterizar la realidad local de un modo integral y entender la orientación y alcance de las propuestas de mejoramiento a las envolventes de la vivienda magallánica, de manera tal que los estándares sugeridos más adelante puedan insertarse en un contexto propio.

3.1 Caracterización climática de la ciudad de Punta Arenas.

3.1.1 Descripción climática de la Zona Sur Extremo.

La ciudad de Punta Arenas se emplaza en la zona climática Sur Extremo de la NCh 1079/2008, una macro zona térmica que abarca desde la provincia de Aysén por el norte hasta el Territorio Antártico Chileno, con una extensión de más de 1.400 kilómetros de largo y 300 kilómetros de ancho, desde la frontera con Argentina hasta las islas y fiordos de los océanos Pacífico y Antártico.

La NCh 1078/2008 describe la zona Sur Extremo como “Zona fría muy lluviosa, con precipitaciones a lo largo de todo el año disminuyendo su intensidad hacia el sur y desde W a E. Estas precipitaciones son muy altas hacia el norte de la zona (Chiloé, Puerto Aysén y Coyhaique), en especial en invierno y tienden disminuir hacia el sur, donde las precipitaciones se distribuyen en forma homogénea a lo largo del año (Punta Arenas y Porvenir). Nubosidad casi permanente, veranos cortos. Suelo y/o ambiente muy húmedo. Heladas y nieve en altura y hacia el sur de la zona, en la que además se observan altos vientos. Radiación solar moderada en verano. Microclimas importantes en el interior”. La norma hace notar además que “la componen varias subzonas actualmente poco estudiadas debido a su baja densidad poblacional”.

En consecuencia, al hacer un análisis más detallado de esta macro zona climática, aplicando la herramienta “Cartografía interactiva de los climas de Chile” de Rioseco y Tesser³, es posible distinguir los siguientes 5 climas según la clasificación de Wladimir Köppen (ver la figura 3.1):

- Templado lluvioso cálido con influencia mediterránea (Cfbs).

Corresponde a los sectores costeros de islas y fiordos desde la Isla Guafo hasta el sur del Golfo de Penas, incluyendo las localidades de Puerto Aysén, y Cochrane, Región de Aysén.

- Templado lluvioso frío sin estación seca (Cfc).

Corresponde a dos sectores, el primero al sector cordillerano de la Región de Aysén, exceptuando los campos de hielo norte y sur, y el segundo a la sección insular y continental de la Región de Magallanes hasta el Estrecho de Magallanes por el sur,

Rioseco, Reinaldo y Tesser, Claudio: Cartografía Interactiva de los climas de Chile [en línea]. Instituto de Geografía. Pontificia Universidad Católica de Chile. <www.uc.cl/sw_educ/geografia/cartografiainteractiva> [consulta junio 2018).

exceptuando los campos de hielo sur y la zona de estepa patagónica al oriente de la Cordillera de Los Andes. Incluye las localidades de Puerto Edén y Natales, además del asentamiento de Timaukel, Tierra del Fuego (franja al norte del Seno Almirantazgo).

- Semiárido muy frío con lluvias invernales (BSk's).

Corresponde a la extensa zona de estepa patagónica, tanto en el continente como en la sección norte de Tierra del Fuego. Llama la atención la drástica diferencia de esta zona con las descritas anteriormente, tanto por su baja pluviometría y fuertes vientos.

- Frío de tundra por altura (ETH).

Corresponde a los bordes inmediatos a los campos de hielo norte y sur, en el área continental, y al cinturón de la alta cordillera de Darwin, en Tierra de Fuego.

- Frío de hielo por altura (EFH) y Frío de tundra isotérmico (ETi).

Corresponde a toda la franja de islas, canales y fiordos ubicados al sur del eje que cruza desde el Faro Evangelistas hasta el Canal Beagle, incluidas las Islas Dawson, sur – poniente de Tierra del Fuego e Isla Navarino hacia el Cabo de Hornos e islas Diego Ramírez.

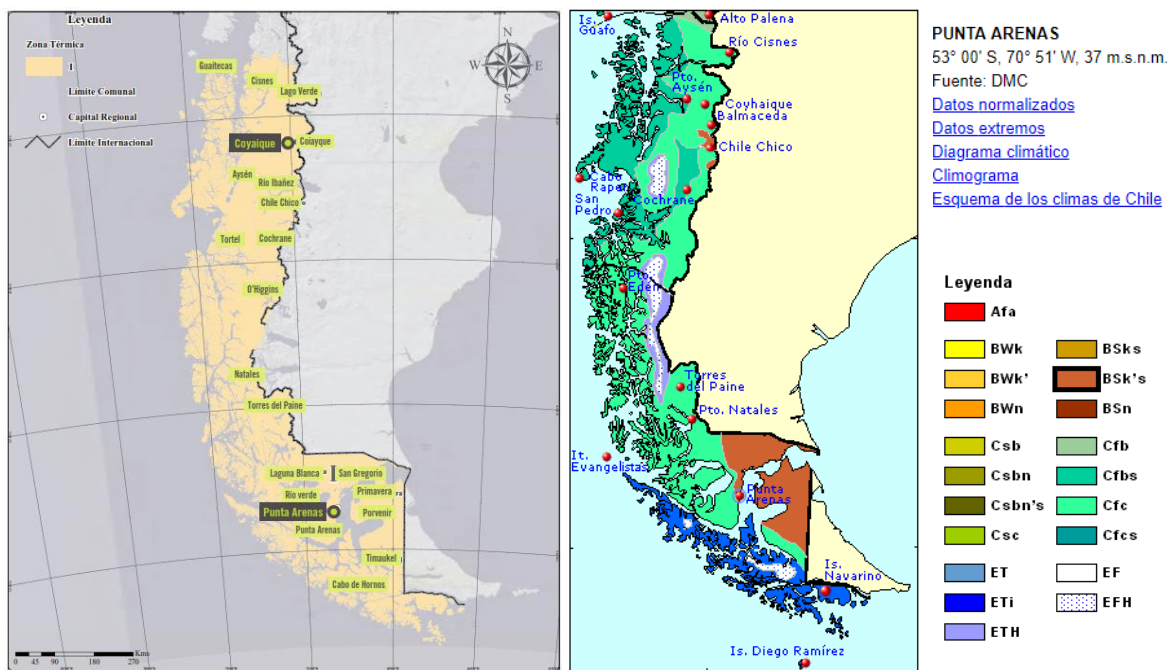


Figura 10: Zona Sur Extremo y su detalle climatológico

Si hacemos un paralelo entre la macro zona climática sur – extremo (NTM-11) con la clasificación de la macro zona climática de la provincia canadiense de Columbia Británica (BCBC), es posible distinguir en esta última la existencia de 5 climas con características similares a los de la zona SE, desde el clima frío oceánico de la costa hasta el clima polar existente hacia el interior, cada uno de ellos con requisitos térmicos diferenciados por norma. Pese a que existen importantes diferencias demográficas entre ambas latitudes (Columbia Británica tiene 18 veces la población de la zona SE de Chile), se debiera motivar en el futuro la elaboración de una zonificación térmica más precisa para la zona SE, debido a las diferencias entre el clima de Aysén, Última Esperanza, Magallanes oriente, Tierra del Fuego nor – poniente y el área adyacente al Canal Beagle. Al respecto, cabe recordar que el área de influencia de la actual zona climática Sur Extremo coincide con la zona térmica 7 de la OGUC, considerando la baja oscilación térmica identificada con la escasa información climática disponible para un vasto territorio escasamente habitado.

Situación Climática de Punta Arenas

Por su parte, la ciudad de Punta Arenas, cuya comuna ocupa la península de Brunswick y las islas adyacentes hasta el océano pacífico, se ubica en el límite de los climas Cfc y BSK's, aunque la mayoría de los autores la clasifican dentro de este último. Al respecto, según la información provista por la NCh 1079/2008, la ciudad posee las siguientes características:

- Temperaturas medias 1,1°C en invierno y 10,5°C en verano.
- Humedad ambiente media de 84% en invierno y baja de 69% en verano.
- Oscilación diaria de temperaturas alta: 8,2°C en enero y 4,8°C en junio.
- Vientos predominantes del weste de 60 km/h con rachas superiores a 150 km/h.
- Precipitaciones cercanas a los 395 mm anuales con un promedio anual de 33 mm, una media mensual de 38 mm durante los meses más lluviosos de enero a mayo y de 29 mm durante los meses más secos, de junio a diciembre.
- Irradiación media diara de 732 Kw h/m2 en invierno y 5.582 Kw h/m2 en verano.

Según antecedentes meteorológicos del Instituto de la Patagonia, las temperaturas superficiales de la península de Brunswick en febrero se encuentran en rangos de 7°C y 9°C en el área urbana de Punta Arenas (2 a 30 msnm), bajando a 0°C en el sector alto (Cerro Andino a 300 msnm) y sobre los 22° en la pampa al noreste de la comuna (50 kms de Punta Arenas), lo cual tiene relación con el movimiento de masas de aire. Se debe considerar además la temperatura de las importantes masas de agua que rodean la comuna, con rangos de 2°C a 4°C.

Pendiente de cubierta, valores mínimos en %		Orientación de muros que requieren protección contra el sol	Temperatura °C				Insolación Wh(m2 x día)		Soleamiento horas sol/día		Humedad relativa %		Nubosidad décimas		Precipitación mm		Vientos predominantes	Heladas (a 1,5m sobre el suelo)			
			Media		Oscilación media mensual													Total anual	Primera	Última	
SR	SL	E	J	E	J	E	J	21-dic	21-jul	E	J	E	J	Anual	max.24h						
30	25	-	10,5	1,1	8,2	4,8	5.882	732	16,8	7,4	69	84	7,1	6,0	375,7	98,0	O	7,9	83	Ene	Dic

Tabla 6: Cuadro resumen de características climáticas Zona Sur Extremo

3.1.2 Análisis en Software Climat Consultant para Punta Arenas

A continuación, se describe el análisis climático de Punta Arenas según el programa Climate Consultant versión 6.0, el cual permite establecer rangos de confort adaptativo:

Temperatura: Las temperaturas máximas se registran en febrero y no alcanzan los 20°C, mientras que de noviembre a marzo recién superan los 15°C (ver figura 3.3). Las máximas bajan abruptamente desde los 15°C a los 10°C en abril, mayo, septiembre y octubre, para alcanzar las máximas mínimas en junio (6°C), julio (7°C) y agosto (9°C). Las medias de los meses menos fríos alcanzan los 10°, mientras que en los meses más fríos se mantienen bajo los 3°C. Por su parte, las mínimas rondan los -5°C en junio y julio.

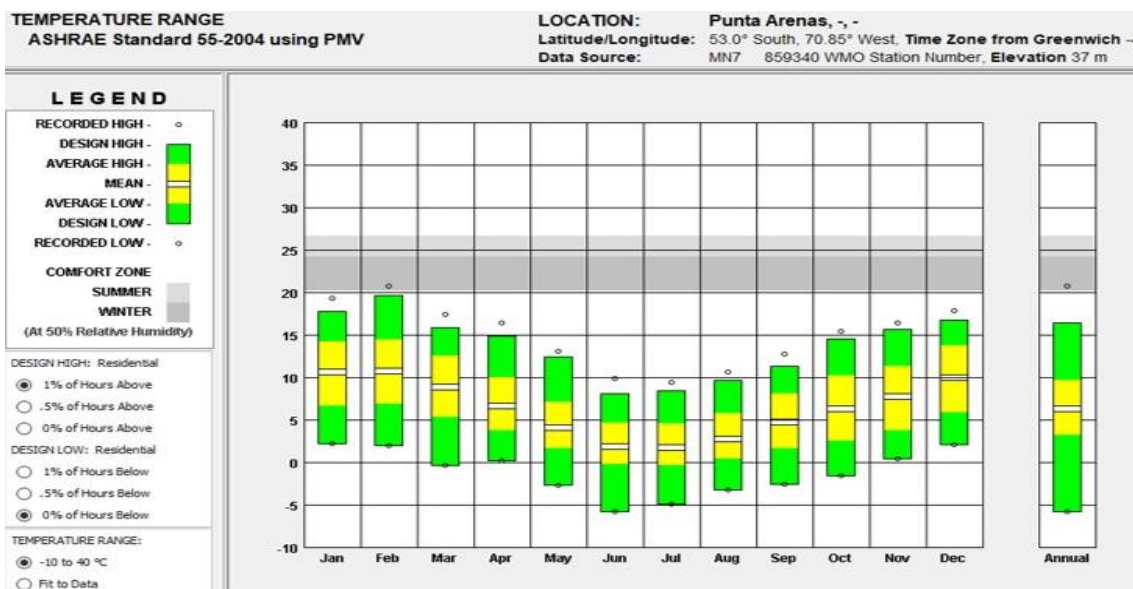


Figura 11: Rango mensual de temperaturas Punta Arenas Base Archivo Meteonorm calibrado, Gráfico Climate Consultant v6

Temperatura y radiación solar: Los rangos de confort, situados entre los 20 y 24°C, no son alcanzados con las temperaturas locales, lo que implica una permanente demanda de calefacción que aumenta hasta alcanzar máximos en junio y julio (ver figura 3.4).

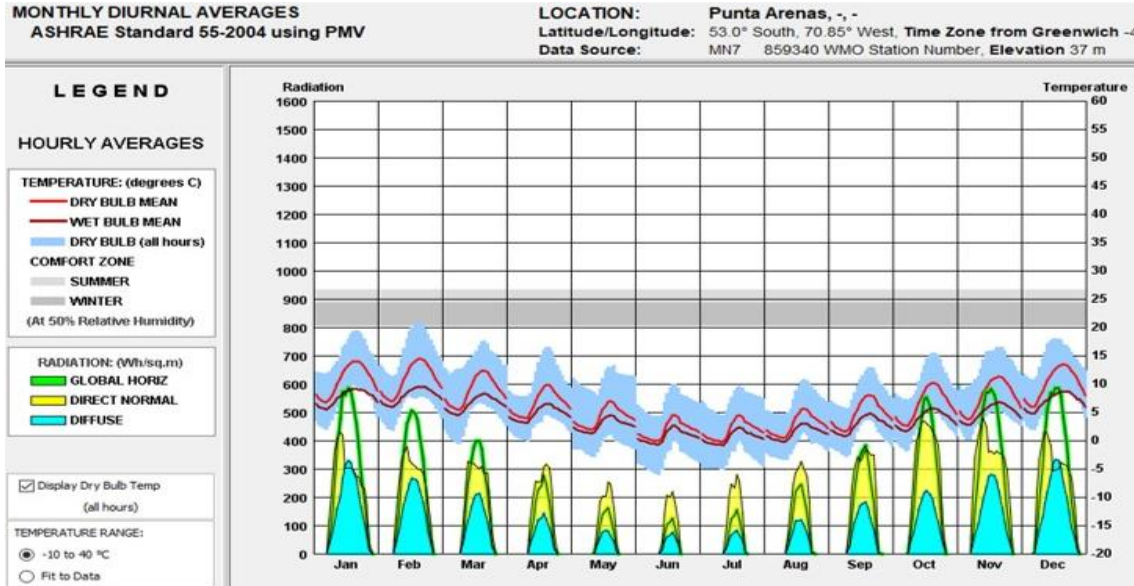


Figura 12: Rango Mensual de Temperaturas y Radiación Solar Punta Arenas
Base Archivo Meteoronorm calibrado, Gráfico Climate Consultant v6

Vientos: Punta Arenas se encuentra dentro de las 10 ciudades más ventosas del mundo, con una velocidad media anual superior a los 6 m/s, una mínima inferior cercana a 4 m/s y una máxima superior a 9 m/s. Se observan valores máximos superiores a los 21 m/s en noviembre y diciembre, mientras que las medias más bajas se dan en el mes de julio (ver figura 3.5).

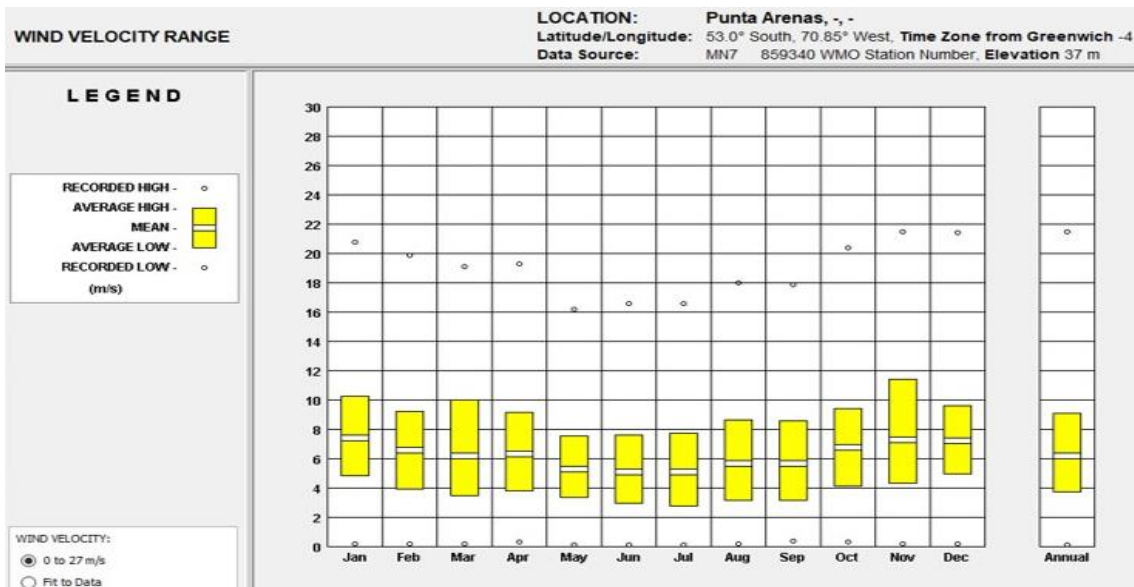


Figura 13: Rango mensual de Velocidad de Viento Punta Arenas
Base Archivo Meteoronorm calibrado, Gráfico Climate Consultant v6

Los vientos predominantes son componente weste en forma permanente (figura 3.6), lo cual es consistente con la presencia de frentes de altas presiones desde el océano pacífico, las que viajan a zonas de baja presión ubicadas en el Estrecho de Magallanes.

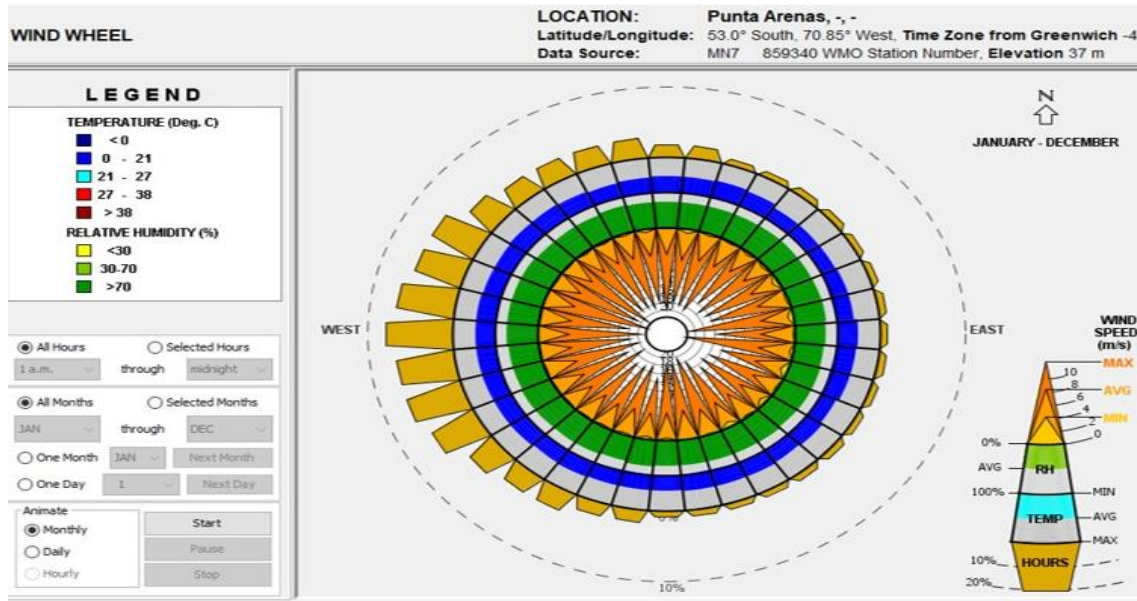


Figura 14: Rosa de los Vientos Punta Arenas
Base Archivo Meteonorm calibrado, Gráfico Climate Consultant v6

Temperatura de bulbo seco y punto de rocío: Según la figura 3.7, se puede apreciar que las bajas temperaturas favorecen que el punto de rocío se ubique cerca de los 0 grados, lo que, sumado a bajas tasas de humedad relativa, reduce la presencia de condensación.

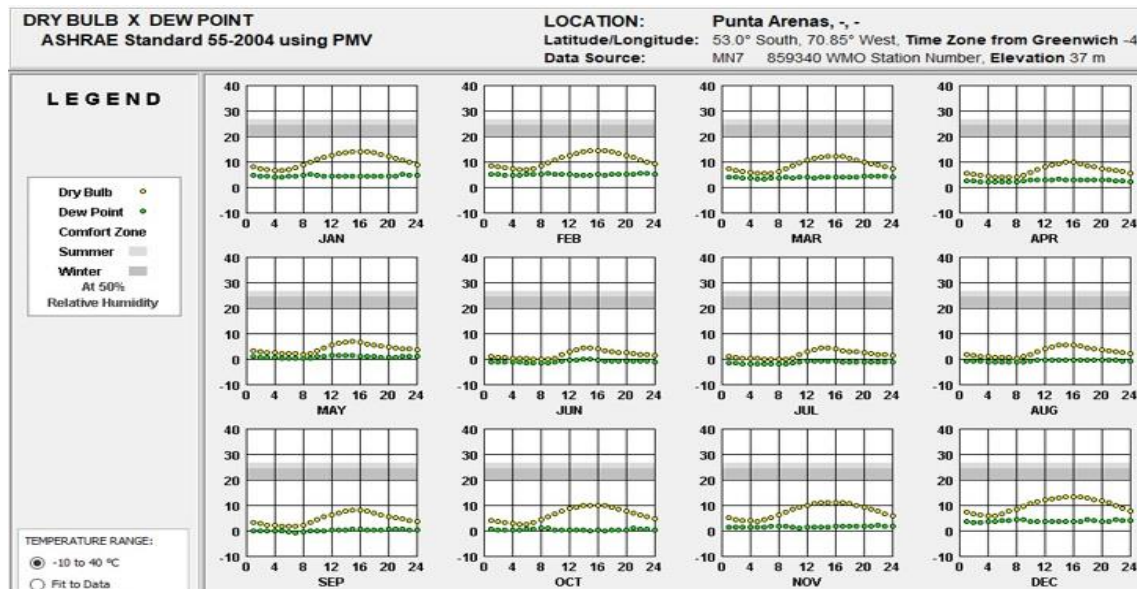


Figura 15: Temperatura de Bulbo seco y Temperatura de Punto de Rocío Punta Arenas
Base Archivo Meteonorm calibrado, Gráfico Climate Consultant v6

3.2 Caracterización de la vivienda de la ciudad de Punta Arenas

La ciudad puerto de Punta Arenas surge desde su traslado a la actual ubicación en 1848, contando recién con un trazado ordenador a partir de 1880, cuando el Gobernador Oscar Viel transforma el incipiente caserío en un asentamiento regular con la forma de un damero que se ha mantenido intacto al menos en su casco histórico (Benavides, Pizzi, Valenzuela, 1992). El paulatino y moderado crecimiento permite que la trama actual sea un álbum que acumula su propia historia reflejada en su imagen urbana (Baeryswil, 2005), siendo posible identificar los períodos históricos a través de sus barrios, apareciendo la conformación de anillos concéntricos (Zamora, 1979). Los barrios más antiguos se relacionan además con oleadas de inmigración nacional y extranjera, como el Barrio Croata, el Barrio Sur o el Barrio 18 de Septiembre, mientras que los desarrollos habitacionales posteriores desordenan el damero para extenderse hacia el norte, sur y poniente.

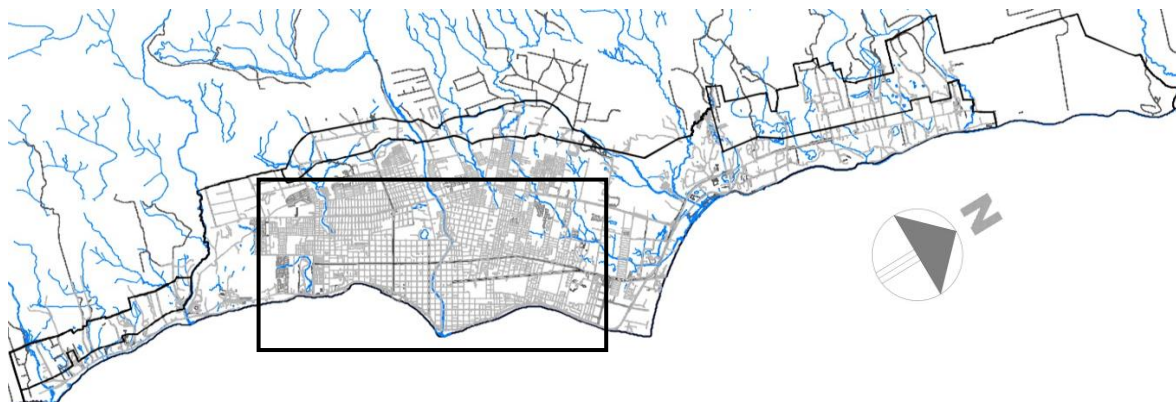


Figura 16: Actual zona urbana de Punta Arenas y ubicación de la figura 17

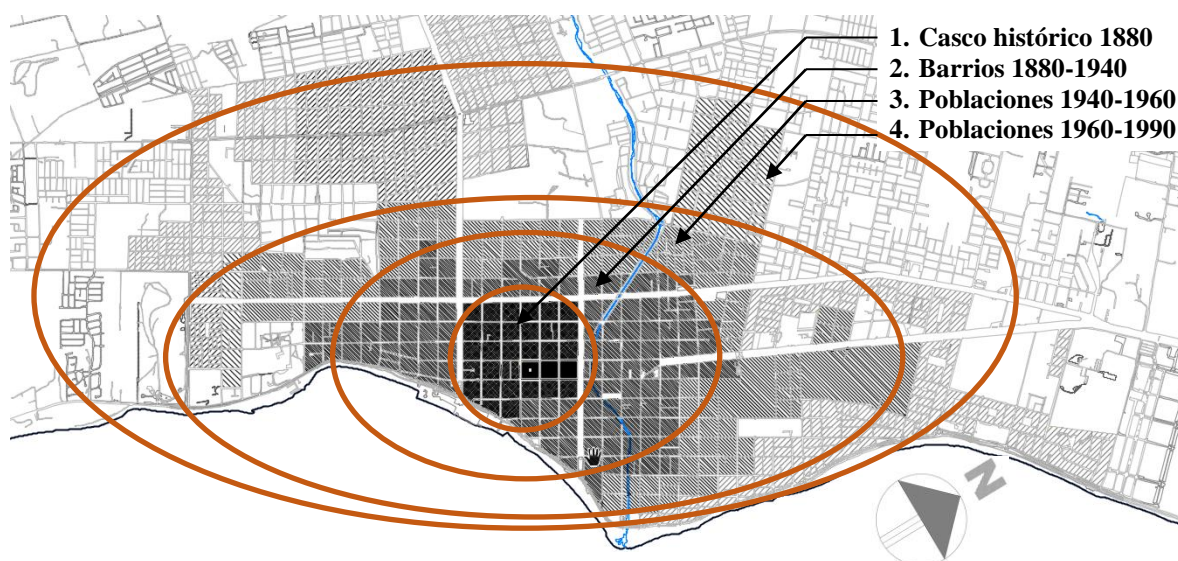


Figura 17: Crecimiento urbano de Punta Arenas en anillos concéntricos, siglos XIX y XX

Si bien el casco histórico conformó una arquitectura mayor de ladrillo y fachada continua, el desarrollo en extensión del resto de la ciudad estimuló el uso de viviendas aisladas y/o pareadas, salvo los escasos edificios colectivos de la década del 60, recientemente replicados en proyectos sociales. Igualmente, es posible leer una tendencia a la densificación de las viviendas existentes, incluso de construcción reciente, con terrenos que superan el 75% de ocupación de suelo o el 40% de adosamiento en deslindes, lo que implica menor aprovechamiento de radiación solar, así como recintos con ventilación deficiente. De igual modo, las bajas superficies de terreno de proyectos sociales e inmobiliarios, han obligado al crecimiento en segundo piso, lo que ha sido asumido en proyectos recientes, donde la vivienda aislada de 2 niveles lidera las tipologías constructivas.

A continuación, se describirán algunas de las tipologías de vivienda más representativas, las cuales se han podido identificar por período histórico a través de información catastral obtenida de la Dirección de Obras Municipales y del Instituto Nacional de Estadísticas, además de trabajo de campo en el cual se ha podido efectuar una verificación de los diferentes barrios y poblaciones residenciales. A partir del resumen censal de 2017 (tabla 3.1), se estableció un catastro estimado de viviendas por período histórico, el cual servirá de instrumento para guiar la investigación.

RESUMEN DE VIVIENDAS SEGÚN CENSO DE 2017				
NOMBRE COMUNA	Viviendas Particulares Ocupadas con Moradores Presentes	Viviendas Particulares Ocupadas con Moradores Ausentes	Viviendas Particulares Desocupadas (en Venta, para arriendo, Abandonada u otro)	TOTAL VIVIENDAS
PUNTA ARENAS	42.379	2.807	2.649	47.835

NOTA: Se han descartado las columnas correspondientes a viviendas de temporada y viviendas colectivas (cuarteles, hospitales, hostales, etc.)

Tabla 7: Resumen de viviendas según Censo de 2017

CATASTRO ESTIMADO DE VIVIENDAS POR PERÍODO HISTÓRICO, CIUDAD DE PUNTA ARENAS							
PERÍODOS HISTÓRICO	AÑOS	POB. CENSADA	POB. POR PERÍODO	AÑO CENSO o ESTIMACIÓN (*)	CANT. VIVDAS. POR PERÍODO	CANT. VIVDAS. A LA FECHA	PORCENTAJE
▪ Vivienda tradicional (1848 – 1948)	100	37.952	37.952	1940	9.488	9.488	19,83%
▪ Vivienda obrera particular (1948 – 1953)	5	44.711	6.759	1952	1.690	11.178	3,53%
▪ Vivienda CORVI I (1953 – 1958)	5	61.562	16.851	1960	5.617	16.795	11,74%
▪ Vivienda CORVI II (1958 – 1973)	15	76.456	14.894	1970	3.819	20.614	7,98%
▪ Vivienda MINVU I (1973 – 1981)	8	117.482	41.026	1982	10.349	30.962	21,63%
▪ Vivienda MINVU II (1981 – 1990)	9	129.915	12.433	1992	3.552	34.515	7,43%
▪ Vivienda MINVU III (1990 – 2000)	10	130.048	133	2002	4.090	38.605	8,55%
▪ Vivienda 1a RT (2000 – 2007)	7	130.500	452	2007*	3.100	41.705	6,48%
▪ Vivienda 2a RT (2007 – 2014)	7	131.000	500	2014*	3.550	45.255	7,42%
▪ Vivienda 1a CEV (2014 – 2018)	4	131.592	592	2017	2.580	47.835	5,39%
TOTAL VIVIENDAS PUNTA ARENAS					47.835		100,00%

Tabla 8: Catastro estimado de viviendas de Punta Arenas por período histórico (elaboración propia)

3.2.1 La vivienda tradicional magallánica, 1848 – 1948

Corresponde a la tipología de vivienda desarrollada desde la época fundacional hasta mediados del siglo XX. En general, se trata de viviendas de estructuras de madera proveniente de aserraderos regionales cuyos modelos iniciales se basan en la vivienda del sur de Chile, pero que, con el desarrollo del tiempo, van incorporando materialidades, sistemas constructivos y elementos aportados por inmigrantes europeos que, de modo similar que en el resto de los puertos mayores de Chile, van construyendo una identidad arquitectónica muy distinta a la del interior del país (Benavides, Pizzi, Valenzuela, 1992).

Para el caso de la vivienda magallánica, el resultado de la importación de estos elementos resultó de mayor éxito que en otros puertos chilenos, considerando que correspondían a formas de construir propias de climas fríos, con materiales ligeros de fácil armado, lo que era fundamental para levantar asentamientos en zonas de climas adversos y muchas veces de difícil acceso. Por otra parte, las volumetrías propias de la vivienda portuaria repetidas en Punta Arenas incluyeron el volumen simple y la casa cajón, en sus variables de dos o cuatro aguas, con o sin soberado o acceso destacado, incorporando en menor medida tipologías de volúmenes salientes y el tipo Villa (Benavides, Pizzi, Valenzuela, 1992).

Dentro de las tipologías de la vivienda tradicional magallánica, B. Baeryswil en su libro “Arquitectura de Magallanes: casas de madera 1848 - 1948. Cien años de historia” (2003), propone una clasificación que distingue la vivienda colonial, la vivienda pionera, la vivienda patagónica y la vivienda tipo Chalet, cada una diferenciada por elementos estilísticos que van marcando distintas etapas del devenir social y económico de la ciudad. Muchos de estos ejemplos de vivienda levantadas por inmigrantes británicos, persisten también en la ciudad de Victoria, Canadá.

El lento y extenso desarrollo de la ciudad de Punta Arenas, exento de procesos de renovación urbana, ha permitido que, de un total cercano a las 10.000 viviendas tradicionales levantadas, persista un gran porcentaje en pie, aunque muchas de ellas han sido intervenidas, modificadas y/o ampliadas, o cambiado de destino. Esta tipología aún está presente en los siguientes barrios:

- Cerro de la Cruz.
- Barrio Croata.
- Barrio Sur.
- Barrio Prat.
- Barrio 18 de septiembre.



Figura 18: Set de fotografías de viviendas tradicionales de volumen simple. Nótese el diseño compacto y bajo porcentaje de ventanas, techumbres a dos o cuatro aguas y el uso de galerías vidriadas en fachada norte y chimeneas centrales de ladrillo.

Al revisar los modelos que aún persisten al tiempo, es posible rescatar elementos constructivos y estrategias de diseño que bien pueden ser evaluados desde el punto de vista de su desempeño energético, lo cual se propone tratar en investigaciones posteriores. Por otra parte, con la entrada en vigencia de la ley 12.008 de 1956, y que decretaba un Puerto Libre en Punta Arenas, la vivienda tradicional incorpora nuevos materiales que ayudan a conformar el actual aspecto interior y exterior de éstas. Sin embargo, la principal modificación en el consumo de energía de estas viviendas, tiene que ver con la incorporación del gas natural en la ciudad, antes de lo cual, las viviendas eran calefaccionadas con leña o carbón. De igual modo, durante años se había valido de la tradicional estufa de fierro fundido con ductos de evacuación de gases al exterior, ya sea alimentada con leña o carbón de piedra, para cocinar y proveer calor, pero con la llegada del gas licuado en los años 60 y el gas natural en los 70, esta es transformada incorporando potentes quemadores a gas en su interior, generando altos consumos, así como un paulatino cambio cultural en el uso de la calefacción, que pasó de ser eventual a permanente, junto con tratarse de una energía más limpia, tanto en su manipulación como en su combustión.

Sistemas constructivos de la vivienda Magallánica

Se identificarán a continuación los aportes de los sistemas constructivos aplicados en la vivienda magallánica y cómo estos responden a las características climáticas locales del punto 3.1, con el objeto de identificar elementos posibles de re – evaluar para ser aplicados en la elaboración de las envolventes térmicas locales, pero con las condiciones tecnológicas actualmente disponibles. Se incluyen soluciones constructivas estructurales, sistemas de revestimiento y elaboración de elementos (puertas y ventanas).

- Soluciones de fundaciones y piso: en general, considera un sistema de envigado de piso de madera regional, con vigas maestras de 3x3” como mínimo soportadas en apoyos de piedra, hormigón o simplemente postes de madera de gran escuadría debidamente tratados con aceite de petróleo quemado para evitar pudrición. Sobre estas se desarrollaban los envigados de piso de madera de 2x5” como mínimo cada 60 o 70 cm, para recibir entablados machihembrados. Este sistema de piso era generalmente cerrado en el perímetro de la edificación mediante cimiento de hormigón y/o ladrillo, dejando pequeñas aberturas para permitir una ventilación relativamente controlada, objeto evitar la pudrición interior con una adecuada ventilación del tipo cruzada, evitando las infiltraciones excesivas con el tamaño de las aberturas. En otros casos presentes, pero más frecuentes en Norteamérica, se desarrollaba un piso – zócalo o subterráneo, el cual era utilizado como bodega y sala de equipos de calefacción. El resultado era una cámara de aire débilmente ventilada, la cual aportaba alguna aislación térmica al piso. Este sistema aún es utilizado en la zona sur del país, aunque se ha reemplazado el entablado por la utilización de placas de madera terciada, madera aglomerada y OSB de 18mm, siendo factible de mejorar con la incorporación de aislación térmica en el perímetro de las fundaciones y la adición de reguladores de aire en las aberturas.
- Envoltente de muros: considera una estructura de madera con pies derechos de 3” o más pulgadas revestidas con una capa de entablado de madera regional de 1” de espesor tanto por el exterior como por el interior. Sobre esta capa, se colocaba el revestimiento exterior final correspondiente a planchas lisas o acanaladas de acero, la que, a diferencia del entablado, limitaba la ocurrencia de infiltraciones en los paramentos. De igual modo, en algunos casos, se observa la incorporación de argamasa de barro y paja para mejorar el

desempeño térmico del muro, así como la posterior incorporación, después de los años 50, de papel fieltro bajo el revestimiento exterior de acero para contrarrestar la condensación, y la instalación de papales murales o placas de “hardboard” (madera y papel prensados) en habitaciones o linóleos en zonas húmedas, mejorando la hermeticidad de los tabiques. Cabe mencionar que, al tratarse de viviendas pareadas o adosadas a un deslinde, se levantaban muros cortafuego en albañilería de ladrillo de doble hilada, los que ayudaban a dar mejor resistencia estructural a las viviendas.

- Complejo techumbre: considera la ejecución de una estructura de techumbre en piezas de madera regional de 2x5” o más pulgadas, para obtener cubiertas de dos o cuatro aguas con pendientes superiores al 25% para favorecer el escurrimiento de la nieve en invierno, así como proveer de una cámara débilmente ventilada para aislación del cielo de la vivienda. Las techumbres eran revestidas con planchas de acero acanalado de gran espesor, pero evitaban el desarrollo de aleros, los que en la mayoría de los casos no superan los 20cm necesarios para separar las canaletas de agua lluvia de los muros, incluyendo refuerzos de madera a modo de falsos envigados para enfrentar las fuertes rachas de viento. Cabe mencionar que, en general, las techumbres no eran habitables, aunque sí eran utilizadas como bodegas, para lo cual contaban con pequeñas lucarnas.
- Complejo ventana: la vivienda tradicional magallánica consideraba en sus inicios ventanas fijas de madera con bastidores que permitían paños de vidrios cercanos pequeños (25 x 33cm), al ser difícil la instalación de sistemas proyectantes con vidrios mayores debido a las fuertes condiciones de viento. Como solución posterior, y gracias al aporte de carpinteros suecos, se utilizaron ventanas del tipo guillotina, la cual era posible confeccionar solo con maderas importadas o la recuperación de palets de pino oregón, la cual poseía una baja humedad que permitía su operación sin inconvenientes de aprietes y una adecuada hermeticidad. Luego, al contar con aserraderos y carpinterías con salas de secado de madera, se logra la ejecución de ventanas de mejor elaboración y perfilería de madera, en este caso incorporando la doble ventana, así como alfeizas de mejor encuentro y sello con tabiquerías y hojalaterías, incorporando decorativos contramarcos, remates y terminaciones. Lamentablemente, la incorporación de nuevas tecnologías como las ventanas de acero y aluminio, producto del puerto libre, trajo como consecuencia la

desaparición de muchas fábricas y mueblerías que habían hecho de la confección de ventanas un verdadero arte.

- Complejo puerta: de igual modo que en el complejo ventana, las puertas originales eran de muy deficiente confección, permitiendo grandes infiltraciones de aire al interior. Sin embargo, por el trabajo de elaboradas piezas de madera, perfilerías de marcos y adecuados encuentros, se lograron puertas de madera de gran hermeticidad, por lo general de dos hojas y con lucarna superior. Otro elemento incorporado por inmigrantes europeos, consistió en la implementación de exclusas o doble puerta, permitiendo la generación de un vestíbulo o zaguán donde el usuario se secaba de la nieve o la lluvia, permitiendo dotar la vivienda con un complejo de puerta de alta eficiencia. Este elemento ha sido recientemente incorporado por algunos modelos de viviendas de inmobiliarias.

Estrategias de diseño de la vivienda Magallánica

A continuación, se indican las estrategias de diseño aplicadas en la vivienda magallánica, posibles de revisar para ser aplicados en la actualidad, en las condiciones tecnológicas disponibles. Se incluyen estrategias bioclimáticas de diseño, las cuales no serán evaluadas en la presente investigación pero que abren la posibilidad de futuras investigaciones.

- Diseño compacto. Se trata de tipologías sencillas en base a plantas cuadradas o rectangulares de máxima compacidad, con la cual se evitaban pérdidas de calor por mayor superficie de envolvente. Estas tipologías resultaban en agrupamientos aislados y/o pareados, incluyendo muros cortafuegos de doble hilada de ladrillo regional.
- Orientación con cara mayor y aberturas hacia el norte. Aunque las viviendas obedecen al damero urbano, girado en 30° con respecto al norte, considera mayores aberturas de ventanas hacia los costados N-NE y O-NO, muchas veces en forma de galerías vidriadas.
- Uso de techumbre como aislación térmica (cámara de aire). Como se explicó anteriormente, las techumbres no eran habitables, aunque servían de bodegas o despensa. De este modo, se aprovechaba la cámara de aire débilmente ventilada.

- Uso de entepiso de fundaciones como aislación térmica (cámara de aire). Como se explicó anteriormente, los pavimentos se separaban de suelo sobre los 30 cm, permitiendo la conformación de cámaras de aire débilmente ventiladas.
- Bajo porcentaje de abertura en vanos. Esta condición es típica de las viviendas tradicionales, con el objeto de evitar pérdidas por vanos, salvo en orientación norte.
- Utilización de cortavientos hacia fachada al oeste. Es frecuente la utilización de pantallas que funcionan como cortavientos, mediante cercos vivos o treillages.
- Altura interior de 2,5 a 3,0 metros, objeto aprovechar largos de piezas de madera de 10 pies (304,8 cm). Esto generaba espacios con mayor volumen a calefaccionar, pero con menor probabilidad de aire viciado.
- Exclusas de acceso: consiste en la incorporación de una doble puerta de acceso, muy necesaria en las fachadas que enfrentan los fuertes vientos del oeste. Estas exclusas solían ser la antesala de un pasillo de distribución, por lo que consideraban lucarnas superiores.



Figura 19: Set de fotografías de ventanas y puertas de viviendas tradicionales. Se aprecia uso de exclusiva o chiflonera de acceso con lucarna superior.

3.2.2 Las soluciones habitacionales sociales (CORVI – MINVU), 1948 – 2000

A partir de 1948, se inicia un nuevo período en el desarrollo de la vivienda en la ciudad de Punta Arenas con la construcción de villas y conjuntos habitacionales inicialmente promovidos por compañías particulares a través de poblaciones obreras, y continuadas por la implementación de políticas habitacionales dispuestas por el Estado mediante la Corporación de vivienda (CORVI), la cual en sus 20 años de funcionamiento desde 1953 a 1973, logró reflejar a un estado benefactor, preocupado en entregar soluciones habitacionales de calidad a los sectores vulnerables de la población, como respuesta a los graves problemas que acarreó el éxodo masivo de población campesina a las grandes ciudades del resto del país.

El descubrimiento del primer yacimiento de petróleo en Tierra del Fuego a manos del Estado en 1945, viene en marcar un contrapunto a la grave crisis económica vivida en Punta Arenas, marcada por la fuerte baja de las exportaciones lanares y ovinas al término de la segunda guerra mundial, la que acarreó el éxodo de muchos trabajadores desde las estancias a las ciudades y el cierre de numerosos mataderos y frigoríficos (Martinic, 2002). Por otra parte, en 1947 se da inicio a la aeronavegación comercial, la cual facilita la participación de arquitectos y constructores santiaguinos en los proyectos locales, lo que marca en cierto modo el final de la vivienda tradicional magallánica, la cual es reemplazada por una serie de experimentos gubernamentales.

Los primeros proyectos de viviendas obreras involucran la participación del estado o instituciones del estado y/o de compañías particulares que, en un afán benefactor hacia sus trabajadores, loteaban terrenos particulares para la edificación de viviendas de materialidad de ladrillo en uno o más niveles, respetando una estructura de techumbre de cerchas o tijerales de madera de dos o cuatro aguas, propia de la vivienda tradicional. Aunque el ladrillo no era un material nuevo en el uso de vivienda, siendo la principal materialidad de las viviendas importantes o de arquitectura mayor, su uso permitió incentivar el uso de cortafuegos entre unidades. Esto aportó en las acertadas tipologías pareadas o continuas, las que requieren menor calefacción que las del tipo aisladas, propias de la vivienda tradicional. De igual modo, las soluciones de pavimentos corresponden a entablados y envigados de madera regional sobre poyos. La totalidad de estas viviendas se mantienen con leves modificaciones, pudiéndose mencionar los siguientes conjuntos:

- Población Mauricio Braun.
- Población Explotadora.
- Loteo Playa Norte.
- Población Naval Miraflores y Apostadero Naval (Destacamento COCHRANE).

Por su parte, los proyectos promovidos por el estado a través de la CORVI, vienen en relacionarse con nuevos procesos sociales. La explotación de los yacimientos de petróleo en Magallanes y Tierra del Fuego genera la instalación de numerosos campamentos en lugares remotos, algunos conformando verdaderas ciudadelas, como es el caso de Cerro Sombrero. Estas instalaciones, así como el régimen de trabajo por roles, implica la necesidad de contar con adecuadas viviendas para los trabajadores en la capital regional, así como para los empleados fiscales de una comuna que empieza a expandir su población, y que requiere de más servicios públicos, financieros y comerciales. De este modo, se edifican proyectos habitacionales según estándares dispuestos a nivel central, con diseños aportados de oficinas profesionales de Santiago al alero de la misma Corporación de la Vivienda, con la aparición de edificios de vivienda colectiva de 4 niveles, en modalidad de 2 o 4 departamentos por piso. Existen cerca de 20 edificios de este tipo, incluida una torre de departamentos de 16 pisos iniciada en la década del 70. En cuanto a los conjuntos de viviendas, es posible distinguir una serie de proyectos de diversa materialidad y calidad, muchas de ellas con adecuado desarrollo de áreas verdes y equipamientos comunitarios. Tal es el caso de la población Fitz Roy en el sector sur (1958), la cual contaba con viviendas de hormigón armado con cuadripareos y 3 niveles, la villa Gobernador Viel (1960-1970) con más de 3.000 viviendas de uno y dos niveles en materialidad de madera y las villas Enápolis y Manantiales en el sector norte (1965-1970) con viviendas de uno y dos niveles en materialidad de madera. En general, este tipo de villas de la CORVI replicaban modelos y soluciones constructivas provenientes de otras regiones del país, si bien ponían acento en la ocupación de materiales locales y/o materiales y artefactos importados por el régimen de Puerto Libre o Zona Franca, destacando sanitarios, luminarias, planchas de aglomerados y equipos de calefacción y de agua caliente sanitaria, cuando las redes de gas natural son implementadas en la ciudad, marcando un drástico cambio en las costumbres del habitar local, dotando a las viviendas de energía limpia y cómoda a bajo costo.

Los proyectos que más destacan en este período de la CORVI son los siguientes:

- Población Fitz Roy (sector sur).
- Población Gobernador Viel (sector norte).
- Villa Club Hípico, Enápolis, Manantiales y Población Las Naciones.
- Villa EMPART (sector norte), Villa Friburgo y Población Bahía Catalina.
- Villa CAPREMER.
- Población Naval Bermúdez.
- Villas Nueva España, Montes y Los Pinos.
- Población Juan Williams, Magallanes y 29 de Diciembre.

De igual modo, merecen mención una serie de loteos surgidos en la década del 50 y 60, correspondientes a regularización de tomas, donde los propietarios desarrollaron la auto – construcción en madera o recurrieron a los antiguos carpinteros tradicionales. Tal es el caso de la Población 18 de Septiembre, Población Río de la mano, Calixto, El Pingüino, Carlos Ibáñez, Loteos Ivelic, Fermín Roca, 21 de Mayo, Independencia, Cvitanic, Costanera del Río, Playa Norte y otros.

A partir de 1973, las políticas habitacionales poseen una serie de variaciones, condicionadas tanto por cambios políticos como por motivos de soberanía que implican el traslado a la zona de importantes contingentes militares y sus familias a raíz de la crisis limítrofe con Argentina de 1978. En esa época, se opta por la implementación de soluciones habitacionales de rápido montaje y menor calidad, levantándose extensas poblaciones que crecen hacia sectores periféricos ubicados al sur, poniente y norte de la ciudad. De igual modo, es incentivada la inmigración de población proveniente de otras zonas del país, particularmente de la zona de Chiloé, desde donde se percibe a la ciudad de Punta Arenas como un destino de mejores perspectivas económicas que el centro del país, azotado entonces por los efectos de la crisis mundial del petróleo.

Estas nuevas viviendas son de materialidad de madera de escuadría de 3” como máximo, con alturas interiores de 2,2 a 2,3 metros, e incorporación de aislantes nacionales como poliestireno expandido de baja densidad en espesores de 3 y 5 cm en muros y techumbres y/o lana de roca. Se soportan sobre cimiento perimetral y radieres de hormigón de espesor 7cm. Las cubiertas se resuelven con planchas de acero acanalado nacional, utilizadas además en muros (plancha 5V) con incorporación de papel fieltro. Los interiores son forrados con planchas de yeso – cartón y/o planchas de madera prensada y/o aglomerada, incorporando terminaciones lineales en encuentros de cielo y muros o muros y pavimentos, para mitigar en parte las infiltraciones. Al igual que las viviendas CORVI, las ventanas consideran bastidores de madera con vidrio simple y las puertas interiores e inclusive exteriores son resueltas con placa terciada. La calidad de la vivienda, afectada por un criterio económico, ciertamente que es precaria para las condiciones climáticas de la zona, lo que genera su pronto deterioro. Más aún, en años posteriores se mantienen sin modificaciones las mismas especificaciones y sistemas constructivos para las viviendas sociales hasta bien entrada la reglamentación térmica, situación que solo es variada en la ejecución de proyectos inmobiliarios particulares de mayor inversión. De igual modo que en la época CORVI, en esta época el MINVU también replica edificios colectivos de 4 pisos construidos en otras zonas del país, los cuales no logran enfrentar adecuadamente las condiciones climáticas al considerar

materialidades de ladrillo y hormigón perimetral con techumbres de madera, de escasa aislación térmica. Es posible contabilizar 20 edificaciones de éste tipo, incluyendo desde 2 a 8 departamentos por piso, todos ubicados en el sector nor – poniente de la ciudad.

Una mención especial, merece la importación de viviendas canadienses, tanto en Punta Arenas a fines de los 80 como en Puerto Williams a inicios de los 90. Estas viviendas incluían paneles del tipo Structural Insulated Panel (SIP), incluyendo ventanas de PVC con cristales de doble vidriado hermético. Estas iniciativas constructivas se relacionaron en Punta Arenas con la provisión de viviendas para ejecutivos de la empresa canadiense METHANEX, mientras que en Puerto Williams obedeció a un proyecto de la Armada de Chile para renovar el parque de viviendas fiscales. Al respecto, es interesante comparar la villa Sandy Point de Punta Arenas, de 45 viviendas panelizadas, con una villa ubicada en Victoria, Columbia Británica, constatando no solo la importación de viviendas, sino que de una forma particular de urbanización.



Figura 20: Set de fotografías que demuestran similitudes entre viviendas de Punta Arenas, Chile (Imagen superior, villa Sandy Point) y Victoria, Canadá (Imagen inferior) (fuente Google Earth – Street view)

3.2.3 La vivienda de la primera reglamentación térmica, 2000 – 2007

Tras la implementación de la primera reglamentación térmica, se aplica mayor cantidad de revestimiento térmico en las cubiertas, pero sin existir mayores variaciones a las especificaciones y modelos de los años inmediatamente anteriores, reiterando tipologías de vivienda pareada en uno y dos niveles, con materialidad predominante de madera, aunque aparece fuertemente el Steel Freaming (acero galvanizado Metalcon) para pasar a ser la principal materialidad utilizada en viviendas en los años posteriores. El principal mandante y ejecutor de este tipo de viviendas sigue siendo el MINVU, destacando por su número las siguientes poblaciones:

- Población Archipiélago de Chiloé.
- Cumbres Patagónicas, Eusebio Lillo, Pablo Neruda.
- Domingo Espiñeira y Nelda Panicucci.
- Loteo Hornillas, Barceló Lira.
- Población Cardenal Raúl Silva Henríquez.

De igual modo en este período se da una mayor presencia de proyectos de conjuntos habitacionales ejecutados mediante inversiones inmobiliarias, replicando modelos de viviendas traídos de ciudades del sur de Chile. Entre estos, destacan las siguientes poblaciones:

- Villas El Golf, Los Flamencos, La Molinera, Los Acacios, Lomas de Agostini y Portal del Estrecho.



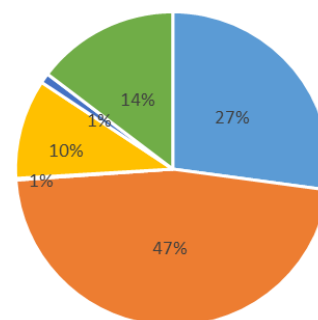
Figura 21: Set de fotografías de viviendas construidas bajo la reglamentación térmica. Sección superior: viviendas aisladas y pareadas, sección inferior, edificios colectivos. (elaboración propia)

3.2.4 La vivienda de la segunda reglamentación térmica, 2007 – 2018

Tras la implementación de la segunda reglamentación térmica a partir del año 2007, se hacen notorias las aplicaciones de nuevas tipologías de vivienda, en materialidades livianas de madera y acero galvanizado, con la aparición de proyectos inmobiliarios y sociales de empresas trans - regionales que inician la importación y/o adaptación de tipologías de viviendas aplicadas para la zona sur del país, siendo posible encontrar en Punta Arenas idénticos modelos de vivienda que en Temuco y Puerto Montt. Las tipologías más representativas de este período son las viviendas aisladas de 2 niveles, seguida de viviendas aisladas de un nivel, con la incorporación de aislación térmica de poliestireno expandido y/o lana mineral de 50mm en muros y 160mm en cubiertas, y sistemas de calefacción mediante calentadores y/o calefacción central por agua caliente, apareciendo además el uso ventanas de PVC con doble vidriado hermético.

Según el Instituto Nacional de Estadísticas, entre 2008 y 2016 se construyeron cerca de 5.157 viviendas, con un promedio de 644 unidades nuevas por año ¹, con una baja tasa de crecimiento del 1,34% anual. Es posible establecer que las tipologías de vivienda más recurrentes, según altura, es la de viviendas de 2 pisos (47%), seguidas por las de 1 piso (27%) y con la tipología de edificio de departamentos en tercer lugar (24%), tal, como se aprecia en la figura 3.11.

RESUMEN PERMISOS EDIFICACION INE (2008 - 2016)									
AÑO	1 PISO	2 PISOS	3 PISOS	SUBTOTAL CASAS	5 PISOS	6 PISOS	9+ PISOS	SUBTOTAL DEPTOS.	TOTALES
2008	244	346	4	594			28	28	622
2009	159	274	1	434	60	6	86	152	586
2010	369	519	4	892			51	51	943
2011	148	297	1	446	80			80	526
2012	SIN INFORMACIÓN								
2013				239				240	479
2014				700					700
2015				629					629
2016	300	131	1	432	240			240	672
TOTALES	1220	1567	11	4366	380	6	165		5157



■ 1 PISO ■ 2 PISOS ■ 3 PISOS ■ 5 PISOS ■ 6 PISOS ■ 9+ PISOS

Tabla 9: Resumen permisos de edificación Punta Arenas según Instituto Nacional de Estadísticas 2008-2016 y porcentaje de tipologías por piso (elaboración propia)

¹ En la información del INE no figuran registros de permisos para el año 2012, por lo que se suplió el dato con el valor ponderado de los años restantes.

Cabe mencionar que, en los últimos años se han construido de conjuntos residenciales que utilizan Paneles SIP, con estándares de aislación térmica iguales o superiores a la OGUC. El primero es el conjunto Villa Pudeto, gestionado por personal del Ejército, y que incluye 112 viviendas pareadas de 1 piso en estructura de paneles SIP para techumbre y muros con estándares de la OGUC (ver figura 3.11). El segundo corresponde al proyecto IMPASIVHAUS, que ofrece 13 viviendas de altos estándares, íntegramente diseñadas y construidas con tecnología local, caracterizadas por su compacidad en modelos aislados de 2 pisos, incluyendo paneles SIP de gran espesor para techumbres y muros ($U=0,2 \text{ W/m}^2\text{-K}$), y aislación térmica en fundaciones y radieres ($U=0,430 \text{ W/m}^2\text{-K}$). La vivienda logró altos estándares de hermeticidad (1,52 renov/aire hora a 50Pa), y cuenta con generación de energía solar térmica y eléctrica, sumado a equipos de calefacción y ACS de alto desempeño que acercan el modelo al concepto del Net Zero Building (ver figura 3.12).



Figura 22: Imagen de vivienda Villa Pudeto (Fuente Inmobiliaria Alcarráz)



Figura 23: Imagen vivienda Impasivhaus (Fuente Inmobiliaria Los Albatros)

3.2.5 Línea Base del desempeño energético de viviendas en Punta Arenas

El Centro de Estudio de los Recursos Energéticos dependiente de la Universidad de Magallanes (CERE – UMAG), se adjudicó a fines de 2016 el proyecto INNOVA CORFO 15BPCR – 48594 titulado “Generación de Estándares de Construcción en la Región de Magallanes y Antártica Chilena, a través de eficiencia energética y uso de energías renovables”, con la participación del Centro de Investigación de Tecnologías de la Construcción de la Universidad del Bío Bío (CITEC – UBB) como ente supervisor. Dicho estudio, logró establecer una línea base de la edificación de viviendas en Punta Arenas, considerando el levantamiento de los conjuntos habitacionales con financiamiento SERVIU y financiamiento inmobiliario ejecutados entre los años 2008 y 2014. Este universo consideró 1.333 viviendas desde donde se tomó una muestra de 24 viviendas para ser simuladas y testeadas en términos de demanda energética y de infiltraciones (ver tabla 3.4).

Categoría	Número de pisos	Materialidad	M2 construidos	Agrupamiento	Cantidad de casas	Tamaño de la muestra
1	1	Madera	40-80	Pareada	24	4
2	1	Metalcon	40-80	Aislada	432	4
3	2	Madera	40-80	Aislada	247	3
4	2	Madera	40-80	Pareada	42	3
5	2	Metalcon	40-80	Aislada	373	3
6	2	Metalcon	80-120	Aislada	135	3
7	5 (edificio)	Hormigón	40-80	Continúa	80	4
Total					1333	24

Tabla 10: Muestra línea base constructiva de viviendas período 2008-2014 según proyecto INNOVA CORFO 15BPCR – 48594 (fuente CERE – UMAG)

Del universo estudiado, solo un 6% corresponde a la tipología de vivienda colectiva de departamentos en edificios de 5 pisos, mientras que el 94% restante corresponde a viviendas. De acuerdo al agrupamiento indicado por la OGUC, un 94,73% de las viviendas posee agrupamiento aislado, mientras que un 5,27% posee agrupamiento del tipo pareado. Por otra parte, según la materialidad de la estructura, un 75% del universo de las viviendas corresponde a Metalcon, mientras que un 25% corresponde a Madera. En cuanto a las superficies por tipología, solo un 10% del universo estudiado corresponde a viviendas entre los 80 y 120 m², mientras que el 90% corresponde a viviendas de menos de 80 m², constituyendo la totalidad de los proyectos SERVIU y gran parte de los proyectos inmobiliarios construidos en el período de la muestra.

La categorización de casas propuesta por el estudio, se detalla en la tabla 11 siguiente.

Parámetro	Categoría 1	Categoría 2	Categoría 3	Categoría 4	Categoría 5	Categoría 6
Cantidad	24	432	247	42	373	135
Tamaño de la muestra	4	4	3	3	3	3
Pisos	1	1	2	2	2	2
Materialidad	madera	metalcon	madera	madera	metalcon	metalcon
Superficie	40-80	40-80	40-80	40-80	40-80	80-120
Agrupamiento	pareada	aislada	aislada	pareada	aislada	aislada
Tipo de ventana	Vidrio simple en dormitorios, cocina y baños	Vidrio simple en zonas comunes	Vidrio simple en dormitorios, cocina y baños	Vidrio simple en dormitorios, cocina y baños	Vidrio simple en zonas comunes	DVH en dormitorios, cocina y baños
	DVH en zonas comunes	DVH en dormitorios	DVH en zonas comunes	DVH en zonas comunes	DVH en dormitorios	DVH en zonas comunes
Techo	160mm lana de vidrio	160mm lana de vidrio	160mm lana de vidrio	160mm lana de vidrio	160mm lana de vidrio	160mm lana de vidrio
Muro	80mm lana de vidrio	60mm lana de vidrio	80mm lana de vidrio	80mm lana de vidrio	60mm lana de vidrio	80mm lana de vidrio
						20mm poliestireno expandido
Piso (en contacto con el terreno)	Sin aislación	Sin aislación	Sin aislación	Sin aislación	Sin aislación	Sin aislación
Demanda kWh/m ² /año	616,0	718,0	603,2	442,0	582,0	404,0

Tabla 11: Categorización de casas según parámetro del proyecto INNOVA CORFO 15BPCR – 48594 (fuente CERE – UMAG)

Según la tabla anterior, la categoría de mayor desempeño energético corresponde a la 6 (vivienda aislada de madera de 2 pisos) con un consumo superior a los 404 kWh/m²/año, mientras que la de menor eficiencia fue la categoría 2 (vivienda aislada de Metalcon de 1 piso) con 718kWh/m²/año. Según el mismo estudio, estas diferencias se explicarían por la mayor presencia de infiltraciones en la vivienda de madera y en mucho menor medida por la envolvente, entendiendo mayor superficie expuesta de la vivienda de un piso versus la de dos pisos (de mayor compacidad) (ver figuras 3.13 y 3.14). Sin embargo, para todas las viviendas estudiadas, aparece un alto porcentaje de pérdida de energía por el suelo, representando los mayores porcentajes de pérdida para todas las categorías, exceptuando la categoría 4 con menor superficie expuesta al perímetro del suelo al tratarse de una vivienda pareada de dos niveles.

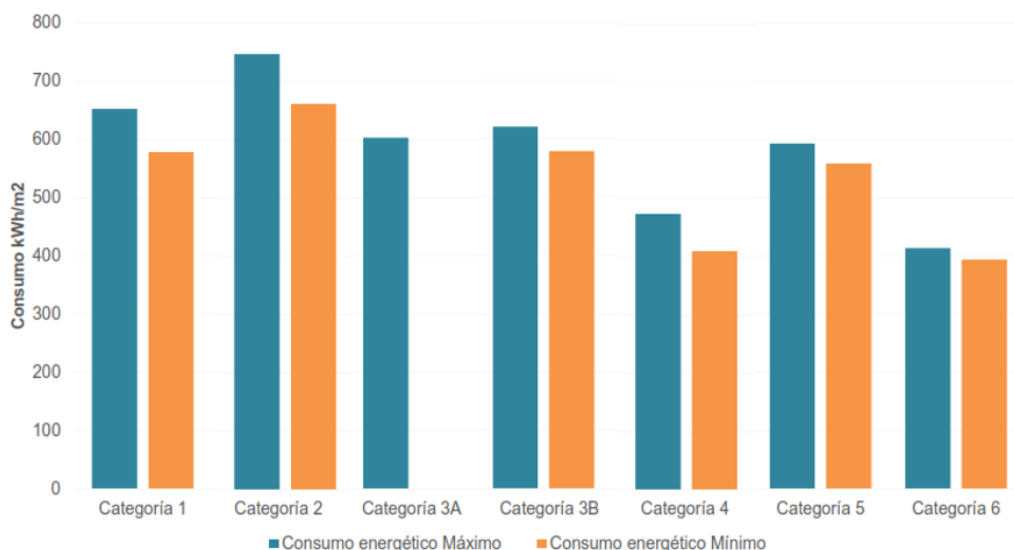


Figura 24: Cuadro comparativo de consumos energéticos máximos y mínimos entre categorías proyecto INNOVA CORFO 15BPCR – 48594 (fuente CERE – UMAG)

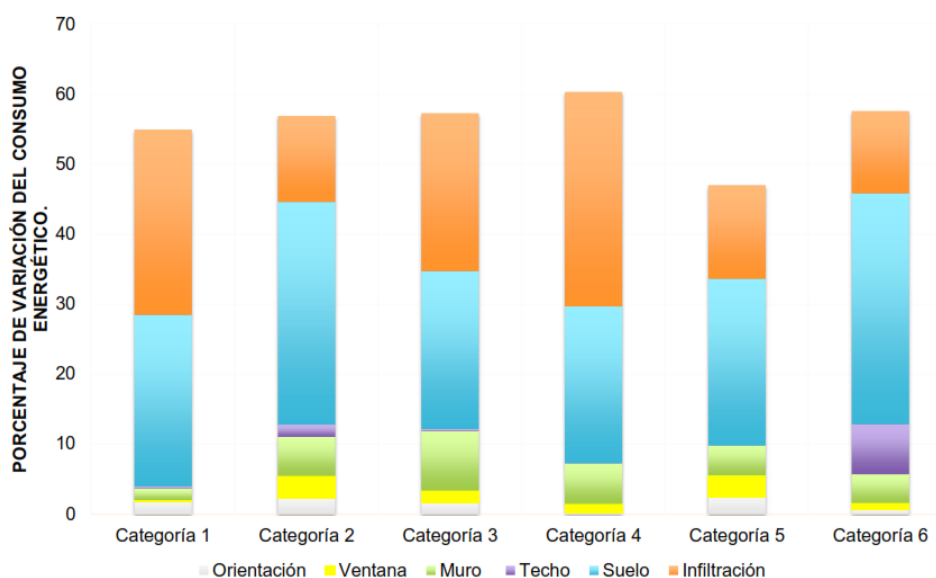


Figura 25: Porcentajes de variación del consumo energético entre categorías según parámetros de orientación, infiltración y envoltente, proyecto INNOVA CORFO 15BPCR – 48594 (fuente CERE – UMAG)

Si consideramos que el promedio de consumo energético de las viviendas analizadas por el Proyecto INNOVA CORFO 15BPCR – 48594 se sitúa en los 566 kWh/m²/año, ésta equivale a 3 veces al consumo de la vivienda base según la Calificación Energética de Viviendas (CEV), para una clase E con ahorro del 0%, lo cual nos habla de una línea base muy por debajo de los estándares nacionales propuestos para los próximos años (ver figura 3.12). De igual modo, equivale a casi 5 veces el valor de demanda de energía exigida por los códigos de edificación de Columbia Británica.

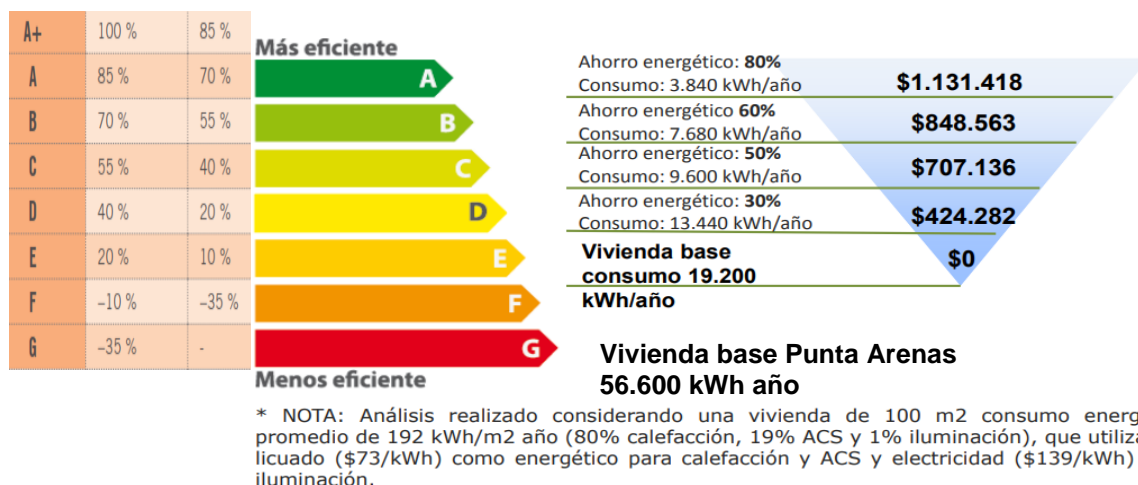


Figura 26: Gráfica de ahorro propuesto por Calificación Energética de Viviendas, donde se indica consumo de vivienda base equivalente a 192 kWh/m2/año (fuente MINVU-DITEC)

Según el estudio, la línea base de infiltraciones entre las materialidades testeadas promedia un valor de 12,54 renovaciones de aire / hora a 50 pascales, muy cercano al promedio nacional de infiltración de 12,9 renov.aire/hora a 50pa, levantado por el proyecto FONDEF D10/1025 (ver tabla 3.5). En relación a este último proyecto, que efectuó un levantamiento de la línea base de la hermeticidad en Chile, Punta Arenas logra mejores valores para la materialidad de hormigón con 5,56 renov.aire/hora a 50pa v/s el valor de 9 a nivel nacional, y mejora levemente para madera con 18,8 renov.aire/hora a 50pa v/s el valor de 24,6 nacional. En Metalcon, supera el promedio nacional de 10,2 renov.aire/hora a 50pa con un valor de 12,10. Sin embargo, si consideramos que las infiltraciones empeoran los efectos en el desempeño energético a mayor velocidad de viento, los valores de la línea base de hermeticidad en Punta Arenas son insuficientes, toda vez que según los ECSV debieran enmarcarse en las 4 renov.aire/hora a 50pa, mientras que en el caso canadiense de Columbia Británica se exige un valor máximo de 3 renov.aire/hora a 50pa.

Número de pisos	Agrupamiento	Materialidad	Viviendas ensayadas	Valor n50 (1/h)						Ponderado n50 (1/h)
1	Pareada	Metalcon	4	9,73	11,6	10,03	17,57			12,23
1	Aislada	Metalcon	2	25,23	11,1					18,17
1	Aislada	Madera	2	18,11	23,69					20,90
2	Pareada	Metalcon	6	12,34	8,9	8,68	9,56	8,48	13,31	10,21
2	Aislada	Madera	1	14,94						14,94
2	Aislada	Metalcon	1	7,91						7,91
2	Continua	Madera	1	20,56						20,56
Depto.		Hormigón	3	4,97	4,93	6,77				5,56

Tabla 12: Muestra línea base constructiva de viviendas período 2008-2014 según proyecto INNOVA CORFO 15BPCR – 48594 (fuente CERE – UMAG)

Los resultados del mencionado estudio, evaluado para el 2,78% del parque habitacional de Punta Arenas, demuestran que las brechas de consumo energético se encuentran demasiado distantes a las metas de demanda de calefacción establecidas por los ECSV para la Zona Sur Extremo en los años 2020 (150 kWh/m2/año), 2030 (110 kWh/m2/año), 2040 (73 kWh/m2/año) y 2050 (30 kWh/m2/año). Si además consideramos que el crecimiento habitacional alcanza una tasa del 1,34% anual, concluimos que se requeriría intervenir una cantidad cercana a las 12.000 viviendas cada 10 años para poder alcanzar un 100% del parque habitacional bajo los estándares de construcción sustentable para el año 2050, considerando un consumo de 30 kWh/m2/año.

CONSUMO ENERGÉTICO DE VIVIENDAS EN PUNTA ARENAS V/S METAS ECSV					
AÑO	CANT.	Consumo energía (kWh/m2/año)	Metas ECSV (kWh/m2/año)	Vivdas. nuevas normalizadas	Vivdas. Existentes a normalizar por año
2017	47.835	>566			
2020	49.767		130	1.932	11.959
2030	56.207		110	6.440	11.959
2040	62.647		73	6.440	11.959
2050	69.087		30	6.440	11.959

Tabla 13: Consumo energético de viviendas en Punta Arenas v/s metas ECSV al 2050, incluye proyección de viviendas existentes que debieran ser intervenidas para alcanzar la totalidad del parque habitacional al año 2050. (elaboración propia)

Lo explicado anteriormente, nos llevó a revisar el estado del arte hasta el año 2018, confeccionando un catastro de los proyectos de vivienda social e inmobiliarias ejecutadas y/o en etapa de construcción desde el año 2008 al año 2018, con el objeto de incluir los proyectos de mejor desempeño térmico mencionados en el punto 3.2.4.

Según la tabla 3.7, se contabilizaron 5.401 unidades que equivalen al 11,30% del total del parque habitacional urbano identificado en el censo de 2017. De estas, un 55% corresponde a proyectos de vivienda social financiados por SERVIU y un 45% a proyectos inmobiliarios privados, no incluyendo las viviendas particulares individuales construidas en el período.

CUADRO RESUMEN PARQUE HABITACIONAL PROYECTOS SERVIU E INMOBILIARIAS 2008 - 2018											
Año	Conjunto	Financiamiento	grupamiento según OGUC	Tipos de casa	Primer modelo			Segundo tipo			TOTAL
					Pisos	Materialidad	Cantidad	Pisos	Materialidad	Cantidad	
2008	Sendero Austral	Inmobiliaria	Aislada	1	2	Madera	99				99
2008	Altos del Bosque I y II	Inmobiliaria	Aislada	1	2	Madera	80				80
2008	Jardín de la Patagonia Ia	Inmobiliaria	Aislada	2	2	Metalcon	83	1	Madera	136	219
2008	Lomas del Bosque, condominio	Inmobiliaria	Aislada	1	2	Metalcon	37				37
2009	Jardín de la Patagonia Ib	Inmobiliaria	Aislada	2	2	Metalcon	8	1	Metalcon	42	50
2009	Jardín de la Patagonia Ic	Inmobiliaria	Aislada	2	2	Metalcon	39	1	Metalcon	6	45
2009	2 Condominios Bisal	Inmobiliaria	Aislada	1	2	Metalcon	11				11
2009	Armada de Chile	Armada	Aislada	1	5	Hormigón	60				60
2009	S/INFO	SERVIU	Aislada	1	5	Hormigón	96				96
2010	Jardín de la Patagonia II	Inmobiliaria	Aislada	2	2	Metalcon	35	1	Metalcon	115	150
2010	Alto Pinar	Inmobiliaria	Pareada	1	2	Madera	65				65
2010	Terrazas del Estrecho 1 a 3	Inmobiliaria	Aislada	1	2	Madera	106				106
2010	Agrupación 100	SERVIU	Aislada	1				1	Metalcon	108	108
2010	Valle Bicentenario I	SERVIU	Aislada	2	2	Madera	64	1	Madera	86	150
2010	Valle Bicentenario II	SERVIU	Aislada	2	2	Madera	64	1	Madera	86	150
2011	Alto Patagonia	Inmobiliaria	Aislada	1	5	Hormigón	80				80
2011	Brisas D'Agostini	Inmobiliaria	Pareada	2	2	Madera	42	1	Madera	24	66
2011	Altos de Magallanes	Inmobiliaria	Pareada	1	2	Metalcon	91				91
2011	Jardín de la Patagonia IV	Inmobiliaria	Aislada	2	2	Metalcon	24	1	Metalcon	60	84
2011	Bisal Fitz Roy	Inmobiliaria	Aislada	1	2	Metalcon	14				14
2011	Agrupación Santa Juana	SERVIU	Aislada	1				1	Metalcon	52	52
2012	Jardín de la Patagonia III	Inmobiliaria	Aislada	2	2	Metalcon	22	1	Metalcon	40	62
2012	Valle los Cipreses	Inmobiliaria	Aislada	1	2	Madera	71				71
2012	Altos del Bosque III	Inmobiliaria	Aislada	1	2	Metalcon	41				41
2012	Bisal San Sebastián	Inmobiliaria	Aislada	1	2	Metalcon	14				14
2012	Alto Andino	SERVIU	Aislada	1				1	Metalcon	119	119
2013	Condominio los Robles	Inmobiliaria	Aislada	1	2	Metalcon	4				4
2013	Lomas del Manantial	Inmobiliaria	Aislada	1	2	Metalcon	42				42
2013	Altos del Bosque IV	Inmobiliaria	Aislada	1	2	Metalcon	35				35
2013	Alta Vista I	SERVIU	Aislada	1	5	Hormigón	100				100
2013	Alta Vista II	SERVIU	Aislada	1	5	Hormigón	140				140
2013	Villa Condell	SERVIU	Aislada	1	2	Metalcon	120				120
2014	Altos del Bosque VI	Inmobiliaria	Aislada	1	2	Metalcon	76				76
2014	Jardín de la Patagonia V	Inmobiliaria	Aislada	1	2	Metalcon	121				121
2014	Integración 12	SERVIU	Aislada	1				1	Metalcon	105	105
2014	Villa Circunvalación	SERVIU	Aislada	1				1	Metalcon	120	120
2015	ALTA VISTA	SERVIU	Aislada	1	5	Hormigón	140				140
2016	San Ignacio I	SERVIU	Aislada	1	5	Hormigón	120				120
2016	San Ignacio II	SERVIU	Aislada	1	5	Hormigón	120				120
2016	San Ignacio III	SERVIU	Aislada	1	5	Hormigón	100				100
2017	Cond. Patagonia Rómulo Correa	Inmobiliaria	Aislada	1	2	Metalcon	58				58
2017	Pueblos originarios	SERVIU	Aislada	2	2	Madera	126	1	Madera	4	130
2018	San Ignacio IV	SERVIU	Aislada	1	5	Hormigón	140				140
2018	Vista Norte	SERVIU	Aislada	2	5	Hormigón	60	1	Metalcon	73	133
2018	Pioneros I	SERVIU	Aislada	1	5	Hormigón	112				112
2018	Pro Pioneros II	SERVIU	Aislada	1	5	Hormigón	100				100
2018	Pro Pioneros III	SERVIU	Aislada	1	5	Hormigón	100				100
2018	Pro Brisas del sur I	SERVIU	Aislada	1	5	Hormigón	80				80
2018	Pro Brisas del sur II	SERVIU	Aislada	1	5	Hormigón	80				80
2018	Pro Brisas del sur III	SERVIU	Aislada	1	5	Hormigón	80				80
2018	Pro Vista Monte Sarmiento	SERVIU	Aislada	1	5	Hormigón	41				41
2018	Pro Monte Darwin	SERVIU	Aislada	1				1	Metalcon	140	140
2018	Pro Francisco Coloane	SERVIU	Aislada	1				1	Metalcon	119	119
2018	Villa Los Cipreses	Inmobiliaria	Aislada	1	2	Metalcon	21				21
2018	Villa Pudeto	Inmobiliaria	Aislada	1				1	Panel SIP	112	112
2018	Impasive Haus	Inmobiliaria	Aislada	1	2	Panel SIP	13				13
2018	Pro Villa Glaciares	Inmobiliaria	Aislada	1				1	Panel SIP	289	289
2018	Pro Tierra Patagonia	Inmobiliaria	Aislada	1	2	Metalcon	74				74
2018	Pro Jardín de la Patagonia	Inmobiliaria	Aislada	1	2	Metalcon	116				116
	TOTAL										5.401

Tabla 14: Resumen Parque Habitacional 2008-2018, proyectos SERVIU e inmobiliarios (elaboración propia)

3.3 Caracterización de las instalaciones térmicas de viviendas de Punta Arenas

Así como se ha podido caracterizar la vivienda, se ha querido mencionar de qué forma las instalaciones térmicas de las viviendas en la ciudad de Punta Arenas afectan el desempeño energético, lo cual es relevante para complementar el estado del arte de la edificación. De igual modo, es importante considerar que para el futuro cumplimiento de los objetivos de ahorro energético a nivel país para el año 2050, se considera que la totalidad de las edificaciones chilenas puedan llegar a un esquema de Net Zero Buildings, situación que deberá ser debidamente estudiada en la región de Magallanes en el sentido de proyectar cuál será la matriz energética e identificar cuál será la brecha tecnológica que deberá ser superada, partiendo por preparar adecuadamente las envolventes.

El gas natural, principal fuente de energía de Punta Arenas

Tal como se explicó en capítulos anteriores, las instalaciones térmicas de las viviendas locales sufrieron un fuerte cambio a partir de los años 70 con la llegada del gas natural extraído desde pozos ubicados en las provincias de Tierra del Fuego y Magallanes, el cual es transportado a las zonas urbanas de Punta Arenas, Puerto Natales y Porvenir mediante una red de cientos de kilómetros de ductos. El uso del gas implicó la modificación y/o reemplazo de las instalaciones térmicas de leña y carbón, y más tarde de gas licuado en cilindros, o inicialmente la importación de equipos de calefacción (calentadores, calderas, termos y calefones a gas) desde Norteamérica o Europa, y más adelante la fabricación local de calentadores a gas del tipo tiro forzado

Principales sistemas de calefacción y ACS usados en viviendas de Punta Arenas

Haciendo un análisis del muestreo de viviendas indicadas²⁵ en el punto 3.2.5 anterior, se pudo establecer que de las 5.401 viviendas solo el 31% de estas poseen sistemas de calefacción central de agua caliente, provista desde calderas, mientras que el resto solo cuenta con puntos de gas interior alimentando a calentadores de tiro forzado (equipo con un ducto vertical de evacuación de gases al exterior), o de tiro balanceado (con doble ducto horizontal de ingreso de aire y evacuación de gases). Con respecto a la calidad del aire interior obtenido por el uso de calentadores de gas en recintos, los equipos que otorgan mayor seguridad son los del tipo tiro balanceado, aunque de menor poder calórico al ocupar aire exterior para su funcionamiento. Por su parte, el tipo tiro forzado genera importantes cantidades de agua obtenida de la combustión

del gas, la que se acumula al interior de los recintos permitiendo en algunos casos la acumulación de humedad en muros poco soleados y ventilados, así como un mayor riesgo de contaminación de aire interior por acumulación de monóxido de carbono debido a una mala combustión o instalación deficiente de los equipos, siendo frecuentes en la comuna la ocurrencia de intoxicaciones y casos de muerte, considerando además que en episodios de vientos fuertes las presiones exteriores afectan la combustión pudiendo apagar los equipos.

En cuanto a los sistemas de provisión de agua caliente sanitaria más recurrentes en los proyectos indicados en el punto 3.2.5, se destaca la implementación de calefones a gas natural ubicados generalmente en cocinas y/o lavaderos, muy utilizados en edificios de departamento en forma individual, así como termos a gas natural, los que mantienen las líneas de agua a una temperatura constante para mayor comodidad, pero con el consiguiente extra consumo energético.

Los principales inconvenientes de las instalaciones térmicas en viviendas de Punta Arenas, se relacionan con el cumplimiento del decreto n°66 del Ministerio de Economía, Fomento y Reconstrucción del año 2007, que aprueba el Reglamento de Instalaciones Interiores y Medidores de Gas. Al respecto, la normativa indica que los equipos a gas (natural o licuado) ubicados al interior de las viviendas, particularmente en cocinas o lavaderos, deberán considerar, además de un adecuado ducto para la evacuación de gases de combustión, de una rejilla o celosía para el ingreso de aire fresco, la cual debe considerar un caudal mínimo relacionado con la potencia de los equipos. Sin embargo, esta celosía afecta notoriamente los requerimientos de hermeticidad de las viviendas, según su ubicación en fachadas con mayor presión de aire, provocando movimientos interiores de masas de aire a raíz de los fuertes vientos locales (con rachas superiores a 20 m/s), capaces inclusive de apagar los respectivos pilotos. Por esta razón, se ha optado técnicamente por ubicar los equipos fuera de la vivienda, ya sea en casetas o cajas metálicas. De lo contrario, los usuarios optan normalmente por bloquear estas celosías, afectando la seguridad de las instalaciones de gas.

Según lo mencionado, existe aún una importante brecha tecnológica que suplir para lograr sistemas de calefacción y de ACS eficientes en la ciudad, promoviendo equipos a gas natural de mayor eficiencia y, en lo posible, reemplazando equipos de cocina o ACS alimentados por gas natural por equipos eléctricos o solar térmicos, pensando en la incorporación paulatina de sistemas de ERNC para limitar la dependencia del gas natural y preservar su disponibilidad.

3.4 Caracterización del usuario de la ciudad de Punta Arenas

Por qué considerar al usuario

Así como se ha podido caracterizar el clima local, nos parece al menos interesante establecer las características y particularidades del usuario de la vivienda magallánica, el cual, en este análisis sistémico del desempeño energético, debiera tener un papel relevante, ya que es el usuario el que definirá los requerimientos de confort térmico entendido como “esa condición de la mente en la que se expresa satisfacción con el ambiente térmico” (Norma ISO 7730), condición que en la práctica puede involucrar un rango de temperaturas bastante amplio, toda vez que las percepciones térmicas pueden ser muy diferentes entre un individuo y otro. Por lo anterior, el concepto tiene profundas implicaciones en el modo en que se diseñan y gestionan los edificios, así como en la cuantificación de la energía requerida para calentar y enfriar estos, teniendo impactos tanto en el ambiente natural como en ambientes construidos (G.S. Brager & R.J. de Dear, 1998).

Los estándares de confort higrotérmico

La mayoría de los actuales estándares de confort térmico utilizan los seis factores que afectan la sensación térmica definidos por McPherson en 1962, los cuales se relacionan en cómo el ser humano siente la pérdida de energía del cuerpo a través de variables físicas (el ambiente) y variables personales (propios del individuo):

Variables físicas:

1. Temperatura del aire. (°C)
2. Velocidad del aire. (m/s)
3. Humedad relativa. (%)
4. Temperatura media radiante. (°C)

Variables personales:

5. Nivel de arropamiento. (clo)
6. Nivel de actividad. (met)

¿Qué tan diferentes son los rangos de confort térmico internacionales de los locales?

Cabe mencionar que a la fecha no existen estudios de rangos de confort térmico de los habitantes de Magallanes, por lo que todas las evaluaciones y estimaciones de desempeño energético son realizadas aplicando los estándares internacionales (ASHRAE 55, ISO 7730 y EN UNE 15251), los que en general indican rangos de confort ambiental entre los 20 y 25°C. Sin embargo, al efectuar

recorridos por diferentes viviendas en la comuna de Punta Arenas, es posible establecer una tendencia a la adaptación del cuerpo a temperaturas de ambiente interior superiores a las indicadas en estos estándares (sobre 25°C), acompañado de bajos niveles de humedad, situación que puede relacionarse con una escasa preocupación del usuario en el ahorro energético por el bajo costo del gas natural. Sin embargo, al revisar la condición de localidades sin gas natural como Puerto Williams o Puerto Edén, y que curiosamente cuentan con mayores porcentajes de humedad relativa, es posible constatar la adaptación del usuario a temperaturas bajo los estándares habituales (inferior a 20°C), fenómeno que se tiende a repetir en localidades chilenas que sufren de pobreza energética. Según lo anterior, es posible que la aplicación de estándares normalizados, genere algún tipo de distorsión en los cálculos del desempeño higrotérmico de las edificaciones con respecto al desempeño real, lo cual debiera ser estudiado.

Recordando a otros usuarios originales

Basta recordar que los pueblos originarios de estas latitudes solían preparar improvisados refugios que les permitieran cierto confort térmico, junto al uso de fogatas, tanto en tierra como en embarcaciones, y sin embargo podían soportar condiciones extremas de frío y viento con escasas pieles y aplicación de aceites, tal vez debido a una permanente actividad física. Sin embargo, el trágico cruce histórico de estos valiosos pueblos con las entonces poblaciones chilenas e inmigrantes, provocó su exterminio en menos de 100 años, tanto por medios violentos como por errores culturales referidos a la imposición de vestuario urbano a individuos que no estaban acostumbrados a su uso, lo que les facilitó contraer enfermedades que aceleraron su desaparición.

Las primeras colonias chilenas provenientes de Chiloé, iniciaron la colonización de un territorio diferente a su entorno habitual, y cuya dominación resultó más sencilla para el inmigrante europeo proveniente de un clima frío, quien incorporó soluciones que ya en el viejo continente eran aplicadas para llegar a niveles de confort térmico según sus hábitos, y que daban respuestas a los nacientes problemas de salubridad y comodidad en las viviendas post – revolución industrial.

Si bien, no es la finalidad de esta investigación encontrar las causas de esta diversidad de adaptaciones a los ambientes térmicos interiores en la región, es factible sugerir futuras investigaciones que permitan constatar y acotar el fenómeno en términos científicos, con el objeto de precisar adecuados rangos de confort adaptativo para dirigir de mejor manera los esfuerzos del desempeño energético de las viviendas en Magallanes.

3.5 Conclusiones.

El parque habitacional de Punta Arenas se compone de viviendas tradicionales de madera, conjuntos habitacionales levantados por la CORVI, el MINVU o empresas inmobiliarias hasta antes de la Reglamentación Térmica y viviendas levantadas por el gobierno, empresas inmobiliarias o particulares con posterioridad a la Reglamentación Térmica de 2007 hasta nuestros días.

La vivienda tradicional magallánica es una adaptación de viviendas de clima frío oceánico europeo que, pese al desconocimiento técnico de la eficiencia energética de la época (fines del siglo XIX e inicios del siglo XX), lograban sortear con relativo éxito las exigencias de hermeticidad y de envolvente térmica, tanto por sus sistemas constructivos (madera revestidas en acero y capas de madera interiores, doble ventanas, cámaras de aire en techumbres y bajo pisos) como por sus características de diseño pasivo (bajo porcentaje de vanos, orientación de vanos al norte, uso de chifloneras de acceso, diseño compacto, etc). Pese a que corresponden a menos del 15% del parque habitacional, se estima que su intervención para cumplir altos estándares de eficiencia energética es una tarea abordable, toda vez que sus diseños se adecuaron al clima local.

Las viviendas que les sucedieron (CORVI – SERVIU) no logran rescatar las estrategias y características de la vivienda tradicional, tratándose en cambio de modelos trasplantados desde realidades climáticas diferentes (clima mediterráneo), con envolventes pobres y sin consideraciones referidas a porcentajes de vanos, orientación ni compacidad. Estas viviendas representan un desafío mayor en un eventual cambio normativo para su acondicionamiento térmico, no solo por las mayores intervenciones, sino por superar el 50% del parque habitacional.

Las viviendas más recientes, elaboradas bajo la reglamentación térmica, con las cuales se ha podido levantar una línea base, son factibles de intervenir en su envolvente, al contar con mejores niveles de aislación, cercanos a estándares internacionales, aunque deben incorporarse exigencias de aislación térmica en el piso y mejores condiciones de hermeticidad de la envolvente.

Cabe mencionar que en los últimos años se han levantado proyectos inmobiliarios particulares que han apostado valores mínimos de transmitancia térmica y de hermeticidad. Tal es el caso del proyecto inmobiliario IMPASIVHAUS, el cual puede en sí mismo conformar un estándar propio de vivienda magallánica, no solo por rescatar elementos propios del diseño de la vivienda tradicional, sino por la proposición de una envolvente térmica continua y de gran desempeño térmico.

Capítulo 4. Caso de estudio parte 1: análisis y simulación de un Caso Base según Reglamentación Térmica vigente para viviendas en Punta Arenas

En el presente capítulo, se efectuará el análisis y simulación energética de un Caso Base mediante el uso del software Design Builder, el cual se seleccionará a partir de la línea base de la edificación de viviendas levantada por el Proyecto INNOVA CORFO 15BPCR – 48594. La simulación permitirá efectuar un análisis del balance energético del Caso Base para obtener el valor correspondiente a la demanda de calefacción, especificando tanto los aportes como las pérdidas pasivas de energía, indicados en el Diagrama de Sankey de la figura 4.1. De este modo, se grafica en la base del diagrama el consumo de energía primaria (gas natural), con sus pérdidas por transformación y sus eventuales aportes por producción de ERNC. Luego, un primer balance pasa a conformar el consumo de energía total de la vivienda, indicándose tanto las ganancias como las pérdidas de los sistemas activos y equipos de calefacción y de agua caliente sanitaria (ACS). El último balance energético corresponde a la identificación de la demanda de calefacción, donde se consideran la necesidad neta de energía para calefacción sumados a los aportes solares directos y aportes internos (usuarios y equipos), balanceados con las pérdidas de energía calórica por transmisión térmica de la envolvente, por ex o infiltración y por ventilación.

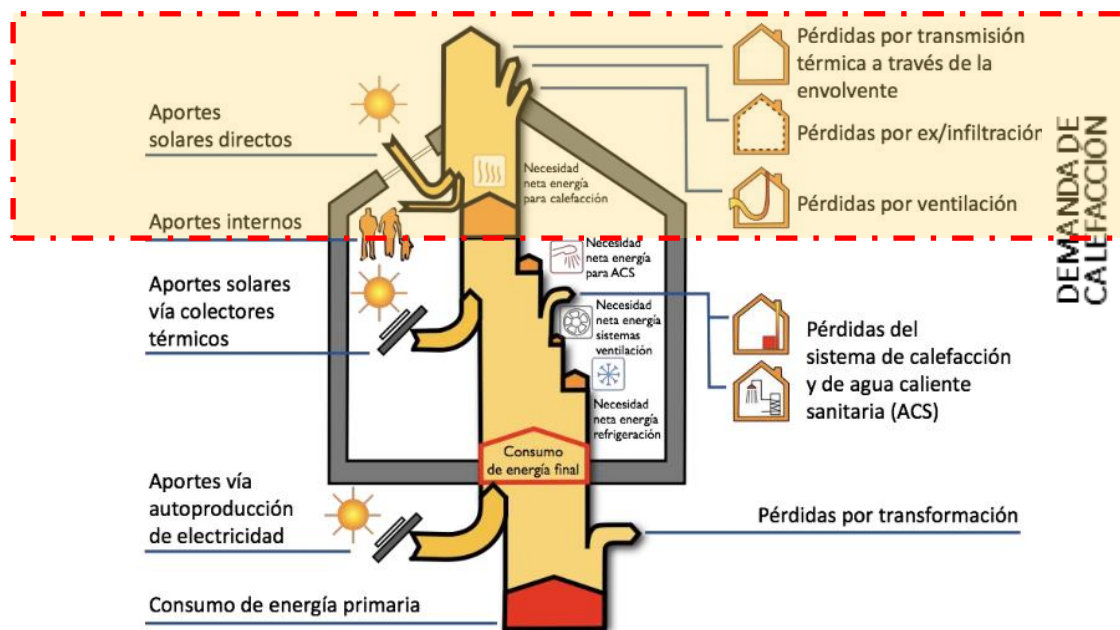


Figura 27: Diagrama de Sankey representando el balance energético de calefacción. Se destaca el énfasis en las pérdidas de calefacción (fuente CITEC-UBB)

4.1 Criterios para selección y modelación del Caso Base

Para la selección del caso base, se analizó la información del Proyecto INNOVA CORFO 15BPCR – 48594, con un universo de 1.333 viviendas construidas dentro del período de vigencia de la actual Reglamentación Térmica, equivalentes al 2,78% del parque habitacional comunal. Por otra parte, en base al catastro extendido de viviendas desarrollado en el capítulo 3.2.5, se logró ampliar la base de datos hasta el año 2018, adicionando 2.703 viviendas de conjuntos residenciales SERVIU o de oferta inmobiliaria con recepción definitiva y 1.365 viviendas en proceso de construcción a julio de 2018. Por tanto, se obtuvo un universo total de 5.401, equivalentes al 11,29% del parque habitacional comunal, pudiéndose constatar que las tipologías constructivas más representativas han sido replicadas en proyectos posteriores al año 2014, lo cual viene en validar la muestra del proyecto INNOVA CORFO (ver figura 28).

Para obtener un modelo o diseño arquitectónico factible de ser usado como Caso Base, se aplicó un criterio de selección por mayor cantidad de unidades presentes en la muestra y menor desempeño energético entre las categorías evaluadas por el proyecto INNOVA CORFO. De este modo, se seleccionó la **Categoría 2** correspondiente a la tipología de vivienda de 1 piso (mayor superficie de envolvente y menor compacidad por factor de forma), de agrupamiento aislado y con materialidad de Steel Framing (acero galvanizado tipo “Metalcon”).

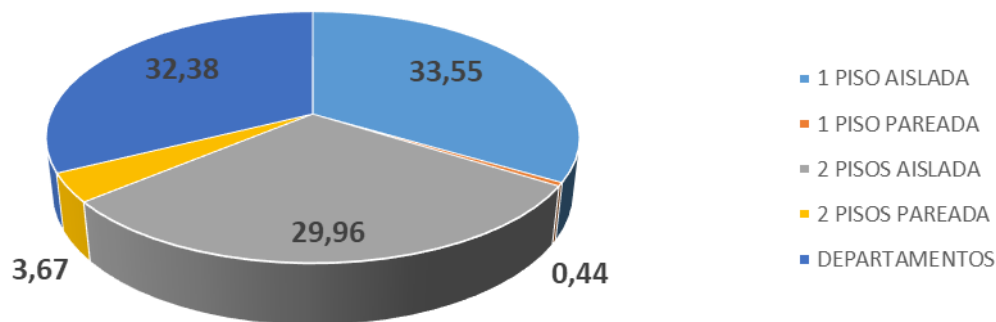


Figura 28: Porcentajes de vivienda por tipología de altura en pisos y agrupamiento (fuente CITEC-UBB)

La categoría seleccionada posee la tipología más recurrente en los últimos años para proyectos de vivienda social del SERVIU, por lo que su análisis plantea un interesante desafío para la búsqueda de soluciones de mejoramiento de menor costo. La demanda energética de la vivienda seleccionada alcanza los 718 kWh/m²/año, lo cual será contrastado con los resultados de la simulación energética a ser efectuada en Software Design Builder.

De acuerdo al criterio de selección, y tomando en cuenta los porcentajes de reducción de demanda de calefacción en función del factor de adosamiento propuesto por los ECSV, indicados en la tabla 4.1, esta investigación no considerará simulaciones de las tipologías de vivienda pareada y departamentos en altura o altura media, sin perjuicio del correspondiente análisis de las materialidades de sus envolventes. Este factor de adosamiento, basado en un estudio sobre rangos de confort térmico y riesgos de sobrecalentamiento (Bustamante, 2015), permite establecer en forma simplificada las brechas de eficiencia entre los diferentes tipos de agrupamiento según OGUC, independiente a la localización y orientación de las viviendas.

Factor de Adosamiento	Vivienda aislada	Vivienda pareada	Departamento altura media	Departamento altura
Factor de reducción de demanda	1	0,77	0,52	0,17

Tabla 15: Porcentaje de reducción de demanda en función del factor de adosamiento (fuente ECSV 2017)

Como nuestro objetivo es el de evaluar soluciones de envolvente térmica y su mejor desempeño, nuestro criterio omitirá el análisis de optimización de elementos de diseño propiamente tal, así como la optimización de equipos, enfocándonos exclusivamente en la evaluación del desempeño de soluciones para envolvente térmica en términos cuantitativos (espesor del aislante) y cualitativos (continuidad de la envolvente y hermeticidad). De este modo, se simulará al Caso Base como una “caja térmica abierta”, a partir de la cual se evaluarán soluciones para poder “cerrar la caja térmica” y mejorar la calidad de su envolvente para la obtención de valores mínimos óptimos, aplicando criterios de rentabilidad social mediante Análisis de Costos de Ciclo de Vida, el cual se desarrolla en los capítulos posteriores de la presente investigación.



Figura 29: Fotografía de vivienda seleccionada para Caso Base (fuente CERE-UMAG)

4.1.1 Caracterización de las soluciones constructivas representativas de Punta Arenas

Tal como se explicó en el capítulo 3.2.5, en la tabla 3.7 se obtuvo un catastro de las materialidades y soluciones constructivas utilizadas en conjuntos residenciales SERVIU e inmobiliarias, donde se pudo establecer la predominancia de solo 4 sistemas constructivos. Con respecto a las soluciones constructivas y materiales utilizados para la ejecución de proyectos individuales de obra nueva y/o ampliaciones, estos no fueron considerados tanto por abarcar menos del 24% del universo de viviendas levantadas en los últimos 10 años, así como por la falta de fiscalización y control de los procesos constructivos de estos proyectos, muchos de ellos ejecutados por modalidad de autoconstrucción. Al respecto, y habiendo revisado antecedentes de permisos de edificación de los últimos años en la Dirección de Obras Municipales, existe un alto porcentaje de proyectos individuales con permiso de edificación aprobado que no logra la obtención, al menos en un corto plazo, de la recepción municipal definitiva. Por otra parte, muchos de los propietarios de este tipo de proyectos han aprovechado las facilidades de los procesos de regularización simplificada de obras nuevas y ampliaciones de vivienda, tales como la ley 20.898 (conocida popularmente como “ley del mono”), la cual permite obtener un permiso de edificación con recepción simultánea mediante la presentación de planos, especificaciones técnicas resumidas y una declaración del cumplimiento normativo firmada por el arquitecto auspiciador del proyecto, omitiéndose la exigencia de proyectos de instalaciones eléctricas, sanitarias y de gas.

A partir de la tabla 3.7, correspondiente al resumen del parque habitacional 2008 – 2018, se identificaron las siguientes soluciones constructivas predominantes en la comuna de Punta Arenas (ver figuras 4.4 y 4.5):

1. Vivienda de acero galvanizado (42,97% del total): Cantidad: 2.321 unidades. Período de construcción: 2008 – 2018. Altura/superficie: 01 piso, 50-60m² (1.235 un); 02 pisos, 80-140m² (1.086 un). Agrupamiento OGUC: aislado (717 un), pareo zona húmeda (200 un). Material aislante: lana de vidrio espesor 160 mm en cubierta y 60/80 mm en muros. Es la materialidad correspondiente a la vivienda seleccionada como Caso Base (peor desempeño).
2. Vivienda de hormigón armado (32,38% del total): Cantidad: 1.749 unidades. Período de construcción: 2009 – 2018. Altura/superficie: edificios de 5 pisos, departamentos de 60m². Material aislante: lana de vidrio espesor 160 mm en cubierta y 60 mm en muros.

3. Vivienda de madera (16,98% del total): Cantidad: 917 unidades. Período de construcción: 2008 – 2017. Altura/superficie: 01 piso, 50-60m² (200 un); 02 pisos, 80-140m² (717 un). Agrupamiento OGUC: aislado (717 un), pareo en zona húmeda (200 un). Material aislante: lana de vidrio espesor 160 mm en cubierta y 80 mm en muros.
4. Vivienda de panel SIP (7,67% del total): Cantidad: 414 unidades. Período de construcción: 2018. Altura/superficie: 01 piso, 60m² (401 un); 02 pisos, 140m² (13 un). Agrupamiento OGUC: pareado en zona húmeda (401 un), aislado (13 un). Material aislante: poliestireno expandido 140 a **301 mm*** en cubierta y 60 a **140 mm*** en muros (* estándar IMPASIVHAUS).

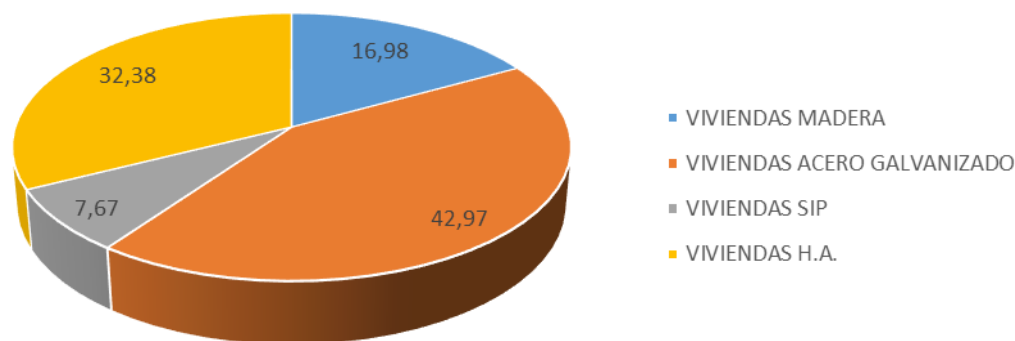


Figura 30: Porcentajes de viviendas según materialidades existentes en Punta Arenas (elaboración propia)

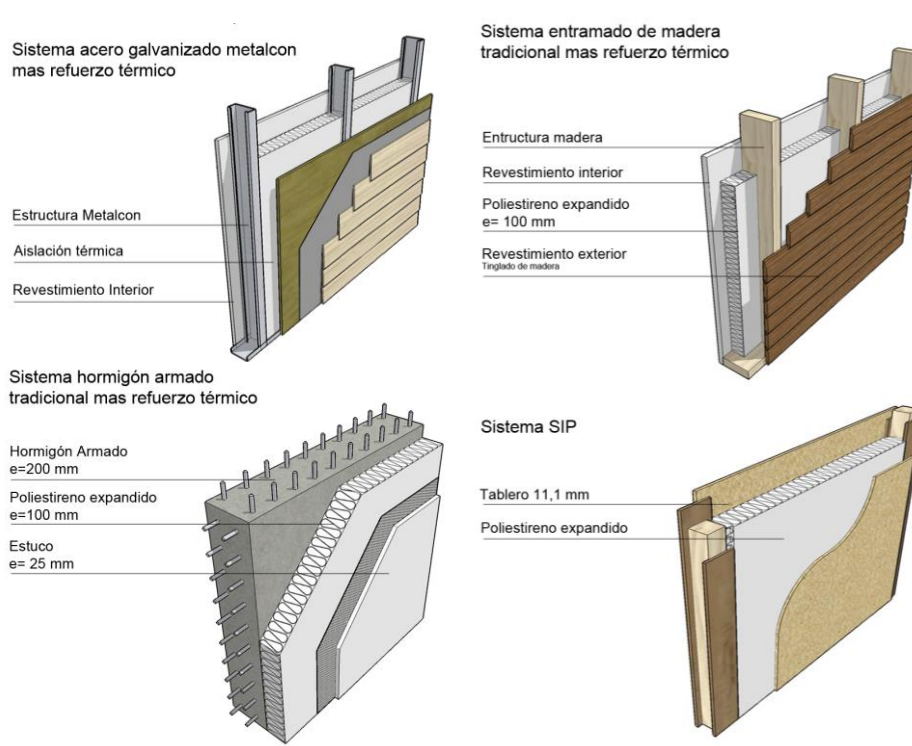


Figura 31: Sistemas constructivos para envolturas del Mercado Nacional en Punta Arenas (Fuente Manual de Hermeticidad al Aire de Edificaciones, 2014)

4.1.2 Algunas consideraciones referidas a las soluciones constructivas y materialidades disponibles en Punta Arenas

Previo a la simulación energética del Caso Base, plantearemos algunas consideraciones a los sistemas constructivos aplicados a las viviendas de la comuna (ver figura 4.5.). Estos corresponden a soluciones que las empresas constructoras locales han podido aplicar por su óptima rentabilidad, disponibilidad de material y capacidad de mano de obra. En ese sentido, cabe mencionar que las particulares condiciones de aislamiento de la ciudad de Punta Arenas con respecto al resto del país, ha producido las siguientes limitaciones en la industria de la construcción de viviendas:

1.- Limitaciones para la provisión de materiales.

Los materiales de construcción utilizados por empresas de la zona pueden tener tres orígenes: regional, nacional o extranjero, cada uno de estos con los siguientes inconvenientes:

- a. En cuanto a los materiales de origen local, el más recurrente es la madera de lenga, utilizada intensivamente desde la fundación de la ciudad a finales del siglo XIX hasta nuestros días, desplazada en años recientes por el uso de Steel Framing. Actualmente, los aserraderos locales han mejorado los volúmenes de producción y la calidad del producto, frecuentemente exportado, existiendo un esfuerzo local por agregar valor mediante la fabricación de mobiliario, puertas y ventanas de calidad. Sin embargo, la mayoría de las veces, la madera es enviada como materia prima a otras localidades del país para su manufacturación, retornando a la zona en elaborados productos (por ejemplo, la empresa IGNIS TERRA posee aserraderos en la Región de Magallanes, pero una fábrica en Villa Alemana, Región de Valparaíso). Otros casos se relacionan con empresas constructoras que se autoabastecen de materia prima, incluso para oferta en el mercado local (por ejemplo, las Constructoras VILIVIC y SALFACORP poseen aserraderos y plantas de hormigón). Junto a la madera, y también desde inicios del siglo XX, existe una fábrica de ladrillo fiscal y ladrillo de máquina, fundada a inicios del 1900, la cual ofrece productos certificados y fabricados en gamas industriales, aunque su uso más frecuente se da en viviendas particulares, obras menores o edificios terciarios. De igual modo, es frecuente la fabricación de bloques de cemento, utilizados en autoconstrucción, cierros y cortafuegos para ampliaciones de vivienda, aunque poco aplicado en obras de gran envergadura por su bajo stock de producción y falta de certificaciones por su fabricación de carácter artesanal.

Por otra parte, en los últimos años se han establecido en la región fábricas de paneles del tipo Structural Insulated Panel (SIP), tanto en Punta Arenas como en Puerto Natales. En cuanto a la fabricación de puertas y ventanas, Punta Arenas posee una serie de fábricas que ofrecen bastidores de madera y aluminio. Sin embargo, desde los últimos 10 años se ha consolidado la fabricación de ventanas con perfilera de PVC de origen europeo o asiático y el uso de cristales del tipo termopanel traídos desde Concepción. En cuanto a la producción de aislantes térmicos, se dispone de una fábrica de paneles de poliestireno expandido amplia gama, así como empresas que instalan celulosa proyectada en obra.

Uno de los principales beneficios de la producción de materiales de construcción locales, se relaciona con la baja huella de carbono aportada a la obra a lo largo de su ciclo de vida, tanto en su etapa de ejecución como en etapas de operación y/o reciclaje, lo que es considerado para la obtención de altos puntajes en sistemas de certificación sustentable.

En la tabla 16 se indica un resumen de materiales para construcción de origen local:

Nr	Descripción	Origen materia prima			
		Materia 1	Lugar o región	Materia 2	Lugar o región
1	Áridos	Áridos	Magallanes		
2	Madera	Madera	Magallanes		
3	Ladrillo	Arcilla	Magallanes		
4	Panel SIP	Planchas OSB	Valdivia	Poliestireno expandido	Magallanes
5	Hormigón armado	Cemento	Argentina / Chile	Áridos	Magallanes
6	Bloques de cemento	Cemento	Argentina / Chile	Áridos	Magallanes
7	Espuma de poliuretano	Poliol / isocianato	Norteamérica		
8	Ventanas de PVC - DVH	PVC estructural	Norteamérica	Cristales	Bío bío
9	Ventanas madera - DVH	Madera	Magallanes	Cristales	Bío bío
10	Puertas madera regional	Madera	Magallanes		

Tabla 16: Listado de materiales de construcción de origen y/o fabricación regional (elaboración propia)

- b. En el caso de los materiales de origen nacional, las limitaciones están dadas por el alto costo del transporte desde los puntos de producción en el resto de Chile, principalmente desde Santiago. Estos suelen ser provistos por grandes empresas nacionales como SODIMAC o PLACACENTRO, cuyos embarques llegan desde el resto del país por vía marítima o por rutas argentinas. De igual modo, las empresas constructoras han implementado el abastecimiento directo por medios propios, el cual es igualmente cargado al costo de construcción. Los costos de transporte están directamente relacionados a los volúmenes, ya que, al tratarse de grandes partidas, se pueden alcanzar extra costos cercanos al 20%, mientras que, al tratarse de cantidades menores, este porcentaje aumenta drásticamente a cifras cercanas al 50%. La ventaja de la utilización del material nacional está en la continuidad y stock del material, así como la certificación del mismo, la cual se hace exigible particularmente para obras fiscales y/o para la Calificación Energética de Viviendas (CEV).

- c. En el caso de los materiales importados, se está ante una interesante oferta a través de las franquicias de la Zona Franca, con productos provenientes de Argentina, Brasil o incluso Europa y Asia. Sin embargo, los inconvenientes en este caso están dadas por los limitados stock de partidas, lo que dificulta la reposición de materiales, así como por la escasa disponibilidad de certificación de los mismos. Por lo anterior, y debido a los menores costos, este mercado está principalmente enfocado a la auto construcción y/o remodelación de viviendas por iniciativa particular, salvo casos de grandes importaciones gestionadas por las empresas constructoras.

2.- Escases y calidad de mano de obra calificada.

Si bien es cierto, la escasa de mano de obra especializada y su poca capacitación forman parte de un problema nacional de la construcción, en la región de Magallanes se transforma en un factor gravitante para el éxito o fracaso de las empresas constructoras. Esto ha provocado que muchas empresas deban recurrir a equipos de trabajo de otras regiones, con el correspondiente extra costo de alojamiento y traslado de los trabajadores, para poder cumplir los contratos de obra. Según lo anterior, el costo promedio del hombre día puede superar las 2 UF diarias en la ciudad de Punta Arenas, llegándose a valores de 3 o 4 UF al tratarse de localidades remotas.

3.- Limitaciones por condiciones climáticas desfavorables.

A diferencia de la mayoría de las ciudades chilenas, los períodos laborables en construcción en Punta Arenas poseen mayores tiempos muertos por condiciones climáticas. En efecto, ya sea por las bajas temperaturas de invierno, que suelen interrumpir los procesos de hormigonado, o por las fuertes ventiscas que desde octubre y hasta marzo suelen superar rachas de 150 km por hora, las horas efectivas de trabajo se ven muy limitadas, lo que contribuye a encarecer la construcción, estimulando el uso de sistemas constructivos modulares o de rápida ejecución, lo que a su vez explica la poca variedad de soluciones constructivas.

4.- Calidad de los suelos de fundación.

Otra limitación muy conocida a nivel local, se refiere a la mala calidad del suelo de Punta Arenas, principalmente conformado por material arenoso acarreado por ríos y esteros, o bien compuestos de extensas zonas de humedales y turberas, las que obligan a invertir en importantes movimientos y mejoramientos de tierra, así como en fundaciones más complejas y de mayor costo.

Sin duda que las condiciones antes explicadas generan una incidencia en los costos y en la calidad de la construcción en la ciudad de Punta Arenas, de tal modo que, revisando el valor del metro cuadrado construido con y sin terreno, se puede promediar un monto cercano a 1 millón de pesos.

Por otra parte, la oferta de empresas dedicadas al negocio de la construcción solo se ha visto ampliada en los últimos 10 años. Hasta entonces, sólo se contaba con 2 grandes empresas de origen local, SALFACORP y Bravo e Izquierdo, pero con la licitación de grandes proyectos de infraestructura, se han podido incorporar grandes empresas nacionales como SOCOVESA y EBCOSUR, aunque lo anterior no ha repercutido en menores costos de construcción.

Con respecto a los sistemas constructivos analizados, llama la atención la poca variedad constructiva para conjuntos de viviendas o edificios de departamentos, la que llevada a proyectos individuales incluye una gama de mayor amplitud todavía dominada por la madera regional.

4.1.3 Parámetros para simulación energético – ambiental en Software Design Builder

Para el desarrollo de las simulaciones energético – ambiental, se utilizará el software Design Builder versión 5.0, el cual corresponde a un software especializado, cuyas avanzadas prestaciones permiten evaluar los niveles de confort, los consumos y demandas de energía y las emisiones de CO2 entre otros aspectos. El programa tiene una estructura modular, con un modelador 3D que funciona como núcleo de los módulos de análisis integrados entre sí para facilitar análisis detallados del desempeño ambiental y energético de los edificios, utilizando como motor de cálculo la herramienta Energy Plus, desarrollado por el U.S. Department of Energy.

Entre las ventajas del software, destaca la posibilidad de comparar el desempeño energético de edificaciones en relación de un Caso Base, siendo factible a través de su configuración paramétrica, la comparación de diferentes sistemas constructivos y materiales, así como la evaluación de modelos arquitectónicos en diferentes escenarios de localización. Esto permite la optimización de modelos a través del manejo de valores de infiltración y/o ventilación, sistemas de calefacción y refrigeración, aberturas y cierros y mejoras de la envolvente, así como en la orientación, compacidad, agrupamiento y otras variables evaluables en la etapa de diseño.

Para el desarrollo del presente ejercicio, no se considerarán las variables relacionadas al diseño arquitectónico, sino que se procederá a evaluar las variables que incidan en el mejoramiento de la envolvente térmica para la obtención de valores mínimos óptimos. Sin perjuicio de lo anterior, se consideraron los siguientes datos de entrada para las simulaciones:

- Sistema de calefacción a gas natural con un Cop 1 de eficiencia. Lo anterior, considerando la baja probabilidad de que este combustible sea reemplazado por ERNC en la ciudad. De acuerdo a la condición climática, se considera la totalidad de la vivienda calefaccionada a una temperatura de consigna de 20°C. No se consideran sistemas de refrigeración.
- La orientación de las viviendas consideró un desplazamiento de 30° con respecto al eje norte sur, respetando la trama original de la ciudad. Se considera acceso de vivienda en fachada sur con protección del viento oeste predominante.
- La hermeticidad de la vivienda asumió los valores medidos in situ por el proyecto INNOVA CORFO, con un valor de 9,73 renovaciones de aire / hora a 50pa.

- En cuanto a los datos de ocupación de la vivienda para efectos de ganancias y horarios de ocupación, se consideró una densidad de ocupación de 0,09 personas/m², con horarios de ocupación diferidos de lunes a viernes con respecto a sábados y domingos, siguiendo los patrones de ocupación residencial propuestos por Brandon J. Johnson a partir de la base de datos de la U.S. Census Bureau in the American Time Use Survey (Johnson et al., 2014).
- Para identificar las ganancias internas por equipos y las ganancias de iluminación, se consideró un valor de 12,38 W/m² según los horarios propuestos por B.J. Johnson.

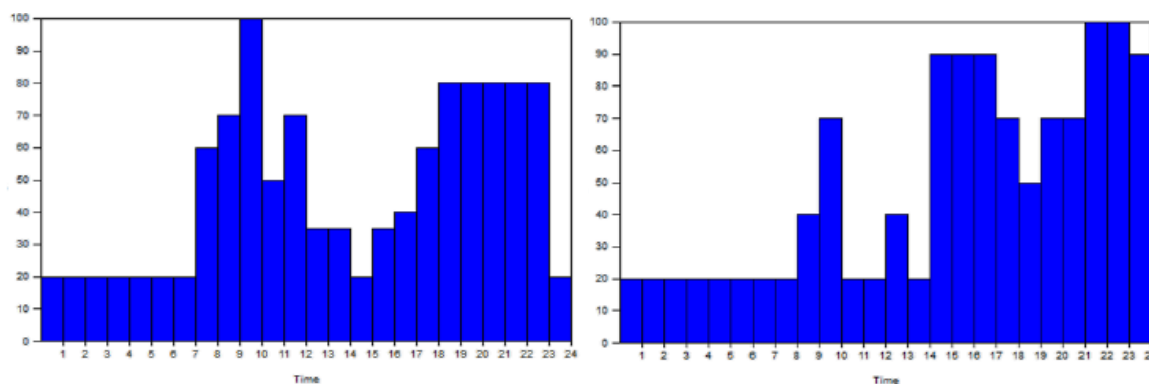


Figura 32: Horarios de ocupación para simulación energético ambiental según B.M. Johnson (Fuente Design Builder)

PARÁMETROS		CASO BASE
Location	Template	Punta Arenas
Location	Site Location	ASHRAE Zone 4C
Location	Site Details	Exposure wind: normal, 104°
Location	Time and Daylight Saving	-4 Santiago
Location	Simulation Weather Data	Use weather file
Location	Winter Design Wether Data	Winter -5.1 y 10,5 m/s
Activity	Template	Domestic Bedroom
Activity	Floor Areas and Volumes	46,5m ² y 111,5m ³
Activity	Occupancy: Density (people/m ²)	0,09
Activity	Occupancy: Floor area per person (m ² /pers)	11,11
Activity	Metabolic	0,9
Activity	Environmental Control	Heating 18 - 12, Cooling 25-28
Openings	Doors / operation / % area door opens	20
Openings	Doors / operation / % time door is open	10
Openings	Doors / operation / schedule	24.7
Openings	Vent / type	Grille, small, light slats
Openings	Vent / control option	1-control by schedule
Openings	Vent / operation / schedule	on 24.7
Lighting	Template	Reference
Lighting	General lighting	5 W/m ² 100 lux
HVAC	Template	Electric convectors, Nat vent
HVAC	Mechanical ventilation	4 min fresh air
HVAC	Heating	Heated (1-Electricity from grid) CoP 1
HVAC	Cooling	Cooled (1-Electricity from grid) CoP 1

Tabla 17: Resumen de parámetros para simulación energético ambiental en Design Builder (elaboración propia)

4.2 Descripción del Caso Base y simulación energética – ambiental

A continuación, se describirá el Caso Base seleccionado, así como los resultados de la simulación energética – ambiental en software Design Builder. En la tabla 4.2 se resumen las características iniciales del modelo seleccionado, indicándose además las planimetrías de arquitectura:

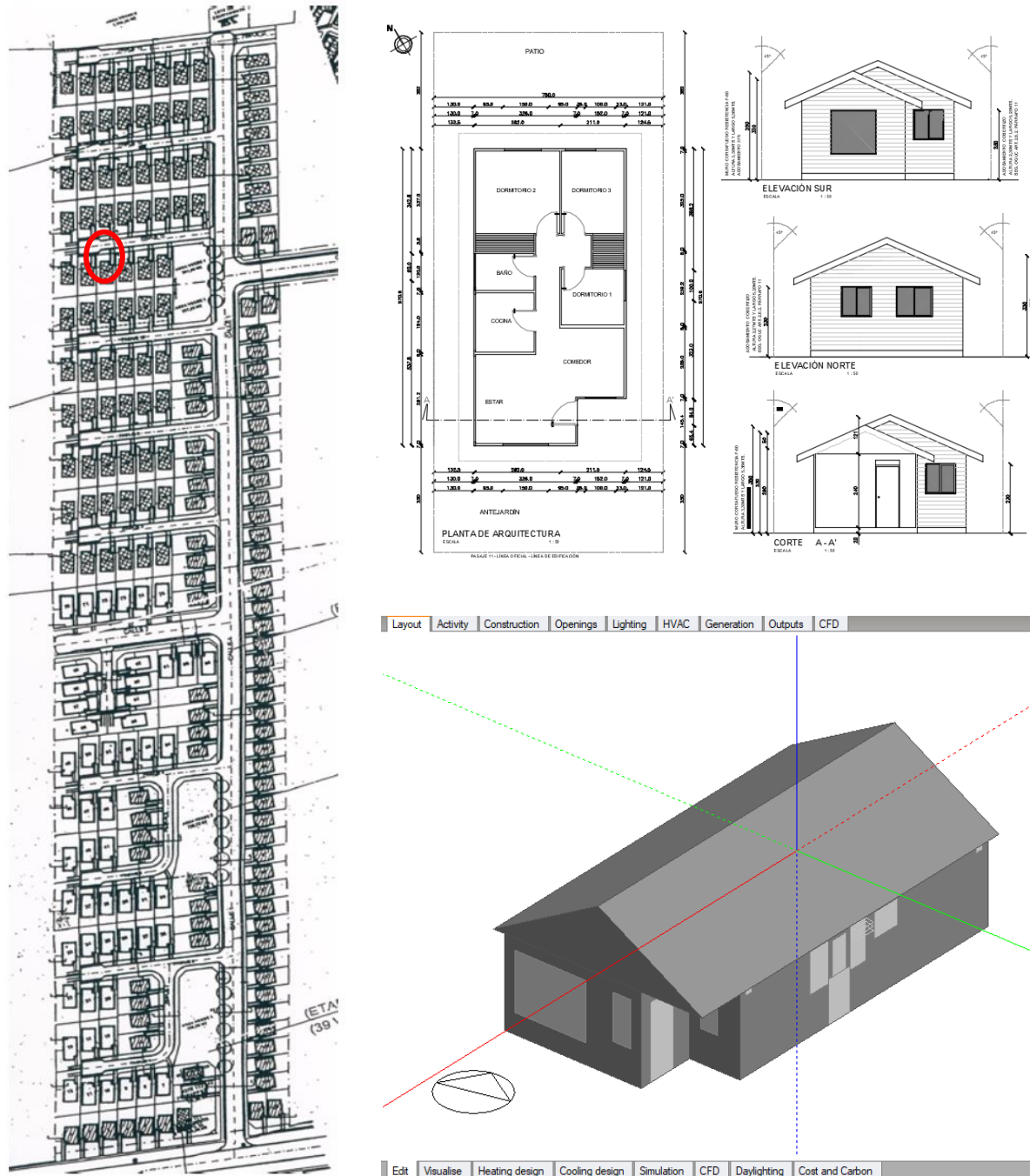


Figura 33: Plano de emplazamiento, planos de arquitectura y modelo Design Builder del Caso Base (fuente CERE - UMAG)

4.3 Análisis de resultados de desempeño energético del Caso Base

A partir de la simulación energético – ambiental efectuada al Caso Base, según los parámetros indicados en el punto 4.1.3, se procederá a analizar los resultados con el objeto continuar con las fases de proposición y simulación de mejoras. Al respecto, en la tabla 18, se resumen los valores de transmitancia térmica y de infiltración de la envolvente, así como el valor de demanda de calefacción de la vivienda en un año obtenido en la simulación.

RESULTADOS:		CASO BASE		
ELEMENTO	DESCRIPCIÓN	VALOR CALCULADO	ESTÁNDAR	EXIGIDO
Complejo Muros	Muro (fibrocem8mm+papel fieltro1mm+OSB11mm+lana vidrio 90mm+EPS15mm+yeso cartón 10mm)	0,555 W/m2-K	0,600 W/m2-K	
Muros bajo suelo (fundaciones)	Sin aislación	2,071 W/m2-K	-	
Complejo Techumbre	Cubierta plana OGUC (acero 0,05mm+lana vidrio 145mm+yesocartón 10mm)	0,250 W/m2-K	0,250 W/m2-K	
Muros semi-expuestos	Muro (fibrocem8mm+papel fieltro1mm+OSB11mm+lana vidrio 90mm+EPS15mm+yeso cartón 10mm)	0,350 W/m2-K	0,600 W/m2-K	
Cielos semi-expuestos	Cielo jp1 (49)	0,245 W/m2-K	0,250 W/m2-K	
Pisos semi-expuestos	Piso (piso flotante 10mm+espuma5mm+radier70mm)	0,250 W/m2-K	0,320 W/m2-K	
Complejo Piso	Piso (piso flotante 10mm+espuma5mm+radier70mm)	2,103 W/m2-K	-	
Infiltraciones	Hermeticidad del proyecto	25,23 ac/h a 50pa	-	
Ventanas	DVH 4mm/air/4mm (dormit)	2,943 W/m2-K	2,4 a 3,6 W/m2-K, 26%	
Ventanas	Vidrio monolít 4mm (zonas comunes)	5,877 W/m2-K	>3,6 W/m2-K, <12%	
Puertas	Puerta tablerada mad 47mm	2,396 W/m2-K	-	
Demanda calefacción kWh/m2/año	693,42	kWh/m2/año	kWh/m2/año	

Tabla 18: Resultados de simulación Caso Base en Software Design Builder (elaboración propia)

Según los datos arrojados por la simulación, se confirma una alta demanda de calefacción de 693,42 kWh/m2/año, y se verifica que las soluciones constructivas se enmarcan dentro de la Reglamentación Térmica. Por otra parte, al efectuar una nueva simulación reduciendo solo las altas infiltraciones desde las 25,23 renov/aire a 50pa medidas por el Proyecto INNOVA – CORFO, hasta las 4 renov/aire a 50pa propuestas por la NTM-11, es posible disminuir la demanda de calefacción en un 22%, alcanzando los 538 kWh/m2/año, lo que viene en ratificar la alta influencia de las infiltraciones en el desempeño energético de la vivienda en Punta Arenas.

El desglose de los porcentajes de disminución de consumo de calefacción obtenidos por el Proyecto INNOVA – CORFO para la vivienda de la Categoría 2 (vivienda de 1 piso de Metalcon), viene en presentar algunas similitudes con el desglose de porcentajes de demanda de calefacción efectuada en la simulación, tal como se muestra en las gráficas siguientes:

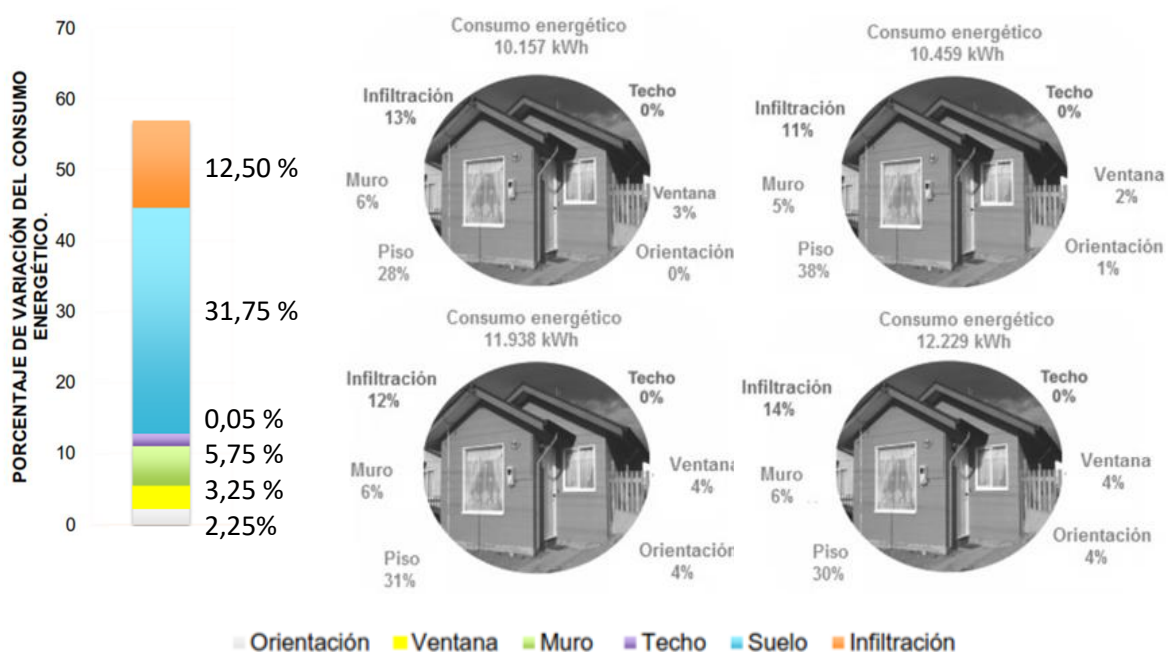


Figura 34: Gráfica resumen de los porcentajes de pérdida por elementos Proyecto INNOVA - CORFO (fuente CERE - UMAG)

Resultado simulación	Parámetros evaluados				
	Piso	Infiltraciones	Muro	Ventana	Techo
Porcentaje de pérdidas de energía para calefacción	46,00	24,00	11,00	14,80	4,00

Tabla 19: Resultado porcentajes de pérdida de calefacción según simulación Design Builder (elaboración propia)

Según lo anterior, se han podido confirmar los altos niveles de pérdidas por piso y hermeticidad identificados en el Proyecto INNOVA – CORFO, aunque se establece que los paramentos verticales (envolvente “muro” y “ventana”) aportan un 24,8% a las pérdidas, seguido por el techo con un 4%. En forma preliminar, se puede establecer que la sola incorporación de aislamiento térmico en piso y fundaciones, sumada a la disminución de las infiltraciones, pudiesen ser suficientes para reducir las demandas de calefacción en un porcentaje superior al 50%, lo cual será verificado en el capítulo siguiente con la proposición de mejoras según estándares analizados.

Capítulo 5. Caso de estudio parte 2: análisis y simulación de estándares de envolvente térmica para viviendas en Punta Arenas a partir del Caso Base

En el presente capítulo se evaluarán las diferentes mejoras para las envolventes térmicas del Caso Base individualizado en el capítulo anterior, con el objeto de evaluar su desempeño energético y ambiental mediante el software Design Builder. Estas mejoras serán relacionadas con los diferentes estándares que se han explicado en la investigación, desde la Reglamentación Térmica vigente (OGUC), la nueva Reglamentación Térmica propuesta por el MINVU (NTM-11) los estándares canadienses del British Columbia Building Code y los estándares propuestos por el CERE- UMAG en el Proyecto INNOVA CORFO 15BPCR – 48594.

Para la proposición de estas mejoras, se explicarán los diferentes criterios asumidos y se describirán algunas soluciones constructivas presentes en la ciudad de Punta Arenas y factibles de ser replicadas en mayor escala, con su respectiva simulación y análisis de resultados.

5.1 Proposición de estándares mediante Sistema Prestacional de Jerarquías

Con el objeto de efectuar una adecuada proposición de mejoras, estas serán relacionadas con estándares conocidos, lo cual permitirá analizar su aplicabilidad, así como las condiciones para poder proponer nuevos estándares. Sin embargo, para esto último, se aplicará el enfoque metodológico denominado “Sistema Prestacional de Jerarquías” usado en el modelo de jerarquías especificado en el NKB Report N°34-1978 (NKB, 1978), y que es utilizado por los actuales códigos prestacionales internacionales para definir desempeños exigibles a edificaciones y sus estándares (Inostroza, 2018). Este método considera cinco niveles de jerarquías relacionados a las preguntas detalladas a continuación (ver figura 34):

- **Objetivo:** viene en contestar la pregunta ¿para qué? Es decir, es la expresión de los intereses esenciales del usuario para el edificio y las condiciones que lo hacen adecuado al uso previsto, por lo que se ubicada en el nivel superior de la jerarquía.
- **Exigencias:** viene en contestar la pregunta ¿qué?, es decir, las condiciones técnicas específicas que debe poseer el diseño del edificio, sus sistemas constructivos y los productos que lo componen para cumplir con el Objetivo.

- Requisitos: viene en contestar la pregunta ¿cuánto?, es decir, la medida cuantitativa de la exigencia o riesgo que se acepta, expresado a través de indicadores cuyo cumplimiento puede verificarse en forma objetiva con cálculos o ensayos de simulación.
- Métodos de verificación: se refiere a las herramientas utilizadas para comprobar y demostrar que una solución cumple satisfactoriamente las exigencias en la fase de proyecto, obra y/o post ocupación.
- Soluciones aceptadas: son las soluciones presentes en la industria de la construcción que cumplen las exigencias, y/o que han sido debidamente probadas de manera experimental en laboratorios certificados (tal como las evaluadas en el laboratorio del CITEC-UBB).



Figura 35: Niveles de jerarquía Modelo NKB
(fuente Tesis M. Inostroza, MHSEE - UBB)

Según lo anterior, la metodología del NKB Report n°34-1978, permite identificar la “aptitud” del edificio, donde “los desempeños técnicos o prestacionales son el conjunto de características cualitativas o cuantitativas del edificio o partes de éste, medibles e identificables objetivamente, que contribuyen a determinar su aptitud para responder a diferentes funciones para las que fue diseñado” (Bobadilla, 2018). Por lo tanto, el edificio debe ser capaz de proveer las condiciones ambientales apropiadas para el desarrollo de la actividad, utilizando cantidades de energía mínima óptima con un desempeño energético determinado o un nivel de calidad energética mínima.

Como ejemplo de la aplicación de la metodología descrita, es posible mencionar el proyecto INNOVA Chile N°C9CT-03: "*Desarrollo de metodologías para prevenir la ocurrencia de patologías en las viviendas sociales*", así como otras experiencias de base experimental desarrolladas por el CITEC UBB, producto de su trabajo I+D+i en los últimos 20 años. En este proyecto en particular, 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.



Figura 36: Gráfica de definición de un Estándar de Desempeño Aceptable (EDAn) (fuente CITEC - UBB)

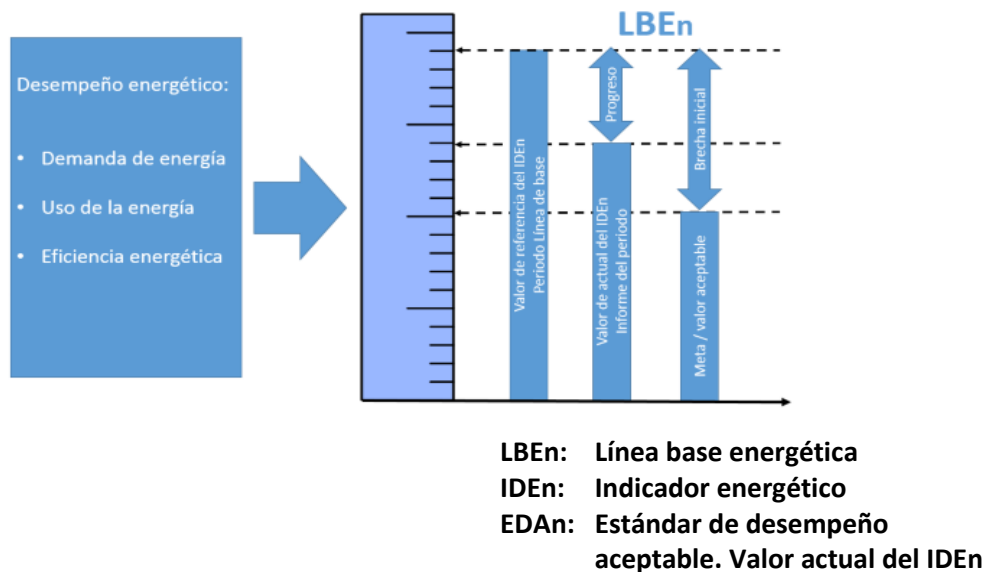


Figura 37: Línea base energética y estándares de desempeño aceptable (fuente CITEC- UBB)

Aplicando la metodología del NKB Report N°34-1978 a la presente investigación, es posible proponer el siguiente Sistema Prestacional de Jerarquías para la presente investigación:

- **Objetivo:** se propone disminuir las demandas de calefacción de viviendas en más de un 50%, toda vez que estas consumen el 90% del gas natural de la ciudad de Punta Arenas.
- **Exigencias:** se propone exigir valores mínimos óptimos de transmitancia (valor U) y de infiltración para la envolvente térmica de viviendas en la ciudad de Punta Arenas.
- **Requisitos:** los valores mínimos óptimos propuestos deberán validarse por un análisis de rentabilidad social que verifique su aplicabilidad para la Sociedad y el Estado.
- **Métodos de verificación:** serán los calculados por el Software Design Builder para la simulación energético – ambiental, mediante demanda de calefacción (kWh/m²/año).
- **Soluciones aceptadas:** son las soluciones presentes en la industria de la construcción de la ciudad de Punta Arenas, levantadas en la Línea Base actual.

Según el presente sistema prestacional de jerarquías, se considera que la Línea Base Energética actual, deberá ser reemplazada por una Línea Energética que alcance niveles de demanda de calefacción aceptables en un contexto sostenible, involucrando variables económicas, sociales y medio ambientales. Para poder identificar esa nueva línea energética, traducida en estándares factibles de ser incorporados a una Reglamentación Térmica al menos local, es necesario revisar los estándares disponibles que se adecúen a la realidad climática, económica y social de la ciudad de Punta Arenas. Al respecto, del análisis de la línea base local, se han podido recoger una serie de soluciones constructivas traducibles a estándares normativos, de los cuales es factible analizar tanto su desempeño como su conveniencia, pudiéndose identificar los siguientes estándares:

Según lo anterior, se propone evaluar los siguientes estándares identificados previamente:

- Estándar 1: Nueva Reglamentación Térmica OGUC (NTM-11).
- Estándar 2: Código de Construcción de Columbia Británica (BCBC).
- Estándar 3: Proyecto INNOVA CORFO 15BPCR – 48594 (CERE – UMAG).
- Estándar 4: Proyecto inmobiliario IMPASIVHAUS – Punta Arenas.
- Estándar 5: Máxima exigencia disponible (extraída de estándares anteriores).

Cada uno de estos estándares posee un paquete de valores de transmitancia térmica exigida a los elementos constructivos de techumbre, muros, pisos ventilados, piso sobre terreno, superficie vidriada y puertas, así como niveles de infiltraciones. Estos valores se resumen en la tabla 19.

Estándar	Techumbre	Muros	Piso ventilado	Piso sobre terreno	Superficie vidriada	Puertas	Infiltración
	U	U	U	U	U	U	N 50pa
	W/m2k	W/m2k	W/m2k	W/m2k	m2K/W	W/m2k	Renov/hora
RT OGUC	0,250	0,600	0,320	-	3,6>U>2,4 (27%) y U<2,4 (37%)	-	-
RT NTM-11	0,250	0,350	0,320	1,100	2,400	1,700	4,00
RT BCBC (Victoria)	0,214	0,359	0,227	0,431	1,800	2,400	3,00
PRO INNOVA CORFO (CERE-UMAG)	0,200	0,200	0,200	0,200	3,000	1,700	4,00
PROYECTO IMPASIVHAUS (Punta Arenas)	0,121	0,196	-	0,430	1,800	1,500	1,52
MAXIMA EXIGENCIA DISPONIBLE	0,121	0,196	0,200	0,200	1,800	1,500	1,52

Tabla 20: Cuadro resumen de estándares analizados (elaboración propia)

5.2 Criterios para la proposición y modelación de mejoras según estándares

En concordancia con el punto anterior, y con el objeto de seleccionar las soluciones constructivas factibles de ser aplicadas para mejorar el desempeño de la envolvente del Caso Base, se hace necesario definir algunos criterios técnicos que permitan validar las soluciones relacionadas a cada uno de los estándares mencionados, las que necesariamente deberán estar presentes en el mercado y/o la industria de la construcción local:

1. Privilegiar materiales de origen y/o producción local, permitiendo una menor huella ecológica en la edificación a lo largo de su ciclo de vida. Se sugiere considerar el listado de la tabla 16.
2. Corresponder a soluciones practicables en las edificaciones existentes, pero evitando dentro de lo posible, grandes modificaciones a la estructura de las viviendas. De lo contrario, se estaría ante soluciones constructivas exclusivas para obras nuevas, lo cual dificultaría la implementación de soluciones para el parque habitacional existente, aunque estas soluciones deban ser igualmente validadas en la presente investigación.

3. Corresponder a soluciones que puedan ser ejecutadas con mano de obra local, o con sistemas que permitan su aprendizaje en los equipos de contratistas y de construcción disponibles en Punta Arenas, promoviendo una mejor ejecución y supervisión de la calidad de la edificación.
4. Todas las mejoras deberán cumplir, a lo menos, con los estándares propuestos por la NTM – 11, los cuales serán incorporados a la nueva reglamentación térmica en los años siguientes.
5. Incluir apuestas de estándares locales que sean factibles de ser replicados en forma masiva. Al respecto, en el capítulo 3.2.4 se mencionan algunas iniciativas privadas que proponen estándares superiores a la Reglamentación Térmica vigente, siendo igualmente incluidos.

Considerando las limitaciones propias de una tesis, se han debido aplicar los siguientes criterios metodológicos con el objeto de acotar el estudio de casos:

- Se propone el análisis de 5 casos donde se variarán las características técnicas de la envolvente según las especificaciones definidas para cada estándar.
- Se simularán las mejoras al Caso Base aprovechando las ventajas del Software Design Builder, incluyendo las variaciones a los valores de transmitancia “U” y de infiltración, para identificar las demandas de calefacción y comparar el desempeño de cada estándar.
- Se verificarán los porcentajes de demanda energética del Proyecto INNOVA CORFO 15BPCR – 48594, para los elementos más incidentes.
- Se propone el análisis detallado de las mejoras factibles de implementar, reconociendo el impacto de las mejoras de la envolvente en el desempeño energético – ambiental de la edificación, con el objeto de pasar a la siguiente etapa de análisis de costos de ciclo de vida para la validación de los estándares según criterios de rentabilidad social.

De acuerdo al análisis del estado del arte indicado en el capítulo 3, se plantean los siguientes niveles de intervención según grado de complejidad, objeto cumplir los requerimientos de los estándares de la tabla 19, mediante soluciones constructivas presentes en el mercado local:

Nivel 1: Mejoras a la envolvente que no comprometen la estructura existente. Estas permiten la rehabilitación de viviendas existentes complementando la envolvente original. Se incluye:

- Incorporación de mayor aislante térmico en complejo techumbre.
- Incorporación de aislante térmico en cara exterior de muros y fundaciones.
- Incorporación de placas con aislamiento en cara interior de muros (Poligyb, Volcometal, etc).
- Incorporación de aislamiento térmico sobre radier existente.
- Mejoramiento y/o reemplazo de puertas y ventanas.

Nivel 2: Mejoras a la envolvente que comprometen parcialmente la estructura existente. Se trata de soluciones constructivas factibles de aplicar en la rehabilitación de viviendas existentes, pero que requieren intervenciones parciales a su estructura, incluyendo lo siguiente:

- Reemplazo de aislante térmico en complejo techumbre.
- Incorporación de aislante térmico en exterior de muros con apoyo de estructura.
- Instalación de aislante térmico y cámara de aire al interior con estructura complementaria.
- Incorporación de aislamiento térmico y cámara de aire sobre radier con estructura de piso.
- Incorporación de muros sobre muros existentes o doble cámara de aire en muros, pavimentos y cielos, objeto evitar puentes térmicos por el suelo y la estructura.
- Reemplazo de muros y/o cubiertas por paneles SIP.

Nivel 3: Mejoras a la envolvente que modifican la estructura existente. Se trata de soluciones de mayor complejidad, factibles de aplicar en viviendas nuevas, incluyendo lo siguiente:

- Incorporación de estructuras de muros de mayor espesor.
- Aislante térmico de alto espesor en muros, complejo techumbre y fundaciones perimetrales.
- Incorporación de doble muro o doble cámara de aire en muros, pavimentos y cielos, objeto evitar puentes térmicos por el suelo y la estructura, así como paneles SIP de espesor igual o superior a 20 cm en muros, pavimentos y cubiertas.

5.3 Descripción de mejoras y verificación mediante simulación energético – ambiental

A continuación, se detallarán los casos de mejoras al Caso Base, mediante la proposición del análisis de estándares obtenidos de la realidad local, con el objeto de efectuar las simulaciones de desempeño energético en el Software Design Builder, y en concordancia con la simulación del Caso Base explicada en el capítulo 4. Los casos de estudio propuestos son los siguientes:

- Caso 1: Nueva Reglamentación Térmica OGUC (NTM-11): por tratarse de una normativa técnica próxima a convertirse en una Reglamentación Oficial, se estima de suma importancia evaluar su desempeño para cada elemento constructivo.
- Caso 2: Código de Construcción de Columbia Británica (BCBC): se considera relevante comparar su desempeño con la normativa local, objeto verificar si la exigencia nacional dista mucho de la normativa internacional más asimilable al caso chileno.
- Caso 3: Proyecto INNOVA CORFO 15BPCR – 48594 (CERE – UMAG): corresponde al conjunto de exigencias para la envolvente térmica propuesta por el Centro de Estudios de los Recursos Energéticos de la Universidad de Magallanes como propuesta local, la cual incorporó parte del estándar IMPASIVHAUS explicado en el párrafo siguiente.
- Caso 4: Proyecto inmobiliario IMPASIVHAUS – Punta Arenas: corresponde a estándares propuestos por un proyecto inmobiliario local, donde se exploran exigencias muy superiores a la reglamentación térmica nacional e internacional para clima frío oceánico.
- Caso 5: Máxima exigencia disponible: corresponde a una selección de los valores de mayor exigencia propuestos a elementos constructivos de cada estándar mencionado.

Si bien es cierto, ninguno de los casos de estándares anteriormente indicados puede ser identificado a primeras como el más adecuado a la realidad de Punta Arenas, mediante la simulación energotérmica de cada uno de ellos será posible establecer las variaciones de demanda de calefacción, obteniendo una primera relación entre su desempeño energético y los niveles de intervención necesarios para su cumplimiento, de modo de clarificar la investigación para las siguientes etapas donde los estándares propuestos será evaluados aplicando criterios de rentabilidad social mediante el análisis de costos de ciclo de vida de cada uno. A continuación, se procederá a detallar cada uno de los casos de estándares y sus correspondientes materialidades.

Caso 1: Nueva Reglamentación Térmica OGUC (NTM-11)

Complejo muro 1: El estándar se logra aumentando el espesor del aislante térmico en 30mm, mediante intervenciones de primer, segundo y tercer nivel, es decir, sin intervenir la estructura, o cambiando la perfilera del muro de 60mm a 90mm. Esta mejora es posible para edificaciones existentes y nuevas. El muro evaluado consta de 5 capas, desde el exterior: fibrocemento 8mm, papel fieltro 1mm, OSB 11 mm, lana de vidrio 90mm (en perfilera Metalcon) y yeso cartón de 11mm. La transmitancia térmica del elemento alcanza los 0,344 W/m²-K. Por defecto, el programa incluye el elemento “muros bajo suelo”, aunque se tomará como la sección bajo el suelo de la fundación. En este caso, se incorpora EPS de 30mm en cara exterior de fundaciones perimetrales.

Techo 1: El estándar no presenta variaciones con la reglamentación térmica vigente de la OGUC, considerándose la solución original del Caso Base. Esta corresponde a 4 capas, desde el exterior: acero 0,05mm, papel fieltro de 1mm, lana de vidrio 145mm, y yeso cartón de 10mm, incluido entretecho. La transmitancia térmica del elemento alcanza los 0,250 W/m²-K.

Piso 1: El estándar se logra al incorporar aislación térmica al piso interior, agregando una cámara de 15mm sobre el radier existente, incluyendo EPS del mismo espesor. Sobre esta se instala una plancha de OSB de 18mm, rematada con piso flotante sobre espuma nivelante. Este elemento no genera dificultades con los 2,4 metros del recinto, el que puede ser rebajado a los 2,3 metros según normativa vigente. La transmitancia térmica del elemento alcanza los 1,027 W/m²-K.

Infiltración 1: En este caso, el cumplimiento del estándar es simulado en condiciones hipotéticas, con un valor por defecto de 4 renovaciones de aire/hora a 50 pascales. En condiciones reales, dado que el valor medido en la vivienda modelo alcanzó las 25,23 renovaciones de aire/hora a 50 pascales, se estima que para su cumplimiento se deberán incluir una serie de sellos tanto en puertas, ventanas, ductos y encuentros de elementos estructurales. Sin embargo, se estima una meta alcanzable, ya que muchas de las viviendas medidas alcanzaron el valor 7,91.

Ventana 1: El estándar solo puede ser logrado con ventanas de doble vidriado hermético incluyendo cristal Low E de 6mm en exterior, cámara de aire de 12mm y cristal incoloro interior de 6mm. Pese a que este tipo de ventana es fabricado en forma local, cabe mencionar su alto costo de hasta un 100% más alto que la ventana DVH con cristales incoloros de 4mm y espaciador de 8mm. La transmitancia térmica del elemento alcanza los 2,320 W/m²-K.

Puerta 1: El estándar solo puede ser logrado con puertas exteriores que incorporen, a lo menos, una cámara de aislante térmico de 15mm en su interior, por lo que su obtención implica cierta dificultad en la zona, requiriendo de nuevas tecnologías o, en su defecto, importando de este tipo de puertas. La transmitancia térmica del elemento alcanza los 1,687 W/m²-K.

Caso 2: Código de Construcción de Columbia Británica (BCBC)

Complejo muro 1: El estándar se logra repitiendo la solución de muro del Caso 1, ya que el código exige una transmitancia de muros de 0,359 W/m²-K versus los 0,35 exigidos por la reglamentación térmica nacional. La transmitancia térmica del elemento alcanza los 0,344 W/m²-K.

Techo 2: El estándar tiene leves variaciones con la reglamentación nacional, aumentando la transmitancia de 0,25 a 0,214 W/m²-K, llegando a un espesor del aislante de 170mm.

Piso 2: El estándar se logra al incorporar aislación térmica al piso interior, agregando una cámara de 75mm sobre el radier existente, incluyendo EPS del mismo espesor. Sobre esta se instala una plancha de OSB de 18mm, rematada con piso flotante sobre espuma nivelante. Este elemento no genera dificultades con los 2,4 metros del recinto, el que puede ser rebajado a los 2,3 metros según normativa vigente. La transmitancia térmica del elemento alcanza los 0,431 W/m²-K.

Infiltración 2: El cumplimiento del estándar es simulado en condiciones hipotéticas, considerando un valor por defecto debe alcanzar las 3 renovaciones de aire/hora a 50 pascales. En condiciones reales, dado que el valor medido en la vivienda modelo alcanzó las 25,23 renovaciones de aire/hora a 50 pascales, se estima que para su cumplimiento se deberán incluir una serie de sellos tanto en puertas, ventanas, ductos y encuentros de elementos estructurales. Sin embargo, lo anterior no se estima una meta muy distante, ya que muchas de las viviendas medidas alcanzaron las 7,91 renovaciones de aire/hora a 50 pascales sin mayores precauciones en sellos.

Ventana 2: El estándar solo puede ser logrado con ventanas de triple vidriado hermético con cristal de 6mm en exterior, cámaras de aire de 8mm y cristales incoloros centrales e interior de 4mm. Pese a que este tipo de ventana es fabricado en forma local, cabe mencionar su alto costo de hasta un 200% más alto que la ventana DVH con cristales incoloros de 4mm y espaciador de 8mm. La transmitancia térmica del elemento alcanza los 1,793 W/m²-K.

Puerta: El estándar es logrado con las puertas instaladas normalmente para la reglamentación térmica vigente, requiriéndose un espesor de 50mm para la madera tablerada. La transmitancia térmica del elemento alcanza los 2,396 W/m²-K.

Caso 3: Proyecto INNOVA CORFO 15BPCR – 48594 (CERE – UMAG)

Complejo muro 3: El estándar se logra aumentando el espesor del aislante térmico sobre 120mm, pudiendo ser alcanzado solo con intervenciones de tercer nivel al considerar muros de gran espesor estructural, por lo que la mejora es posible solo para edificaciones nuevas. El muro consta de 4 capas, desde el exterior: fibrocemento 8mm, papel fieltro 1mm, OSB 11 mm, EPS de 188mm y OSB de 11mm, conformando estas tres un panel del tipo SIP. La transmitancia térmica del muro alcanza los 0,196 W/m²-K. Por defecto, el programa incluye el elemento “muros bajo suelo”, aunque se tomará como la sección bajo el suelo de la fundación. En este caso, se incorpora EPS de 75mm en cara exterior de fundaciones perimetrales de hormigón armado.

Techo 3: El estándar presenta variaciones con la reglamentación nacional, pero puede enfrentarse con intervenciones de primer, segundo y tercer nivel, aumentando la transmitancia de 0,25 a 0,20 W/m²-K. Lo anterior, mediante el aumento del espesor de la lana de vidrio hasta los 200mm.

Piso 3: El estándar solo puede ser logrado al incorporar aislación térmica en el interior del piso con intervenciones de tercer nivel, agregando una cámara aislante de 188mm sobre el radier existente, mediante la incorporación de panel SIP de 210mm. Sobre esta se remata con piso flotante sobre espuma nivelante. La transmitancia térmica alcanza los 0,190 W/m²-K.

Infiltración 1: En este caso, el cumplimiento del estándar es simulado en condiciones hipotéticas, con un valor por defecto de 4 renovaciones de aire/hora a 50 pascales, al igual que el Caso 1.

Ventana 3: El estándar se logra fácilmente con ventanas de doble vidriado hermético incluyendo cristal de 4mm en exterior, cámara de aire de 8mm y cristal incoloro interior de 4mm, siendo de común confección en la zona. La transmitancia térmica del elemento alcanza los 2,943 W/m²-K.

Puerta 1:

El estándar es logrado al repetir el tipo de puerta del Caso 1, es decir, con una cámara de aislante térmico de 15mm en su interior. La transmitancia térmica del elemento alcanza los 1,677 W/m²-K.

Caso 4: Proyecto inmobiliario IMPASIVHAUS – Punta Arenas**Complejo muro 3:**

El estándar se logra al repetir el tipo de muro del Caso 3, siendo posible solo para edificaciones nuevas, incorporando un panel SIP de 210mm de espesor. La transmitancia térmica del elemento alcanza los 0,196 W/m²-K. Por defecto, el programa incluye el elemento “muros bajo suelo”, aunque se tomará como la sección bajo el suelo de la fundación. En este caso, se incorpora EPS de 75mm en cara exterior de fundaciones perimetrales de hormigón armado.

Techo 4:

Este estándar es superior a los anteriores estándares propuestos, pudiendo lograrse con intervenciones de segundo y tercer nivel al aumentar la transmitancia del Caso 3 de 0,2 a 0,121 W/m²-K con un mayor espesor de la lana de vidrio, por sobre los 300mm.

Piso 2:

El estándar puede ser logrado al repetir el estándar planteado en el Caso 2 (British Columbia Building Code), incorporando aislación térmica bajo o sobre el radier de la vivienda, agregando una cámara aislante de 75mm. Este elemento no genera dificultades con los 2,4 metros del recinto, el que puede ser rebajado a los 2,3 metros según normativa vigente. La transmitancia térmica del elemento alcanza los 0,431 W/m²-K.

Infiltración 4:

En este caso, el cumplimiento del estándar ha sido verificado en las viviendas construidas por la inmobiliaria, habiendo alcanzado un valor de infiltración de 1,52 4 renovaciones de aire/hora a 50 pascales. Para su logro, fue necesario la aplicación de una serie de procedimientos de sellado en diferentes etapas constructivas, tanto de obra gruesa como de terminaciones, incluyendo sellos en puertas, ventanas, instalaciones y encuentros estructurales.

Ventana 2:

El estándar solo puede ser logrado aplicando las ventanas del Caso 2. La transmitancia térmica del elemento alcanza los 1,793 W/m²-K.

Puerta 1:

El estándar es logrado al repetir el tipo de puerta del Caso 1, es decir, con una cámara de aislante térmico de 15mm en su interior. La transmitancia térmica del elemento alcanza los 1,677 W/m²-K.

Caso 5: estándares de máxima exigencia disponibles

Para la conformación del Caso 5, se han seleccionado los estándares de mayor exigencia disponible en cada uno de los casos anteriores, considerando los siguientes elementos:

Complejo muro 3:

El estándar se logra al repetir el tipo de muro del Caso 3, siendo posible solo para edificaciones nuevas, incorporando un panel SIP de 210mm de espesor. La transmitancia térmica del elemento alcanza los 0,196 W/m²-K. Por defecto, el programa incluye el elemento “muros bajo suelo”, el cual no se considera en el modelo, aunque se tomará como la sección bajo el suelo de la fundación. En este caso, se incorpora EPS de 75mm en cara exterior de fundaciones perimetrales.

Techo 4:

Se considera el estándar de techumbre definido para el Caso 4. Lo anterior, es posible de lograr al aumentar el espesor de la lana de vidrio por sobre los 300mm. La transmitancia térmica del elemento alcanza los 0,121 W/m²-K.

Piso 3:

Se considera el estándar de piso definido para el Caso 3. La transmitancia térmica del elemento alcanza los 0,190 W/m²-K.

Infiltración 4:

Se considera el valor de infiltración de 1,52 renov.aire/hora a 50 Pa propuesto en el Caso 4.

Ventana 2:

Se considera el estándar propuesto por el código canadiense en el Caso 2. La transmitancia térmica del elemento alcanza los 1,793 W/m²-K.

Puerta 1:

Se considera el estándar del Caso 1, es decir, con una puerta con una cámara de aislante térmico de 15mm en su interior. La transmitancia térmica del elemento alcanza los 1,677 W/m²-K.

5.4 Análisis de resultados de la simulación energético – ambiental

- Caso 1: estándares de la Nueva Reglamentación Térmica (NTM – 11)

RESULTADOS: CASO 1: NTM-11			
ELEMENTO	DESCRIPCIÓN	VALOR CALCULADO	ESTÁNDAR EXIGIDO
Complejo Muros	Muro 1 (8mm fibrocem+1mm papel fieltro+OSB 11mm+lana vidrio 90mm+yeso cartón 11mm)	0,344 W/m ² -K	0,350 W/m ² -K
Muros bajo suelo (fundaciones)	Aislación EPS 30mm	1,071 W/m ² -K	1,100 W/m ² -K
Complejo Techumbre	Techo 1 (acero 0,05mm+lana vidrio 145mm+yeso cartón 10mm)	0,250 W/m ² -K	0,250 W/m ² -K
Muros semi-expuestos	Muro 1 (8mm fibrocem+1mm papel fieltro+OSB 11mm+lana vidrio 90mm+yeso cartón 11mm)	0,350 W/m ² -K	0,350 W/m ² -K
Cielos semi-expuestos	Cielo 1	0,245 W/m ² -K	0,250 W/m ² -K
Pisos semi-expuestos	Piso 1 (piso flotante10mm+espuma5mm+OSB18mm+EPS15mm+radier70mm)	1,027 W/m ² -K	1,100 W/m ² -K
Complejo Piso	Piso 1 (piso flotante10mm+espuma5mm+OSB18mm+EPS15mm+radier70mm)	1,027 W/m ² -K	1,100 W/m ² -K
Infiltraciones	Hermeticidad del proyecto	4 ac/h a 50pa	4 ac/h a 50pa
Ventanas	DVH LowE6mm/air12mm/6mm	2,320 W/m ² -K	2,400 W/m ² -K
Puertas	Puerta con aislación térmica 15mm	1,687 W/m ² -K	1,700 W/m ² -K
Demanda calefacción kWh/m²/año	218,47	kWh/m²/año	kWh/m²/año

Tabla 21: Resultados de simulación Caso 1 en Software Design Builder (elaboración propia)

Según los datos arrojados por la simulación del Caso 1, es posible obtener el siguiente análisis:

1. La aplicación de los estándares propuestos por la Nueva Reglamentación Térmica (NTM-11) genera una reducción del 68,49% de la demanda de calefacción en la vivienda modelada.
2. La aplicación de los estándares propuestos por la Nueva Reglamentación Térmica (NTM-11) es factible tanto para edificaciones existentes como a edificación nueva, ya que complementan las actuales condiciones de la envolvente, sin involucrar cambios estructurales radicales.
3. La principal diferencia con la Reglamentación Térmica vigente radica en la limitar las infiltraciones a solo 4 renov.aire/hora a 50Pa, así como la incorporación de aislación térmica en el piso para lograr una transmitancia no mayor a 1,1 W/m²-K.
4. En menor importancia, los estándares permiten el mejoramiento de la envolvente – muros (de 0,6 a 0,35 W/m²-K), mejorar la calidad de ventanas incorporando cristales Low E en exterior (de 3,6 a 2,4 W/m²-K) y las puertas, exigiendo para esta la incorporación de aislación térmica.

- **Caso 2: estándares del British Columbia Building Code (BCBC)**

RESULTADOS:		CASO 2: BCBC	
ELEMENTO	DESCRIPCIÓN	VALOR CALCULADO	ESTÁNDAR EXIGIDO
Complejo Muros	Muro 1 (8mm fibroцем+1mm papel fieltro+OSB 11mm+lana vidrio 90mm+yeso cartón 11mm)	0,344 W/m ² -K	0,359 W/m ² -K
Muros bajo suelo (fundaciones)	Aislación EPS 90mm	0,350 W/m ² -K	0,431 W/m ² -K
Complejo Techumbre	Techo 2 (acero 0,05mm+OSB 15mm+lana vidrio 170mm+cámara de aire 15mm+yeso cartón 10mm)	0,215 W/m ² -K	0,214 W/m ² -K
Muros semi-expuestos	Muro 1 (8mm fibroцем+1mm papel fieltro+OSB 11mm+lana vidrio 90mm+yeso cartón 11mm)	0,350 W/m ² -K	0,359 W/m ² -K
Cielos semi-expuestos	Cielo 2	0,215 W/m ² -K	0,214 W/m ² -K
Pisos semi-expuestos	Piso 2 (piso flotante10mm+espuma5mm+radier70mm+EPS75mm)	0,430 W/m ² -K	0,431 W/m ² -K
Complejo Piso	Piso 2 (piso flotante10mm+espuma5mm+radier70mm+EPS75mm)	0,430 W/m ² -K	0,431 W/m ² -K
Infiltraciones	Hermeticidad del proyecto	3 ac/h a 50pa	3 ac/h a 50pa
Ventanas	TVH 6mm/air8mm/4mm/air8mm/4mm	1,793 W/m ² -K	1,800 W/m ² -K
Puertas	Puerta tablerada mad 50mm	2,396 W/m ² -K	2,400 W/m ² -K
Demanda calefacción kWh/m²/año	118,75	kWh/m²/year	kWh/m²/year

Tabla 22: Resultados de simulación Caso 2 en Software Design Builder (elaboración propia)

Según los datos arrojados por la simulación del Caso 2, es posible obtener el siguiente análisis:

1. La aplicación de los estándares exigidos por la Reglamentación Térmica de Victoria (Canadá) genera una reducción del 82,87% de la demanda de calefacción en la vivienda modelada.
2. La aplicación de los estándares exigidos por la Reglamentación Térmica de Victoria (Canadá) es factible tanto para edificaciones existentes como a edificación nueva, ya que complementan las actuales condiciones de la envolvente, sin involucrar cambios estructurales radicales.
3. La principal diferencia con la Reglamentación Térmica vigente radica en la limitar las infiltraciones a solo 3 renov.aire/hora a 50Pa, así como la incorporación de aislación térmica en el piso para lograr una transmitancia no mayor a 0,431 W/m²-K.
4. En menor importancia, los estándares permiten el mejoramiento de la envolvente – techos (de 0,25 a 0,214 W/m²-K) y muros (de 0,6 a 0,227 W/m²-K), mejorar la calidad de ventanas incorporando triple vidriado hermético (de 3,6 a 1,8 W/m²-K) y no requiere mejorar los actuales estándares exigidos para puertas.

- **Caso 3: estándares del Proyecto INNOVA – CORFO 15BPCR – 48594 (CERE – UMAG):**

RESULTADOS: CASO 3: CERE-UMAG			
ELEMENTO	DESCRIPCIÓN	VALOR CALCULADO	ESTÁNDAR PROPUESTO
Complejo Muros	Muro 3 (Fibrocemento 8mm/papel fieltro 1mm/OSB 11mm/EPS 180mm/OSB 11mm)	0,196 W/m2-K	0,200 W/m2-K
Muros bajo suelo (fundaciones)	Muro 3 (Fibrocemento 8mm/papel fieltro 1mm/OSB 11mm/EPS 180mm/OSB 11mm)	0,196 W/m2-K	0,200 W/m2-K
Complejo Techumbre	Techo 3 (acero 0,05mm+lana vidrio 120mm+lana vidrio 80mm+yeso cartón 10mm)	0,198 W/m2-K	0,200 W/m2-K
Muros semi-expuestos	Muro 3 (Fibrocemento 8mm/papel fieltro 1mm/OSB 11mm/EPS 180mm/OSB 11mm)	0,196 W/m2-K	0,200 W/m2-K
Cielos semi-expuestos	Cielo 3	0,198 W/m2-K	0,200 W/m2-K
Pisos semi-expuestos	Piso 3 (piso flotante10mm+espuma5mm+OSB11mm +EPS188mm+OSB11mm)	0,190 W/m2-K	0,200 W/m2-K
Complejo Piso	Piso 3 (piso flotante10mm+espuma5mm+OSB11mm +EPS188mm+OSB11mm)	0,190 W/m2-K	0,200 W/m2-K
Infiltraciones	Hermeticidad del proyecto	4 ac/h a 50pa	4 ac/h a 50pa
Ventanas	DVH 4mm/air8mm/4mm	2,943 W/m2-K	3,000 W/m2-K
Puertas	Puerta con aislación térmica 50mm	1,677 W/m2-K	1,700 W/m2-K
Demanda calefacción kWh/m2/año	86,18	kWh/m2/year	kWh/m2/year

Tabla 23: Resultados de simulación Caso 3 en Software Design Builder (elaboración propia)

Según los datos arrojados por la simulación del Caso 3, es posible obtener el siguiente análisis:

1. La aplicación de los estándares propuestos por el CERE – UMAG genera una reducción del 87,57% de la demanda de calefacción en la vivienda modelada.
2. La aplicación de los estándares propuestos por el CERE – UMAG es factible para edificaciones nuevas, generando dificultades técnicas y extra costos en viviendas existentes debido al mayor espesor estructural requerido.
3. La principal diferencia con la Reglamentación Térmica vigente radica en la limitar las infiltraciones a solo 4 renov.aire/hora a 50Pa, así como la homologación de la transmitancia de la envolvente térmica (techos, muros y pisos) a un único valor de 0,2 W/m2-K, asumiendo el concepto de la “caja térmica” promovida por la normativa canadiense.
4. Estos estándares asumen las exigencias para puertas exteriores de la NTM-11, pero permiten el uso de ventanas de doble vidrio hermético según características locales normales.

- **Caso 4: estándares del Proyecto Inmobiliario IMPASIVHAUS:**

RESULTADOS: CASO 4: IMPASIVHAUS			
ELEMENTO	DESCRIPCIÓN	VALOR CALCULADO	ESTÁNDAR PROPUESTO
Complejo Muros	Muro 3 (Fibrocemento 8mm/papel fieltro 1mm/OSB 11mm/EPS 180mm/OSB 11mm)	0,196 W/m2-K	0,196 W/m2-K
Muros bajo suelo (fundaciones)	Muro 3 (Fibrocemento 8mm/papel fieltro 1mm/OSB 11mm/EPS 180mm/OSB 11mm)	0,196 W/m2-K	0,196 W/m2-K
Complejo Techumbre	Techo 4 (acero 0,05mm+SIP 337mm(OSB18mm+EPS301mm+OSB18mm)+yeso cartón 10mm)	0,121 W/m2-K	0,121 W/m2-K
Muros semi-expuestos	Muro 3 (Fibrocemento 8mm/papel fieltro 1mm/OSB 11mm/EPS 180mm/OSB 11mm)	0,196 W/m2-K	0,200 W/m2-K
Cielos semi-expuestos	Cielo 4	0,121 W/m2-K	0,121 W/m2-K
Pisos semi-expuestos	Piso 2 (piso flotante10mm+espuma5mm+radier70mm+EPS75mm)	0,250 W/m2-K	0,320 W/m2-K
Complejo Piso	Piso 2 (piso flotante10mm+espuma5mm+radier70mm+EPS75mm)	0,430 W/m2-K	0,431 W/m2-K
Infiltraciones	Hermeticidad del proyecto	1,52 ac/h a 50pa	1,52 ac/h a 50pa
Ventanas	TVH 6mm/air8mm/4mm/air8mm/4mm	1,800 W/m2-K	1,800 W/m2-K
Puertas	Puerta con aislación térmica 50mm	1,677 W/m2-K	1,700 W/m2-K
Demanda calefacción kWh/m2/año	84,90	kWh/m2/year	kWh/m2/year

Tabla 24: Resultados de simulación Caso 4 en Software Design Builder (elaboración propia)

Según los datos arrojados por la simulación del Caso 4, es posible obtener el siguiente análisis:

1. La aplicación de los estándares propuestos por el proyecto IMPASIVHAUS genera una reducción del 87,75% de la demanda de calefacción en la vivienda modelada, similar al estándar CERE – UMAG, pero con una mayor cantidad de obras y aislante.
2. La aplicación de los estándares propuestos por el proyecto IMPASIVHAUS es factible para edificaciones nuevas, generando dificultades técnicas y extra costos en viviendas existentes debido al mayor espesor estructural requerido.
3. La principal diferencia con la Reglamentación Térmica vigente radica en la limitar las infiltraciones a solo 1,52 renov.aire/hora a 50Pa, así como el importante aumento de espesor en aislante de muros (188mm) y de techumbre (300mm), asumiendo el concepto de la “caja térmica” promovida por la normativa canadiense.
4. Estos estándares asumen las exigencias para puertas exteriores de la NTM-11, pero plantean mayor exigencia para ventanas, según estándares canadienses.

- **Caso 5: selección de estándares mínimos óptimos de los casos anteriores:**

RESULTADOS: CASO 5: MAXIMA EXIGENCIA DISPONIBLE			
ELEMENTO	DESCRIPCIÓN	VALOR CALCULADO	ESTÁNDAR PROPUESTO
Complejo Muros	Muro 3 (Fibrocemento 8mm/papel fieltro 1mm/OSB 11mm/EPS 180mm/OSB 11mm)	0,196 W/m2-K	0,196 W/m2-K
Muros bajo suelo (fundaciones)	Muro 3 (Fibrocemento 8mm/papel fieltro 1mm/OSB 11mm/EPS 180mm/OSB 11mm)	0,196 W/m2-K	0,196 W/m2-K
Complejo Techumbre	Techo 4 (acero 0,05mm+SIP 337mm(OSB18mm+EPS301mm+OSB18mm)+yeso cartón 10mm)	0,121 W/m2-K	0,121 W/m2-K
Muros semi-expuestos	Muro 3 (Fibrocemento 8mm/papel fieltro 1mm/OSB 11mm/EPS 180mm/OSB 11mm)	0,196 W/m2-K	0,200 W/m2-K
Cielos semi-expuestos	Cielo 4	0,121 W/m2-K	0,121 W/m2-K
Pisos semi-expuestos	Piso 3 (piso flotante10mm+espuma5mm+OSB11mm+EPS188mm+OSB11mm)	0,190 W/m2-K	0,200 W/m2-K
Complejo Piso	Piso 3 (piso flotante10mm+espuma5mm+OSB11mm+EPS188mm+OSB11mm)	0,190 W/m2-K	0,200 W/m2-K
Infiltraciones	Hermeticidad del proyecto	1,52 ac/h a 50pa	1,52 ac/h a 50pa
Ventanas	TVH 6mm/air8mm/4mm/air8mm/4mm	1,800 W/m2-K	1,800 W/m2-K
Puertas	Puerta con aislación térmica 50mm	1,677 W/m2-K	1,700 W/m2-K
Demanda calefacción kWh/m2/año	65,27	kWh/m2/year	kWh/m2/year

Tabla 25: Resultados de simulación Caso 5 en Software Design Builder (elaboración propia)

Según los datos arrojados por la simulación del Caso 5, es posible obtener el siguiente análisis:

1. La aplicación de los estándares de mayor exigencia seleccionados de los casos anteriores, genera una reducción del 90,58% de la demanda de calefacción en la vivienda modelada.
2. La aplicación de estos estándares es factible para edificaciones nuevas, generando dificultades técnicas y extra costos en viviendas existentes debido al mayor espesor estructural requerido.
3. La principal diferencia con la Reglamentación Térmica vigente radica en la limitar las infiltraciones a solo 1,52 renov.aire/hora a 50Pa, así como el importante aumento de espesor en aislante pisos y muros (188mm) y de techumbres (300mm), asumiendo el concepto de la “caja térmica” promovida por la normativa canadiense.
4. Estos estándares asumen las exigencias para puertas exteriores de la NTM-11, pero plantean mayor exigencia para ventanas, según estándares canadienses.

Al efectuar un análisis comparativo de las simulaciones a los 5 casos de estándares evaluados, es posible obtener las siguientes conclusiones:

1. Todos los casos analizados superan las expectativas de ahorro planteadas en la hipótesis de investigación, es decir, por sobre el 50%.
2. De los 5 casos analizados, solo el Caso 1 y el Caso 2 son factibles de ser aplicados sin mayor dificultad técnica a viviendas existentes.
3. Tanto el Caso 1 como el Caso 2 logran la mejor relación entre mayor eficiencia energética a menor nivel de intervención, con desempeños de 218 y 118 kWh/m²/año respectivamente.
4. Tanto la mejora de los niveles de hermeticidad de la envolvente como la incorporación de aislación térmica en pisos, pueden significar ahorros significativos de energía.
5. Los casos 3, 4 y 5 son más factibles de aplicar a edificación nueva, siendo necesario para edificación existente la intervención de elementos estructurales.
6. Los casos 3 y 4 logran desempeños energéticos similares, cercanos a los 86 kWh/m²/año, pero con mayores inversiones en envolventes.
7. Caso 5, referido a una selección de los estándares de mayor exigencia, demuestra la posibilidad de llegar hasta los 65 kWh/m²/año, permitiendo, por ejemplo, catalogar la vivienda en una certificación CEV de A+ con un ahorro superior al 90% de demanda de energía, lo cual implica una mejora muy satisfactoria considerando que no incluye intervenciones de diseño pasivo tal como la orientación o la compacidad de la vivienda.

De acuerdo a lo anterior, es posible confirmar que la aplicación de mejores estándares en la envolvente térmica, puede significar una importante reducción de las demandas de calefacción. Sin embargo, se hace necesario un análisis económico para comprobar la factibilidad social de la aplicación de estándares de mayor exigencia a los actuales, lo cual será posible mediante un Análisis de Costos del Ciclo de Vida de cada una de las soluciones constructivas correspondientes a cada Caso de estándar evaluado.

Capítulo 6. Caso de estudio parte 3: evaluación de estándares de envolvente térmica aplicando criterios de rentabilidad social mediante Análisis de Costos de Ciclo de Vida

El presente capítulo abordará el Análisis de los Costos de Ciclo de Vida (ACCV) de los estándares de envolvente evaluados en el capítulo anterior, siguiendo la metodología planteada por Inostroza (2018, tesis MHSEE – UBB) para la validación de estándares de aislación térmica propuestos para la ciudad de Concepción, Chile.

En términos generales, mediante el análisis de costos de ciclo de vida de cada estándar, será posible evaluar el impacto de los ahorros energéticos en el costo del ciclo de vida en relación al Caso Base, con el fin de identificar los estándares con mayor rentabilidad social o, en su defecto, proponer un nuevo estándar a partir de los anteriores, el cual cumpla con los requisitos de un estándar mínimo óptimo de transmitancia térmica de la envolvente.

Para el cumplimiento de los objetivos mencionados, será necesaria la cuantificación de las soluciones constructivas para llegar a la valoración de precios unitarios de cada una de las partidas de las especificaciones técnicas que posean incidencia en el estudio. Una vez valorizado cada caso de estudio, usando el parámetro de UF por m², se procederá a valorizar el ahorro energético correspondiente a cada Caso, con el objeto de identificar el costo – beneficio de cada alternativa.

Previamente, se explicará el marco metodológico del análisis de costos de ciclo de vida como una herramienta útil para evaluar la rentabilidad económica y social de proyectos de eficiencia energética en edificaciones, así como su aplicación en la evaluación de estándares de construcción sustentable, tal como se aplica en países desarrollados para la evaluación de normativas y reglamentaciones térmicas.

De este modo, se persigue la evaluación de los estándares de envolvente térmica disponibles actualmente en la ciudad de Punta Arenas, expresados en los 5 estándares analizados en el capítulo anterior, con el objeto de precisar los valores mínimos óptimos factibles de incorporar a futuras reglamentaciones térmicas, y que permitan aportar a la sustentabilidad de los recursos medioambientales existentes en la Región de Magallanes a través de la disminución de la demanda de calefacción de viviendas.

6.1 Marco metodológico y conceptual de la Rentabilidad Social y el Análisis de Costos de Ciclo de Vida.

6.1.1 Rentabilidad Social

Como se ha podido entender en los capítulos anteriores, la proposición de estándares de eficiencia energética, en el contexto de una Reglamentación Térmica, no solo implica la reducción de las demandas de calefacción a través de la reducción de la transmitancia térmica de las envolventes, sino que tiene una serie de impactos sociales, culturales o económicos que pueden traer consigo una serie de beneficios o, en su defecto, importantes dificultades económicas en el caso que estos estándares no hayan sido debidamente evaluados en aspectos de factibilidad técnica y económica.

Por esta razón, la modificación de las reglamentaciones referidas a la construcción, suelen sortear largos períodos de prueba y calibración que no necesariamente garantizan el éxito de su aplicación. En ese sentido, el país deberá avanzar en los próximos años en la obtención de un marco regulatorio adecuado a las demandas sociales de uso “mínimo – óptimo – sustentable” de energía en los edificios, tal como hoy lo imponen las sociedades modernas (CITEC UBB, 2015).

En tal sentido, la rentabilidad social viene a ser el beneficio, valor y/o fruto que un proyecto entrega a la sociedad como producto de su ejecución y puesta en marcha (Inostroza, 2018), en aras de mejorar la calidad de vida de un determinado grupo de individuos.

En el caso de los estándares de eficiencia energética, esta rentabilidad se puede generar a partir de la disminución del consumo energético, o la reducción de los costos de operación y mantención a lo largo del ciclo de vida del edificio, permitiendo un beneficio directo en los usuarios al mejorar su calidad de vida y confortabilidad, además de beneficios sociales, económicos y ambientales. Para determinar cuan rentable puede ser un nuevo estándar de eficiencia energética propuesto, se deben comparar los costos económicos involucrados a partir de un caso base o de referencia, bajo los estándares normativos vigentes (Inostroza, 2018).

En Chile, la evaluación de la rentabilidad económica y social de inversiones en mejoras de la eficiencia energética de las edificaciones aún es un tema poco abordado, salvo por investigaciones recientes efectuadas, por ejemplo, por el Centro de Investigación en Tecnologías de la Construcción de la Universidad del Bío Bío (CITEC – UBB) para la creación de herramientas de evaluación ex –ante de proyectos de eficiencia energética, encargada por el gobierno chileno.

A nivel internacional, son cada vez más las normativas que consideran esta evaluación, tal como la norma europea UNE – EN 15978, donde el comportamiento social y económico del edificio son aspectos de sostenibilidad que son parte de la evaluación total de cada proyecto (ver la figura 38).

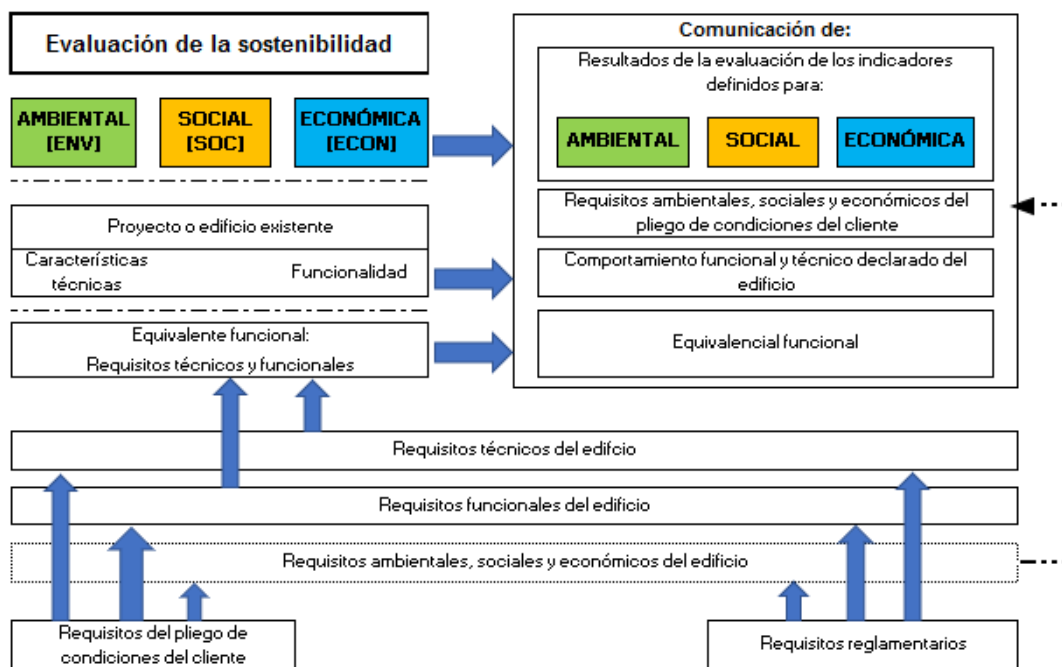


Figura 38: Concepto de Sustentabilidad Edificios (EN - UNE 15978)

Para evaluar aspectos ambientales, sociales y económicos de mejoras y estándares de eficiencia energética en viviendas, con criterios de rentabilidad social, son útiles los siguientes indicadores:

1. **Ahorro en UF/m²:** Este indicador mide el beneficio socio - económico 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 1:

Ecuación 1: Beneficios Económicos

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

Donde:

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

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

- 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 2

Ecuación 2: 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 Magallanes al menor costo económico, social y ambiental posible, es necesario que la evaluación de la rentabilidad de las estrategias de mejora se realice con metodologías integrales que incluyan todas las etapas del ciclo de vida del proyecto. Por esta razón, se ha seleccionado el Análisis de Costo de Ciclo de Vida (ACCV) como una útil y completa herramienta que permite disminuir los consumos energéticos e impactos del sector de la construcción, gracias a la evaluación a lo largo del ciclo de vida del proyecto, identificando las estrategias más adecuadas. De esta forma, es factible su aplicación en la presente investigación, donde se requiere obtener las ventajas comparativas entre los casos de estándares individualizados en los capítulos anteriores, con el objeto de encontrar los estándares más adecuados para su aplicación en el contexto de una nueva reglamentación térmica local, tanto para viviendas nuevas como para viviendas existentes.

Según las consideraciones obtenidas en el capítulo 2, referidas a la influencia del subsidio al gas natural en el escaso interés por la eficiencia energética, es necesario para esta investigación enfocarse en los beneficios que tiene para el estado la aplicación de exigencias mínimas óptimas de transmitancia energética en envolventes de viviendas en Magallanes.

6.1.2 Análisis de Costos de Ciclo de Vida

El Análisis de Costos de Ciclo de Vida (ACCV) o Life Cycle Cost Analysis (LCCA), 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 (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 que también en sus costos operativos posteriores (Schneiderova, 2014).

Mediante el ACCV es posible medir el valor presente de una propuesta de inversión en eficiencia energética, la cual se compara con un Caso Base que cumple con iguales condiciones funcionales. Corresponde al valor presente de la sumatoria de costos de inversión, operación, mantenimiento, reparación, reemplazo y desconstrucción, eventualmente, durante el período de tiempo en cual se haya planteado el análisis de los costos, ya sea de manera total a lo largo de su ciclo de vida, o para comparar y evaluar diferentes propuestas en períodos de recuperación de inversiones para medir su rentabilidad. Según lo anterior, es una herramienta fundamental para lograr una mejor relación calidad – precio de los edificios, bienes construidos, producidos y utilizados. Al respecto, permite determinar el flujo de costos actualizados netos, durante un periodo definido como “ciclo de vida”, en el cual se asocian los servicios de calefacción, refrigeración, iluminación, ventilación, provisión de agua, entre otros, dependiendo de lo que se requiera evaluar. Esto permite evaluar y optimizar la rentabilidad de distintas medidas e inversiones asociadas a mejoras de eficiencia energética en edificaciones (Inostroza, 2018).

6.1.3 Cálculo de los Costos de Ciclo de Vida

Para la realización de un análisis de costos de ciclo de vida asociado a mejoras en eficiencia energética, se realiza la suma de los costos traídos a valor presente, utilizando la Ecuación 3:

Ecuación 3: 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 análisis de costos de ciclo de vida se realizan según la norma ASTM E917, debiendo considerar lo siguiente:

Costos iniciales y/o colaterales: Son los costos de las estrategias relacionadas a 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 mantención y reemplazo: Son aquellos costos por mantención 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 4.

Ecuación 4: 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 5:

Ecuación 5: 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)

$A0$: Valor inicial de un pago periódico evaluado al inicio de un periodo de estudio.

La cuantificación de los beneficios de las estrategias, mejoras o estándares, se determina por la diferencia entre los Costos de Ciclo de Vida de un Caso Base y los del mismo caso integrando estrategias de mejora de eficiencia energética. De acuerdo a criterios establecidos en la norma ASTM E917, para la valorización de los beneficios económicos es factible usar el indicador “Ahorro en UF/m²”, 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, tanto para el Caso Base como para los casos de mejora.

6.2 Análisis de Costos de Ciclo de Vida de estándares de envolvente térmica

Para realizar el Análisis de Costos de Ciclo de Vida de los casos de estándares planteados en el capítulo anterior, se considera la aplicación de los siguientes procedimientos:

1. Identificación de los casos de estudio: en consecuencia, se considera efectuar un análisis comparativo entre el Caso Base y los siguientes casos:
 - CASO 1. Modelo con reglamentación térmica proyectada (NTM-11).
 - CASO 2. Modelo con reglamentación térmica canadiense (BCBC).
 - CASO 3. Modelo con estándares propuestos por CERE-UMAG.
 - CASO 4. Modelo con estándares propuestos por IMPASIVHAUS.
 - CASO 5. Modelo con máximas exigencias disponibles.

2. Definición del conjunto de soluciones técnicas de envolvente térmica del modelo por cada caso a nivel de especificaciones resumidas (fundaciones, muros, techumbre, piso, etc). A partir de la estimación del precio unitario de cada uno de los ítems constructivos, se efectúa el cálculo del Costo Inicial de la solución constructiva referida a cada estándar a evaluar, utilizando valores en UF. Para facilitar este cálculo, es posible filtrar las soluciones técnicas comunes y omitir los ítems comunes a todos los casos, para observar solo los ítems relacionados con el mejoramiento térmico, hermeticidad y calidad de puertas y ventanas.
3. Obtención de los Costos de Operación por concepto de ahorro de calefacción, la cual se estima en base a consumo de Gas Natural Ciudad, a partir de los valores de demanda energética de calefacción obtenidos para cada caso evaluado en el capítulo 5.
4. Se omitirá la evaluación y obtención de costos de mantención y o reemplazo, ya que la investigación se centra en evidenciar las prestaciones térmicas y no las ventajas entre revestimientos y terminaciones finales. No se considera además costos de reemplazo o mantenimiento de ventanas, al tratarse de gastos comunes y de similar costo a cada caso.

Por otra parte, para efectuar el análisis, es necesario plantear los siguientes criterios y supuestos:

1. Para efectos del análisis de rentabilidad social, se considera el costo del m³ de Gas Natural Ciudad en Punta Arenas sin subsidio, de acuerdo a una boleta de gas residencial típica. Lo anterior, dado a que el análisis se enfocará en identificar la conveniencia que tendría para el Estado de Chile la exigencia de estándares mínimos óptimos de transmitancia térmica.
2. En consecuencia, con el punto anterior, se obtuvo un costo de gas con subsidio de \$87,34 y un costo de gas sin subsidio de \$206,96, ambos casos calculados para el mes de julio de 2018.
3. Para efectos del presente cálculo de ACCV, se considerará como ciclo de vida solo al período de operación relacionado a una vida útil de la vivienda estimada en 20 años, sin contar el período de reutilización y/o demolición de la vivienda.
4. Al tratarse de un análisis para evaluar la rentabilidad social, se considera una tasa de descuento del 6%, y una tasa de escalamiento del 7%, esta última relacionada a la evolución prevista para el precio del gas en los próximos años.

5. Se considera el valor de la UF al día 10 de agosto de 2018, equivalente a \$27.213,87.-

Para conducir esta etapa de la investigación, se plantean las siguientes interrogantes, las cuales deberán ser contestadas según los resultados obtenidos:

1. ¿Cuánto dinero invierte el Estado de Chile en el subsidio al gas?

Para responder a esta interrogante, es necesario calcular el costo del gas natural para el Caso Base, tanto en condiciones “con subsidio” como en condición “sin subsidio”. Al respecto, la inversión del Estado no es menor, ya que financia casi el 58% del costo de producción y suministro de gas que tiene para las empresas del Estado. De todas formas, al no existir el subsidio al gas en Magallanes, el valor del m³ seguiría siendo más bajo que en el resto del país, donde se depende de las importaciones de gas extranjero.

2. ¿Es el subsidio al gas en Magallanes una inversión del Estado de Chile o es un gasto?

Para responder a esta interrogante, más bien compleja, se deben considerar los beneficios y motivaciones que tiene para el Estado la existencia de este subsidio. En primer lugar, la condición de zona extrema ha influenciado en la permanencia de este subsidio, pese a las diferencias que el mismo estado hace en sectores de la región donde no existen recursos energéticos accesibles, dejando a estas comunas en condición de pobreza energética. En segundo lugar, el bajo crecimiento demográfico que ha demostrado la región, implica la necesidad de proteger los beneficios sociales y económicos de la comunidad para evitar la migración hacia otras zonas del país. Sin embargo, esta importante inversión del Estado, pudiese tener una mayor rentabilidad social si en forma simultánea se disminuyera el consumo de gas natural, considerando que es un recurso limitado y excesivamente explotado.

3. ¿Cuánto ahorraría el Estado de Chile a mayor aislante térmico en Magallanes?

Nos parece que esta interrogante deberá ser contestada en el desarrollo de la investigación. Sin embargo, y como valor de referencia, se ha podido obtener que, para el Caso Base, es decir, para una vivienda de 49m² que cumple con la reglamentación térmica vigente, el Estado de Chile invierte un total de 279,07 UF en veinte años, valor que viene a establecer una meta de ahorro para efectos del Cálculo de los Costos de Ciclo de Vida de cada caso a evaluar.

6.2.1 Cálculo de los Costos Iniciales

Para la provisión de la información referida a los Costos Iniciales a ser evaluados en el ACCV, fue necesario efectuar una investigación complementaria referida a la obtención de costos de construcción según partidas, para lo cual se recurrió a expedientes de ofertas de empresas constructoras regionales, así como al análisis de precios unitarios del manual ONDAC, incluyendo en cada partida el costo de los materiales así como de la mano de obra y las herramientas y maquinarias necesarias para su ejecución. Según lo anterior, se pudo cuantificar cada una de las soluciones constructivas para fundaciones, piso, muros, techumbre, ventanas y puertas, así como una estimación de costos en la obtención de diferentes niveles de hermeticidad de la edificación.

A continuación, se indican los cuadros de detalles de costos de los casos analizados:

1. Caso Base – RT según OGUC: costo total en UF: 236,57 UF. Costo por m2: 4,83 UF.

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS	CASO BASE				CONSIDERACIONES
	OGUC				
ITEM	MATERIAL	UN	CANT	P.UNIT	P.TOT
1 Fundaciones					
1.2 Aislamiento fundaciones	No considera	ML	60	0	0
1.3 Terminación fundaciones	No considera	ML	60	0	0
				0	
2 Piso					
2.2 Aislamiento piso	No considera	M2	49	0	0
2.3 Terminación piso	Piso flot+espuma	M2	49	20.000	980.000
				980.000	
3 Muros					
3.1 Estructura muros	Metalcon 60mm	M2	58	30.000	1.740.000
3.2 Aislamiento muros	Lana min 60mm	M2	58	10.000	580.000
3.3 Terminación ext	Vinyl siding/OSB	M2	58	10.000	580.000
3.4 Terminación int	Volcan/Emp+pint	M2	58	10.000	580.000
				3.480.000	
4 Techumbre					
4.2 Aislamiento techumbre	Lana min 160mm	M2	49	20.000	980.000
				980.000	
5 Ventanas					
5.1 Estructura ventanas	Perfil aluminio	ML	37	8.000	296.000
5.2 Cristales	Vidrio simple 4mm	M2	9	70.000	630.000
5.3 Sellos ventanas	No considera	ML	30	0	0
				926.000	
6 Puertas					
6.1 Hoja de puertas	Madera 35mm	M2	2,4	30.000	72.000
6.2 Aislamiento puertas	No considera	M2	2,4	0	0
6.3 Sellos puertas	No considera	ML	12	0	0
				72.000	
7 Infiltraciones					
7.1 Sellos entre planos	No considera	ML	150	0	0
7.2 Sello a instalaciones	No considera	ML	150	0	0
				0	
TOTAL					6.438.000
DIFERENCIA					0

CONSIDERACIONES
Para obra nueva
 1. Fundaciones:
 U=3,5. No considera aislación térmica.
 2. Piso
 U=2,103, radier/piso flotante no considera aislación térmica.
 3. Muros:
 Para U=0,60 es suficiente espesor de perfil soportante 60mm (perfil Metalcon C60 o pieza Madera 3") para relleno de lana mineral mismo espesor
 4. Techumbre
 U=0,250, yesocartón/lana mineral 160mm/ acero
 5. Ventanas
 U=5,80 vidrio monolítico 4mm
 6. Puertas
 U=2,85 tablerada madera 35mm
 7. Infiltraciones
 No considera sellos

Tabla 26: Cálculo de Costos Iniciales para el Caso Base (elaboración propia)

2. Caso 1 – Nueva RT según NTM-11: costo total en UF: 391,67 UF. Costo por m2: 7,99 UF.

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS		CASO 1		
		NTM-11		
ITEM	MATERIAL	P.UNIT	P.TOT	
1	Fundaciones			
1.2	Aislamiento fundaciones	EIFS 30mm	12.000	720.000
1.3	Terminación fundaciones	Pintura	3.000	180.000
			900.000	
2	Piso			
2.2	Aislamiento piso	EPS/EIFS 30mm	12.000	588.000
2.3	Terminación piso	Piso flot+espuma	20.000	980.000
			1.568.000	
3	Muros			
3.1	Estructura muros	Metalcon 90mm	35.000	2.030.000
3.2	Aislamiento muros	Lana min 90mm	12.000	696.000
3.3	Terminación ext	Vynil siding/OSB	10.000	580.000
3.4	Terminación int	Volcan/Emp+pint	10.000	580.000
			3.886.000	
4	Techumbre			
4.2	Aislamiento techumbre	Lana min 160mm	20.000	980.000
			980.000	
5	Ventanas			
5.1	Estructura ventanas	Perfil PVC	8.000	296.000
5.2	Cristales	DVH 6Le+12+6	140.000	1.260.000
5.3	Sellos ventanas	Sello TESA	10.000	300.000
			1.856.000	
6	Puertas			
6.1	Hoja de puertas	Mad/EPS/Mad	90.000	216.000
6.2	Aislamiento puertas	EPS 10mm	12.000	28.800
6.3	Sellos puertas	Sello/burlete TESA	2.000	24.000
			268.800	
7	Infiltraciones			
7.1	Sellos entre planos	Cinta 3M	4.000	600.000
7.2	Sello a instalaciones	Espuma poliuret	4.000	600.000
			1.200.000	
	TOTAL			10.658.800
	DIFERENCIA			4.220.800

CONSIDERACIONES	
Para obra nueva	
1. Fundaciones:	
Para U=1,100 incorporar EPS cara exterior	
espesor 30mm hasta 15cm bajo suelo	
2. Piso	
Para U=1,100 incorporar aislación térmica.	
espesor 30mm bajo o sobre radier	
3. Muros:	
Para U=0,350 se debe aumentar espesor	
a 90mm (perfil C90 o pieza Madera 4")	
para relleno lana mineral mismo espesor	
4. Techumbre	
Se mantiene STD OGUC	
5. Ventanas	
U=0,240 DVH 6/12/4	
6. Puertas	
U=1,70 tablerada madera/EPS/madera	
7. Infiltraciones	
Sellos requeridos para 4 renov/aire hora	

Tabla 27: Cálculo de Costos Iniciales para el Caso 1 (elaboración propia)

3. Caso 2 – British Columbia Building Code: costo total UF: 474,57 UF. Costo por m2: 9,69 UF.

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS		CASO 2		
		BCBC		
ITEM	MATERIAL	P.UNIT	P.TOT	
1	Fundaciones			
1.2	Aislamiento fundaciones	EIFS 30mm	12.000	720.000
1.3	Terminación fundaciones	Pintura	3.000	180.000
			900.000	
2	Piso			
2.2	Aislamiento piso	SIP 75mm	30.000	1.470.000
2.3	Terminación piso	Piso flot+espuma	20.000	980.000
			2.450.000	
3	Muros			
3.1	Estructura muros	Metalcon 90mm	35.000	2.030.000
3.2	Aislamiento muros	Lana min 90mm	12.000	696.000
3.3	Terminación ext	Vynil siding/OSB	10.000	580.000
3.4	Terminación int	Volcan/Emp+pint	10.000	580.000
			3.886.000	

CONSIDERACIONES	
Para obra nueva	
1. Fundaciones:	
Para U=0,431 incorporar espesor EPS	
cara exterior espesor 30mm hasta 15cm	
2. Piso	
Para U=0,431 incorporar EPS 75mm	
sobre radier y bajo piso flotante (tot 83mm)	
3. Muros:	
Para U=0,359 se debe aumentar espesor	
a 90mm (perfil C90 o pieza Madera 4")	
para relleno lana mineral mismo espesor	
4. Techumbre	
Para U=0,214 incorporar lana mineral	
espesor 20mm	
5. Ventanas	
U=1,800 DVH 6/12/4 Low e	
6. Puertas	
U=2,40 tablerada madera 47mm	
7. Infiltraciones	
Sellos requeridos para 3 renov/aire hora	

Tabla 28: Cálculo de Costos Iniciales para el Caso 2 (parte 1) (elaboración propia)

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS	CASO 2		
	BCBC		
4 Techumbre			
4.2 Aislamiento techumbre	Lana min 180mm	25.000	1.225.000
		1.225.000	
5 Ventanas			
5.1 Estructura ventanas	Perfil PVC	8.000	296.000
5.2 Cristales	TVH 6+8+4+8+4	210.000	1.890.000
5.3 Sellos ventanas	Sello TESA	10.000	300.000
		2.486.000	
6 Puertas			
6.1 Hoja de puertas	Madera 55mm	60.000	144.000
6.2 Aislamiento puertas	No considera	0	0
6.3 Sellos puertas	Sello/burlete TESA	2.000	24.000
		168.000	
7 Infiltraciones			
7.1 Sellos entre planos	Cinta 3M	6.000	900.000
7.2 Sello a instalaciones	Espuma poliuret	6.000	900.000
		1.800.000	
TOTAL			12.915.000
DIFERENCIA			6.477.000

CONSIDERACIONES
Para obra nueva
1. Fundaciones:
Para U=0,431 incorporar espesor EPS cara exterior espesor 30mm hasta 15cm
2. Piso
Para U=0,431 incorporar EPS 75mm sobre radier y bajo piso flotante (tot 83mm)
3. Muros:
Para U=0,359 se debe aumentar espesor a 90mm (perfil C90 o pieza Madera 4") para relleno lana mineral mismo espesor
4. Techumbre
Para U=0,214 incorporar lana mineral espesor 20mm
5. Ventanas
U=1,800 DVH 6/12/4 Low e
6. Puertas
U=2,40 tablerada madera 47mm
7. Infiltraciones
Sellos requeridos para 3 renov/aire hora

Tabla 29: Cálculo de Costos Iniciales para el Caso 2 (parte 2) (elaboración propia)

4. Caso 3 – STD CERE – UMAG: costo total en UF: 564,59 UF. Costo por m2: 11,52 UF.

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS	CASO 3		
	CERE-UMAG		
ITEM	MATERIAL	P.UNIT	P.TOT
1 Fundaciones			
1.2 Aislamiento fundaciones	EIFS 30mm	12.000	720.000
1.3 Terminación fundaciones	Pintura	3.000	180.000
		900.000	
2 Piso			
2.2 Aislamiento piso	SIP 210mm	60.000	2.940.000
2.3 Terminación piso	Piso flot+espuma	20.000	980.000
		3.920.000	
3 Muros			
3.1 Estructura muros	SIP 210mm	60.000	3.480.000
3.2 Aislamiento muros	EPS 188mm		0
3.3 Terminación ext	Vynil siding/OSB	10.000	580.000
3.4 Terminación int	Volcan/Emp+pint	10.000	580.000
		4.640.000	
4 Techumbre			
4.2 Aislamiento techumbre	SIP 210mm	60.000	2.940.000
		2.940.000	
5 Ventanas			
5.1 Estructura ventanas	Perfil PVC	8.000	296.000
5.2 Cristales	DVH 4+8+4	100.000	900.000
5.3 Sellos ventanas	Sello TESA	10.000	300.000
		1.496.000	
6 Puertas			
6.1 Hoja de puertas	Mad/EPS/Mad	90.000	216.000
6.2 Aislamiento puertas	EPS 10mm	12.000	28.800
6.3 Sellos puertas	Sello/burlete TESA	2.000	24.000
		268.800	
7 Infiltraciones			
7.1 Sellos entre planos	Cinta 3M	4.000	600.000
7.2 Sello a instalaciones	Espuma poliuret	4.000	600.000
		1.200.000	
TOTAL			15.364.800
DIFERENCIA			8.926.800

CONSIDERACIONES
Para obra nueva
1. Fundaciones:
Para U=1,100 incorporar EPS cara exterior espesor 30mm hasta 15cm bajo suelo
2. Piso
Para U=0,200 incorporar panel SIP 11/188/11 sobre radier y bajo piso flotante (tot 83mm)
3. Muros:
Para U=0,200 se debe aumentar espesor a 90mm (perfil C90 o pieza Madera 4") e incorporar nueva estructura mismo espesor (total 180mm) o panel exterior 50mm y panel interior 50mm (isopol/poligyp)
4. Techumbre
Para U=0,200 incorporar lana mineral espesor 30mm
5. Ventanas
U=3,000 DVH 4/8/4
6. Puertas
U=1,70 tablerada madera/EPS/madera
7. Infiltraciones
Sellos requeridos para 4 renov/aire hora

Tabla 30: Cálculo de Costos Iniciales para el Caso 3 (elaboración propia)

5. Caso 4 – IMPASIVHAUS: costo total en UF: 720,76 UF. Costo por m2: 14,71 UF.

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS		CASO 4		
		IMPASIVHAUS		
ITEM	MATERIAL	P.UNIT	P.TOT	
1	Fundaciones			
1.2	Aislamiento fundaciones	EIFS 75mm	30.000	1.800.000
1.3	Terminación fundaciones	Pintura	3.000	180.000
			1.980.000	
2	Piso			
2.2	Aislamiento piso	EPS 75mm	30.000	1.470.000
2.3	Terminación piso	Piso flot+espuma	20.000	980.000
			2.450.000	
3	Muros			
3.1	Estructura muros	SIP 210mm	60.000	3.480.000
3.2	Aislamiento muros	EPS 188mm		0
3.3	Terminación ext	Vynil siding/OSB	10.000	580.000
3.4	Terminación int	Volcan/Emp+pint	10.000	580.000
			4.640.000	
4	Techumbre			
4.2	Aislamiento techumbre	SIP 337mm	110.000	5.390.000
			5.390.000	
5	Ventanas			
5.1	Estructura ventanas	Perfil PVC	8.000	296.000
5.2	Cristales	TVH 6Le+12+6	210.000	1.890.000
5.3	Sellos ventanas	Sello TESA	10.000	300.000
			2.486.000	
6	Puertas			
6.1	Hoja de puertas	Mad/EPS/Mad	90.000	216.000
6.2	Aislamiento puertas	EPS 10mm	12.000	28.800
6.3	Sellos puertas	Sello/burlete TESA	2.000	24.000
			268.800	
7	Infiltraciones			
7.1	Sellos entre planos	Cinta 3M	8.000	1.200.000
7.2	Sello a instalaciones	Espuma poliuret	8.000	1.200.000
			2.400.000	
	TOTAL			19.614.800
	DIFERENCIA			8.956.000

CONSIDERACIONES	
Para obra nueva	
1. Fundaciones:	
Para U=0,431 incorporar espesor EPS cara exterior espesor 30mm hasta 15cm	
2. Piso	
Para U=0,431 incorporar EPS 75mm sobre radier y bajo piso flotante (tot 83mm)	
3. Muros:	
Para U=0,200 se debe aumentar espesor a 90mm (perfil C90 o pieza Madera 4") e incorporar nueva estructura mismo espesor (total 180mm) o panel exterior 50mm y panel interior 50mm (isopol/poligyp)	
4. Techumbre	
Para U=0,121 incorporar panel SIP 337mm espesores OSB 11/EPS 301/OSB 11	
5. Ventanas	
U=1,800 DVH 6/12/4 Low e	
6. Puertas	
U=1,70 tablerada madera/EPS/madera	
7. Infiltraciones	
Sellos requeridos para 1,52 renov/aire hora	

Tabla 31: Cálculo de Costos Iniciales para el Caso 4 (elaboración propia)

6. Caso 5 – STD MAXIMA EXIGENCIA: costo total en UF: 774,78 UF. Costo por m2: 15,81 UF.

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS		CASO 5		
		MAXIMA EXIGENCIA		
ITEM	MATERIAL	P.UNIT	P.TOT	
1	Fundaciones			
1.2	Aislamiento fundaciones	EPS 75mm	30.000	1.800.000
1.3	Terminación fundaciones	Pintura	3.000	180.000
			1.980.000	
2	Piso			
2.2	Aislamiento piso	SIP 210mm	60.000	2.940.000
2.3	Terminación piso	Piso flot+espuma	20.000	980.000
			3.920.000	
3	Muros			
3.1	Estructura muros	SIP 210mm	60.000	3.480.000
3.2	Aislamiento muros	EPS 188mm		0
3.3	Terminación ext	Vynil siding/OSB	10.000	580.000
3.4	Terminación int	Volcan/Emp+pint	10.000	580.000
			4.640.000	

Tabla 32: Cálculo de Costos Iniciales para el Caso 5 (parte 1) (elaboración propia)

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS		CASO 5		
		MAXIMA EXIGENCIA		
4	Techumbre			
4.2	Aislamiento techumbre	SIP 337mm	110.000	5.390.000
			5.390.000	
5	Ventanas			
5.1	Estructura ventanas	Perfil PVC	8.000	296.000
5.2	Cristales	TVH 6Le+12+6	210.000	1.890.000
5.3	Sellos ventanas	Sello TESA	10.000	300.000
			2.486.000	
6	Puertas			
6.1	Hoja de puertas	Mad/EPS/Mad	90.000	216.000
6.2	Aislamiento puertas	EPS 10mm	12.000	28.800
6.3	Sellos puertas	Sello/burlete TESA	2.000	24.000
			268.800	
7	Infiltraciones			
7.1	Sellos entre planos	Cinta 3M	8.000	1.200.000
7.2	Sello a instalaciones	Espuma poliuret	8.000	1.200.000
			2.400.000	
	TOTAL			21.084.800
	DIFERENCIA			8.169.800

CONSIDERACIONES	
Para obra nueva	
1. Fundaciones:	
Para U=0,431 incorporar espesor EPS cara exterior espesor 30mm hasta 15cm	
2. Piso	
Para U=0,200 incorporar panel SIP 11/188/11 sobre radier y bajo piso flotante (tot 83mm)	
3. Muros:	
Para U=0,200 se debe aumentar espesor a 90mm (perfil C90 o pieza Madera 4") e incorporar nueva estructura mismo espesor (total 180mm) o panel exterior 50mm y panel interior 50mm (isopol/poligyp)	
4. Techumbre	
Para U=0,121 incorporar panel SIP 337mm espesores OSB 11/EPS 301/OSB 11	
5. Ventanas	
U=1,800 DVH 6/12/4 Low e	
6. Puertas	
U=1,70 tablerada madera/EPS/madera	
7. Infiltraciones	
Sellos requeridos para 1,52 renov/aire hora	

Tabla 33: Cálculo de Costos Iniciales para el Caso 5 (parte 2) (elaboración propia)

6.2.2 Cálculo de los Costos Operacionales

Para obtención de los Costos Operacionales, solo se consideraron los referidos a ahorros de energía en términos de la demanda de calefacción indicada en el capítulo 5. A partir de las demandas de calefacción, fueron calculados los consumos en m3 de gas sin subsidio (\$206,96), para obtener los ahorros de gas en UF (ver tabla 34).

Parámetro	CASO 1	CASO 2	CASO 3	CASO 4	CASO 5
	NTM-11	BCBC	CERE-UMAG	IMPASIVHAUS	MAXIMA EXIGENCIA
Ahorro de gas en UF	335,10	402,54	424,56	425,43	438,70

Tabla 34: Cálculo de Costos Operacionales por ahorro de gas natural según casos propuestos (elaboración propia)

Una vez obtenidos los Costos Iniciales, así como los Costos Operacionales, es posible proceder al Análisis de Ciclo de Vida de los estándares propuestos, lo que se efectuará en el punto siguiente.

6.2.3 Cálculo de los Costos de Ciclo de Vida

- **Caso 1: estándares de la Nueva Reglamentación Térmica (NTM – 11)**

Tasa de descuento	6%					CASO BASE			CASO 1			
Periodo estudio	20 años					RT SEGÚN OGUC			NUEVA RT NTM-11			
Inversión inicial	Elemento	Tipo de aislación	Espesor mm	Tipo de aislación	Espesor mm	Costo UF/m ²	Costo estimado UF	Valor presente UF	Costo UF/m ²	Costo estimado UF	Valor presente UF	
	Fundaciones	-	-	EIFS	60	4,83	236,57	236,57	7,99	391,67	391,67	
	Pisos	-	-	XPS	30							
	Muros	L.V	60	L.V	90							
	Techo	L.V	160	L.V	160							
	Ventanas	-	V. Simple	Pvc	DVH							
	Puertas	-	P. Simple	XPS	P.+XPS							
Infiltraciones	-	-	-	4 renov/aire								
TOTAL COSTOS INICIALES Y COLATERALES						236,57			391,67			
DIFERENCIA COSTOS DE INVERSIÓN(Mejorado-Base)									155,10			
Costos de Operación	Instalaciones	Tipo de energía	Tasa de escalamiento	Coste UF/kWh	UF/m ²	UF/año	UF/20años	UF/m ²	UF/año	UF/20años		
	Calefacción	Gas natural	7,00%	0,00072	0,45	21,84	482,84	0,14	6,68	147,74		
TOTAL COSTOS ANUALES CONSUMO ENERGÉTICO						21,84		482,84		147,74		
DIFERENCIA COSTOS CONSUMO ENERGÉTICO (Caso Base v/s Caso Mejorado)								15,15847838		335,1		
LCCA	COSTOS DE CICLO DE VIDA (LCCA)								719,41		539,41	
	Diferencia LCCA (Mejorado-Base)										-180,000543	
	Variación LCCA (Mejorado-Base)										-25,02%	
	Payback (Años)										10 años, 2 meses	

Tabla 35: ACCV Caso 1 (elaboración propia)

- **Caso 2: estándares del British Columbia Building Code, Canadá (BCBC)**

Tasa de descuento	6%					CASO BASE			CASO 2			
Periodo estudio	20 años					RT SEGÚN OGUC			BRITISH COLUMBIA BUILDING CODE			
Inversión inicial	Elemento	Tipo de aislación	Espesor mm	Tipo de aislación	Espesor mm	Costo UF/m ²	Costo estimado UF	Valor presente UF	Costo UF/m ²	Costo estimado UF	Valor presente UF	
	Fundaciones	-	-	EIFS	75	4,83	236,57	236,57	9,69	474,57	474,57	
	Pisos	-	-	XPS	75							
	Muros	L.V	60	L.V	90							
	Techo	L.V	160	L.V	180							
	Ventanas	-	V. Simple	Pvc	TVH							
	Puertas	-	P. Simple	-	P. Simple							
Infiltraciones	-	-	-	3 renov/aire								
TOTAL COSTOS INICIALES Y COLATERALES						236,57			474,57			
DIFERENCIA COSTOS DE INVERSIÓN(Mejorado-Base)									238,00			
Costos de Operación	Instalaciones	Tipo de energía	Tasa de escalamiento	Coste UF/kWh	UF/m ²	UF/año	UF/20años	UF/m ²	UF/año	UF/20años		
	Calefacción	Gas natural	7,00%	0,00072	0,45	21,85	482,84	0,07	3,63	80,30		
TOTAL COSTOS ANUALES CONSUMO ENERGÉTICO						21,85		482,84		80,30		
DIFERENCIA COSTOS CONSUMO ENERGÉTICO (Caso Base v/s Caso Mejorado)								18,21391849		402,54		
LCCA	COSTOS DE CICLO DE VIDA (LCCA)								719,41		554,87	
	Diferencia LCCA (Mejorado-Base)										-164,540543	
	Variación LCCA (Mejorado-Base)										-22,87%	
	Payback (Años)										13 años, 1 mes	

Tabla 36: ACCV Caso 2 (elaboración propia)

- **Caso 3: estándares propuestos por CERÉ-UMAG (Proyecto INNOVA – CORFO)**

Tasa de descuento	6%					CASO BASE			CASO 3		
Periodo estudio	20 años					RT SEGÚN OGUC			ESTANDAR CERÉ-UMAG		
Inversión inicial	Elemento	Tipo de aislación	Esesor mm	Tipo de aislación	Esesor mm	Costo UF/m ²	Costo estimado UF	Valor presente UF	Costo UF/m ²	Costo estimado UF	Valor presente UF
	Fundaciones	-	-	EIFS	30	4,83	236,57	236,57	11,52	564,59	564,59
	Pisos	-	-	SIP	210						
	Muros	L.V	60	SIP	210						
	Techo	L.V	160	SIP	210						
	Ventanas	-	V. Simple	Pvc	DVH						
	Puertas	-	P. Simple	XPS	P.+XPS						
	Infiltraciones	-	-	-	4 renov/aire						
TOTAL COSTOS INICIALES Y COLATERALES											
DIFERENCIA COSTOS DE INVERSIÓN(Mejorado-Base)									328,02		
Costos de Operación	Instalaciones	Tipo de energía	Tasa de escalamiento	Coste UF/kWh	UF/m ²	UF/año	UF/20años	UF/m ²	UF/año	UF/20años	
	Calefacción	Gas natural	7,00%	0,00072	0,45	21,85	482,84	0,05	2,64	58,28	
TOTAL COSTOS ANUALES CONSUMO ENERGÉTICO						21,85		482,84	2,64		58,28
DIFERENCIA COSTOS CONSUMO ENERGÉTICO (Caso Base v/s Caso Mejorado)									19,2110534		424,56
LCCA	COSTOS DE CICLO DE VIDA (LCCA)								719,41		622,87
	Diferencia LCCA (Mejorado-Base)										-96,5405429
	Variación LCCA (Mejorado-Base)										-13,42%
	Payback (Años)										17 años, 1 mes

Tabla 37: ACCV Caso 3 (elaboración propia)

- **Caso 4: estándares inmobiliaria IMPASIVHAUS (Punta Arenas)**

Tasa de descuento	6%					CASO BASE			CASO 4		
Periodo estudio	20 años					RT SEGÚN OGUC			ESTANDAR IMPASIVHAUS		
Inversión inicial	Elemento	Tipo de aislación	Esesor mm	Tipo de aislación	Esesor mm	Costo UF/m ²	Costo estimado UF	Valor presente UF	Costo UF/m ²	Costo estimado UF	Valor presente UF
	Fundaciones	-	-	EIFS	75	4,83	236,57	236,57	14,71	720,76	720,76
	Pisos	-	-	XPS	75						
	Muros	L.V	60	SIP	210						
	Techo	L.V	160	SIP	337						
	Ventanas	-	V. Simple	Pvc	TVH						
	Puertas	-	P. Simple	XPS	P.+XPS						
	Infiltraciones	-	-	-	1,5 renov/aire						
TOTAL COSTOS INICIALES Y COLATERALES											
DIFERENCIA COSTOS DE INVERSIÓN(Mejorado-Base)									484,19		
Costos de Operación	Instalaciones	Tipo de energía	Tasa de escalamiento	Coste UF/kWh	UF/m ²	UF/año	UF/20años	UF/m ²	UF/año	UF/20años	
	Calefacción	Gas natural	7,00%	0,00072	0,45	21,85	482,84	0,05	2,60	57,41	
TOTAL COSTOS ANUALES CONSUMO ENERGÉTICO						21,85		482,84	2,60		57,41
DIFERENCIA COSTOS CONSUMO ENERGÉTICO (Caso Base v/s Caso Mejorado)									19,2502948		425,43
LCCA	COSTOS DE CICLO DE VIDA (LCCA)								719,41		778,17
	Diferencia LCCA (Mejorado-Base)										58,7594571
	Variación LCCA (Mejorado-Base)										8,16%
	Payback (Años)										25 años, 2 meses

Tabla 38: ACCV Caso 4 (elaboración propia)

- **Caso 5: máxima exigencia disponible (seleccionado de mejores estándares anteriores)**

Tasa de descuento	6%					CASO BASE			CASO 5			
Periodo estudio	20 años					RT SEGÚN OGUC			ESTANDARES MAXIMA EXIGENCIA DISPONIBLE			
Inversión inicial	Elemento	Tipo de aislación	Espesor mm	Tipo de aislación	Espesor mm	Costo UF/m ²	Costo estimado UF	Valor presente UF	Costo UF/m ²	Costo estimado UF	Valor presente UF	
	Fundaciones	-	-	EIFS	75	4,83	236,57	236,57	15,81	774,78	774,78	
	Pisos	-	-	SIP	210							
	Muros	L.V	60	SIP	210							
	Techo	L.V	160	SIP	337							
	Ventanas	-	V. Simple	Pvc	TVH							
	Puertas	-	P. Simple	XPS	P.+ XPS							
	Infiltraciones	-	-	-	1,5 renov/aire							
TOTAL COSTOS INICIALES Y COLATERALES												236,57
DIFERENCIA COSTOS DE INVERSIÓN(Mejorado-Base)									538,21			
Costos de Operación	Instalaciones	Tipo de energía	Tasa de escalamiento	Coste UF/kWh	UF/m ²	UF/año	UF/20años	UF/m ²	UF/año	UF/20años		
	Calefacción	Gas natural	7,00%	0,00072	0,45	21,85	482,84	0,04	2,00	44,14		
TOTAL COSTOS ANUALES CONSUMO ENERGÉTICO						21,85	482,84		2,00	44,14		
DIFERENCIA COSTOS CONSUMO ENERGÉTICO (Caso Base v/s Caso Mejorado)									19,8506291	438,7		
LCCA	COSTOS DE CICLO DE VIDA (LCCA)						719,41			818,92		
	Diferencia LCCA (Mejorado-Base)									99,5094571		
	Variación LCCA (Mejorado-Base)									13,83%		
	Payback (Años)									27 años, 2 meses		

Tabla 39: ACCV Caso 5 (elaboración propia)

6.3 Evaluación y comparación de resultados del Análisis de Costos de Ciclo de Vida

Al efectuar una evaluación comparativa de los diferentes resultados, es posible identificar los estándares que más se acercan a la obtención de valores mínimos óptimos de transmitancia térmica para envolventes de vivienda en Punta Arenas, generando una rentabilidad social satisfactoria, tal como se puede desprender de los datos resumidos en la tabla 40 siguiente.

Caso	Estándar	Dcal	Ahorro de la demanda	Costos Iniciales	Ahorro Costos de Operación	Costo Ciclo de Vida	Diferencia LCCA - C.Base	Variación LCCA - C.Base	Retorno de la inversión
		kWh/m2/año	%	UF	UF	UF	UF	UF	años
CASO BASE	RT-OGUC	693,42	-	236,57	0,00	236,57	-	-	-
CASO 1	NTM-11	218,47	68,49	391,67	-335,10	56,57	-180,00	-25,02%	10
CASO 2	BCBC	118,75	82,87	474,57	-402,54	72,03	-164,54	-22,87%	13
CASO 3	CERE-UMAG	86,18	87,57	564,59	-424,56	140,03	-96,54	-13,42%	17
CASO 4	IMPASIVHAUS	84,90	87,76	720,76	-425,43	295,33	58,76	8,16%	25
CASO 5	MAX. EXIGENCIA	65,27	90,59	774,78	-438,70	336,08	99,51	13,83%	27

Tabla 40: Cuadro comparativo de ACCV para los casos estudiados (elaboración propia). La línea roja representa la cercanía al Caso mínimo óptimo

Según los resultados indicados en el cuadro anterior, se puede apreciar que la diferencia entre el Costo de Ciclo de Vida del Caso Base versus cada uno de los estándares evaluados, posee valores negativos para los Casos 1, 2 y 3, lo que refleja una alta rentabilidad económica de las mejoras, con períodos de retorno de la inversión que van desde los 10 a los 17 años. Sin embargo, a partir del Caso 4, las diferencias se hacen positivas y con períodos de retorno de la inversión que sobrepasan el ciclo de vida esperado, desde 25 años hasta 27 años, reflejando la menor rentabilidad social y económica de estos estándares. Este diagnóstico se relaciona, además, con el desempeño energético de las soluciones constructivas para cada estándar analizado en el capítulo 5, donde se logra constatar una disminución de las demandas desde un 68,49% para el Caso 1 y de 82,87% en el Caso 2, desde donde se estanca en un valor cercano al 86% para los Casos 3 y 4.

Según el cuadro graficado en la figura 38, es posible visualizar la evolución del desempeño de los costos de ciclo de vida de los casos analizados:

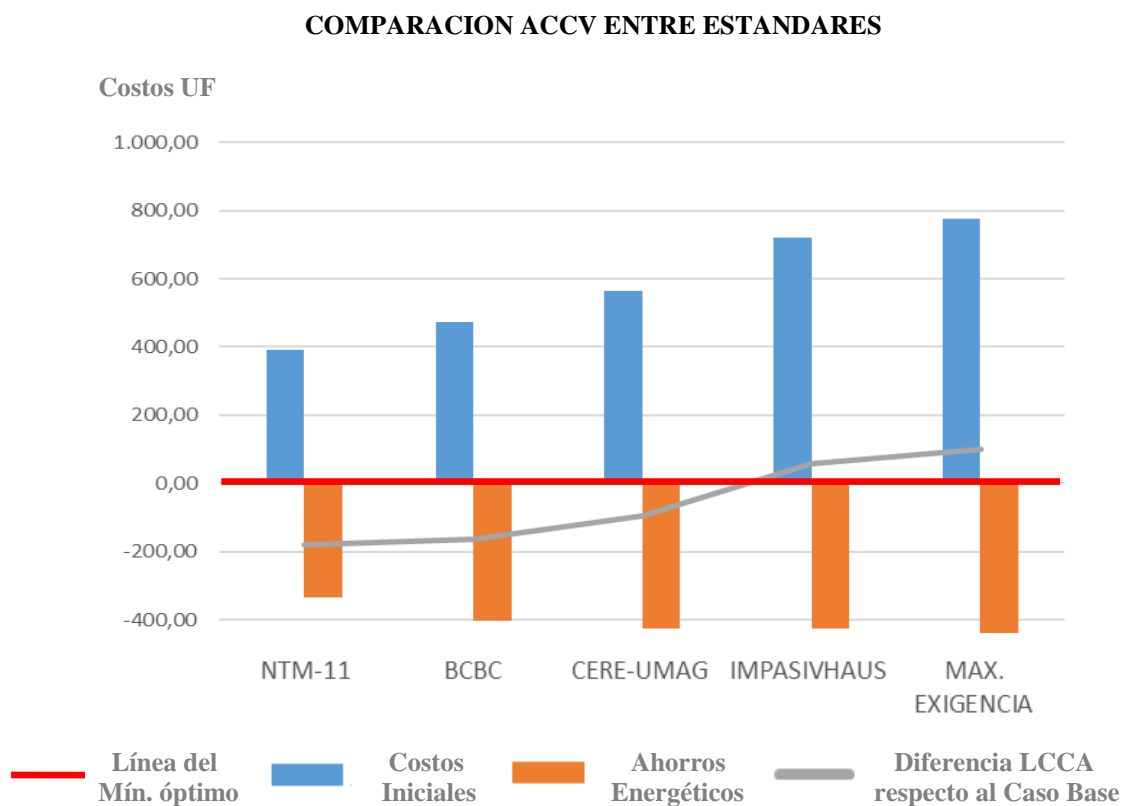


Figura 39: Comparación de rentabilidad social mediante ACCV para estándares propuestos (elaboración propia)

Según la gráfica anterior, es posible apreciar la variación de las diferencias de costos de ciclo de vida, las que parten desde el Caso 1 (NTM-11) con óptimos desempeños de relación costo – beneficio desde un diferencial negativo, donde el monto de los Costos Iniciales, situado bajo las UF, es contrarrestado eficientemente con los ahorros energéticos, cercanos a las 350 UF, para ir evolucionando en una suave pendiente que pasa por el Caso 2 y que presenta fuertes ahorros hasta el Caso 3. Es a partir de este caso, y antes de alcanzar al Caso 4, donde se produce el balance inverso y los costos de las mejoras se desacoplan de los ahorros energéticos para generar costos iniciales cercanos a las 800 UF (el doble del costo inicial del Caso 1) pero con ahorros que apenas superan las 400 UF en los Casos 3, 4 y 5. Por otra parte, la línea ascendente del diferencial de LCCV se cruza con la línea horizontal de balance 0 antes de alcanzar el estándar local IMPASIVHAUS.

A continuación, se detallan las conclusiones del análisis comparativo de ciclo de vida entre estándares evaluados:

1. La aplicación de la NTM-11 posee el Costo de Ciclo de Vida más bajo (56,57 UF), disminuyendo las demandas de calefacción un 68,49% en relación al Caso Base, y con un menor tiempo de retorno de la inversión (10 años), lo cual demuestra la alta conveniencia de su puesta en vigencia, así como la factibilidad de ser exigida en viviendas existentes.
2. La aplicación de la BCBC se supera los resultados de la NTM-11, demostrando una mayor eficiencia al presentar un costo total de ciclo de vida bajo en relación al 82,87% de ahorro energético, lo cual permite postular su exigencia incluso en viviendas existentes, ya que existe la capacidad técnica de cumplir con estos estándares. Lo anterior es relevante, ya que demuestra que la ciudad de Punta Arenas estaría en condiciones de cumplir con estándares internacionales de climas similares, tal como los exigidos en Victoria, Canadá.
3. La aplicación de los estándares propuestos por el CERE-UMAG se acercan de mejor manera a los valores mínimos óptimos planteados en la investigación, pero considerando obras de mayor envergadura que la hacen más exigible a edificaciones nuevas. Por esta razón, a partir de éste estándar se produce un punto de inflexión, desde donde comienza a aumentar drásticamente el costo del ciclo de vida, para superar el costo del Caso Base en el Caso 4 (estándar IMPASIVHAUS) y en el Caso 5 (máxima exigencia disponible). Lo anterior, se explica por el alto costo de las intervenciones versus el ahorro de las demandas de calefacción, las cuales siguen de cerca a los valores de ahorro del Caso 2

(BCBC) bordeando el 80%. Por lo mismo, el período de retorno de la inversión para el Caso 4 y 5, superan incluso el período de vida de 20 años (con 25 y 27 años cada uno).

4. De acuerdo al análisis, los estándares mínimos óptimos aplicables se ubicarían antes que el Costo de Ciclo de Vida llegue a ser equivalente al Valor Presente del Subsidio al gas aportado por el Estado, es decir, en un valor menor o igual a 279,07 UF. Por tanto, el estándar más cercano al mínimo óptimo, para la mejor rentabilidad social, puede ser superior al estándar propuesto por CERE – UMAG (140,04 UF), e inmediatamente inferior al estándar IMPASIVHAUS (295,34 UF), pero tratándose de exigencias para vivienda nueva.

A partir del análisis anterior, es factible entonces plantear un nuevo estándar, esta vez llegando a un Costo de Ciclo de Vida lo más cercano posible a las **279,07 UF**. Para estos efectos, se procedió a calibrar el estándar IMPASIVHAUS para aplicar la adecuación de los costos iniciales según una solución constructiva de mejor desempeño en las demandas de calefacción, seleccionando la variable de mayor costo, pero de menor incidencia en la demanda de calefacción.

6.4 Proposición de estándares mínimos óptimos para Reglamentación Térmica

Para la proposición de estándares mínimos óptimos, factibles de ser postulados en una Reglamentación Térmica local para viviendas nuevas en la ciudad de Punta Arenas, se efectuará un procedimiento simplificado, recogiendo la metodología desarrollada en la presente investigación:

1. Calibración de un estándar mínimo óptimo de transmitancia para envolvente térmica. Para estos efectos, se procederá a efectuar la calibración del Caso 3 (estándar CERE – UMAG), y del Caso 4 (estándar IMPASIVHAUS), con el objeto de seleccionar variables de la envolvente que tengan una incidencia importante en el costo, pero sin mayores aportes al desempeño energético. Al respecto, y tomando en cuenta las conclusiones del proyecto INNOVA CORFO, donde se identificaban que los elementos de mayor incidencia en las pérdidas de energía correspondían a piso (46%), infiltraciones (24%), muros (11%), ventanas (14,8%) y techo (4%), se ha optado por intervenir las siguientes exigencias:
 - a. Infiltraciones: se propone disminuir la exigencia del Caso 4 debido a la dificultad técnica de cumplir con 1,52 renov/aire hora a 50Pa, pero mejorando el valor propuesto por NTM-11 y CERE – UMAG para tomar el estándar canadiense de 3

renov/aire hora. Esta sola modificación para el Caso 4 implica aumentar la demanda de calefacción a 90,83 kWh/m2/año.

- b. Aislación en pisos: se propone mejorar la aislación de piso del Caso 4 (de 0,431 W/m2-K hasta 0,2 W/m2-K) y rebajar la aislación de fundaciones de un espesor de 75mm a 30mm. Con esta modificación, se obtiene una demanda de calefacción de 70,75 kWh/m2/año pero aumentando el costo de la solución en 5%.
- c. Características de ventanas: objeto bajar la inversión en ventanas y facilitar el acceso a una solución de mayor acceso a la comunidad, se propone bajar la calidad de ventanas del Caso 4 (de 1,8 W/m2-K hasta 3,0 W/m2-K). Esta modificación implica una demanda de calefacción a 76,94 kWh/m2/año, pero con un costo inferior en un 5% al costo inicial del Caso 4. (ver tabla 41).

RESULTADOS: CASO STD MINIMO OPTIMO			
ELEMENTO	DESCRIPCIÓN	VALOR CALCULADO	ESTÁNDAR PROPUESTO
Complejo Muros	Muro 3 (Fibrocemento 8mm/papel fieltro 1mm/OSB 11mm/EPS 180mm/OSB 11mm)	0,196 W/m2-K	0,196 W/m2-K
Muros bajo suelo (fundaciones)	Muro 3 (Fibrocemento 8mm/papel fieltro 1mm/OSB 11mm/EPS 180mm/OSB 11mm)	0,196 W/m2-K	0,196 W/m2-K
Complejo Techumbre	Techo 3 (acero 0,05mm+lana vidrio 120mm+lana vidrio 80mm+yeso cartón 10mm)	0,121 W/m2-K	0,121 W/m2-K
Muros semi-expuestos	Muro 3 (Fibrocemento 8mm/papel fieltro 1mm/OSB 11mm/EPS 180mm/OSB 11mm)	0,196 W/m2-K	0,200 W/m2-K
Cielos semi-expuestos	Cielo 3	0,121 W/m2-K	0,121 W/m2-K
Pisos semi-expuestos	Piso 3 (piso flotante 10mm+espuma 5mm+OSB 11mm +EPS 188mm+OSB 11mm)	0,250 W/m2-K	0,320 W/m2-K
Complejo Piso	Piso 3 (piso flotante 10mm+espuma 5mm+OSB 11mm +EPS 188mm+OSB 11mm)	0,196 W/m2-K	0,200 W/m2-K
Infiltraciones	Hermeticidad del proyecto	3 ac/h a 50pa	3 ac/h a 50pa
Ventanas	TVH 6mm/air 8mm/4mm/air 8mm/4mm	3,000 W/m2-K	3,000 W/m2-K
Puertas	Puerta con aislación térmica 50mm	1,677 W/m2-K	1,700 W/m2-K
Demanda calefacción kWh/m2/año	76,94	kWh/m2/year	kWh/m2/year

Tabla 41: Calibración de valores de transmitancia térmica y materialidad para un estándar mínimo óptimo (elaboración propia)

2. Análisis de Costos de Ciclo de Vida del estándar propuesto en relación al Caso Base. Para estos efectos, se logra identificar el valor del Costo Inicial de la alternativa, el cual llega a los \$18.894.00.- equivalentes a 716,35 UF (ver tabla 42). Por otra parte, se identifica el consumo de gas natural de la mejora, el cual permite un ahorro de 19,49 UF anuales. Según lo anterior, el Costo del Ciclo de Vida para este estándar, alcanza las 263,50 UF.

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS	CASO			
	MATERIAL	P.UNIT	P.TOT	
ITEM				
1 Fundaciones				
1.2 Aislamiento fundaciones	EIFS 50mm	20.000	1.200.000	Valor U = 0,431 W/m2-K
1.3 Terminación fundaciones	Pintura	3.000	180.000	
		1.380.000		
2 Piso				
2.2 Aislamiento piso	SIP 210mm	60.000	2.940.000	Valor U = 0,200 W/m2-K
2.3 Terminación piso	Piso flot+espuma	20.000	980.000	
		3.920.000		
3 Muros				
3.1 Estructura muros	SIP 210mm	60.000	3.480.000	Valor U = 0,200 W/m2-K
3.2 Aislamiento muros	EPS 188mm		0	
3.3 Terminación ext	Vynil siding/OSB	10.000	580.000	
3.4 Terminación int	Volcan/Emp+pint	10.000	580.000	
		4.640.000		
4 Techumbre				
4.2 Aislamiento techumbre	SIP 337mm	110.000	5.390.000	Valor U = 0,121 W/m2-K
		5.390.000		
5 Ventanas				
5.1 Estructura ventanas	Perfil PVC	8.000	296.000	Valor U = 0,300 W/m2-K
5.2 Cristales	TVH 6Le+12+6	100.000	900.000	
5.3 Sellos ventanas	Sello TESA	10.000	300.000	
		1.496.000		
6 Puertas				
6.1 Hoja de puertas	Mad/EPS/Mad	90.000	216.000	Valor U = 1,700 W/m2-K
6.2 Aislamiento puertas	EPS 10mm	12.000	28.800	
6.3 Sellos puertas	Sello/burlete TESA	2.000	24.000	
		268.800		
7 Infiltraciones				
7.1 Sellos entre planos	Cinta 3M	6.000	900.000	3 renov/aire hora a 50Pa
7.2 Sello a instalaciones	Espuma poliuret	6.000	900.000	
		1.800.000		
TOTAL			18.894.800	
DIFERENCIA			12.456.800	

Tabla 42: Modificaciones al Caso 4 para llegar a nuevos estándares propuestos (elaboración propia)

3. Análisis de la Rentabilidad Social del estándar propuesto. Según los resultados obtenidos del análisis de ciclo de vida del nuevo estándar propuesto, es posible concluir que la inversión en mejoras a la envolvente, relacionadas al estándar propuesto, alcanza niveles mínimos óptimos de transmitancia térmica para la envolvente de la vivienda, toda vez que el monto de la inversión se enmarca en el monto que invierte el estado para facilitar el acceso a la energía para calefacción en los hogares de Magallanes que poseen gas natural, y particularmente en el caso de la ciudad de Punta Arenas (ver tabla 43).

Tasa de descuento	6%					CASO BASE			STD MINIMO OPTIMO			
Periodo estudio	20 años					RT SEGÚN OGUC			RT PARA MAGALLANES			
Inversión inicial	Elemento	Tipo de aislación	Espesor mm	Tipo de aislación	Espesor mm	Costo UF/m ²	Costo estimado UF	Valor presente UF	Costo UF/m ²	Costo estimado UF	Valor presente UF	
	Fundaciones	-	-	EIFS	30	4,83	236,57	236,57	14,17	694,31	694,31	
	Pisos	-	-	SIP	210							
	Muros	L.V	60	SIP	210							
	Techo	L.V	160	SIP	301							
	Ventanas	-	V. Simple	Pvc	DVH							
	Puertas	-	P. Simple	XPS	P.+ XPS							
	Infiltraciones	-	-	-	3 renov/aire							
TOTAL COSTOS INICIALES Y COLATERALES												236,57
DIFERENCIA COSTOS DE INVERSIÓN(Mejorado-Base)									457,74			
Costos de Operación	Instalaciones	Tipo de energía	Tasa de escalamiento	Coste UF/kWh	UF/m ²	UF/año	UF/20años	UF/m ²	UF/año	UF/20años		
	Calefacción	Gas natural	7,00%	0,00072	0,45	21,85	482,84	0,05	2,35	51,95		
TOTAL COSTOS ANUALES CONSUMO ENERGÉTICO						21,85		482,84		51,95		
DIFERENCIA COSTOS CONSUMO ENERGÉTICO (Caso Base v/s Caso Mejorado)								19,4937291		430,89		
LCCA	COSTOS DE CICLO DE VIDA (LCCA)								719,41		746,26	
	Diferencia LCCA (Mejorado-Base)										26,8471759	
	Variación LCCA (Mejorado-Base)										3,73%	
	Payback (Años)										23 años, 7 meses	

Tabla 43: ACCV estándar mínimo óptimo para Magallanes (elaboración propia)



Figuras 40: Set de fotografías proceso constructivo de vivienda IMPASIVHAUS, usada de base para la proposición de estándares mínimos óptimos (Inmobiliaria Los Albatros)

Capítulo 7. Conclusiones

7.1 Conclusiones generales

A través del desarrollo del presente trabajo de investigación, ha sido posible revisar numerosa información que nos lleva a destacar el importante impacto que produce el excesivo consumo energético en las viviendas de la ciudad – puerto de Punta Arenas, lo que puede llegar a acelerar no solo el agotamiento de las reservas de gas estimadas en la Región de Magallanes, sino que a importantes daños medioambientales a raíz del aumento de la temperatura superficial en el área urbana y la alta huella de carbono asociada, siendo urgente la toma de medidas a nivel regional y comunal para disminuir lo más posible los consumos de energía, sin perjuicio de la implementación de energías renovables no convencionales (ERNC) en un mediano o largo plazo.

En tal aspecto, se ha podido comparar la realidad normativa nacional con realidades internacionales como la de Columbia Británica, en Canadá, donde la aplicación de adecuadas reglamentaciones térmicas exigidas a través de Códigos de Construcción de carácter provincial, se han transformado en herramientas útiles para tender a la eficiencia energética y la disminución de la huella de carbono mediante el uso de construcciones sustentables. Tal experiencia nos llevó a analizar el efecto que tendrá la inminente aplicación de la nueva reglamentación térmica, la cual posee una serie de estándares y elementos normativos semejantes a las normas canadienses, con exigencias que no solo se remiten a la construcción de obras nuevas, sino que permiten la intervención del parque habitacional existente con modificaciones que no alcanzan a tener un carácter estructural.

De acuerdo a lo anterior, es la sociedad local la que debiera proponer los estándares más adecuados para lograr los objetivos medioambientales y de ahorro energético necesarios. Sin embargo, las herramientas más eficaces para la obtención de estándares más adecuados, son las relacionadas a la evaluación de la rentabilidad social, mediante el Análisis de Costos de Ciclo de Vida de los estándares y/o mejoras propuestas en relación a un Caso Base que grafique la realidad actual. Ciertamente, este es el principal objetivo logrado en la investigación, ya que ha sido posible la evaluación de una serie de estándares que se sustentan en sistemas constructivos tomados de la realidad local, para llegar a proponer los estándares mínimos óptimos de transmitancia térmica.

La particular realidad social de la ciudad de Punta Arenas, la cual encabeza rankings de bienestar socio – económico, le hace gozar de una serie de beneficios justificables para un territorio de frontera y que han permitido incentivar su poblamiento o, al menos, evitar la migración a otras regiones. Uno de esos beneficios, que ha sido un regalo de la naturaleza, es la existencia de reservas de gas natural que, aunque en cantidades aún poco definidas, permite contar con un recurso energético de bajo precio. Más aún, el Estado de Chile se ha preocupado de complementar este beneficio natural, mediante un subsidio de los extra costos de extracción y transporte del gas, para mantener en la sociedad los precios que se tenían en momentos donde este recurso partió siendo explotado, como un sub – producto o desecho de la extracción del petróleo factible de reutilizar. Por esta razón, el tema del subsidio al gas ha sido frecuentemente revisado por el Estado en términos de evaluar su sostenibilidad en el tiempo, la cual se ha llegado a concluir como poco viable desde el punto de vista económico. Sin embargo, a la luz de la presente investigación, el subsidio al gas representa la principal variable de medición de la rentabilidad social para la aplicación de estándares mínimos óptimos, ya que el ahorro de gas natural sin subsidio equivale a un monto máximo ideal de inversión en la vivienda a lo largo de su ciclo de vida. Por lo tanto, reemplazar el subsidio al gas por una adecuada inversión en la envolvente térmica trae consigo mayores beneficios, partiendo por el financiamiento en el tiempo de las mejoras a través de los ahorros, así como una dramática disminución de la huella de carbono y, lo que no es menos importante, el bienestar y confort para los ciudadanos, los cuales podrían llegar a vivir en viviendas con los más altos índices de eficiencia energética de Latinoamérica, superando incluso el nivel de las exigencias de América del Norte.

En cuanto a las cifras obtenidas por la investigación, se puede constatar el cumplimiento de la hipótesis de investigación, cuyo objetivo de ahorro en demandas de calefacción de viviendas nuevas es superado ampliamente con los estándares mínimos óptimos obtenidos, desde un 50% de ahorro hipotético a un 88,90% de ahorro obtenido mediante simulaciones energético – ambientales en software especializado. Lo anterior, permite pasar desde una demanda de 693,42 kWh/m²/año del Caso Base a una demanda de 76,94 kWh/m²/año del Caso de Estándar Mínimo óptimo para una vivienda nueva en Punta Arenas. Cabe destacar que estos estándares mínimos óptimos, lejos de ser de autoría del suscrito, más bien corresponden a estándares presentes en la construcción de viviendas en Punta Arenas, debidamente confirmados por la investigación del Centro de Estudio de los Recursos Energéticos de la Universidad de Magallanes (CERE-UMAG). Nos referimos a los estándares propuestos por el proyecto IMPASIVHAUS, el cual corresponde a un

producto completamente local, desde la provisión de los diseños de arquitectura e ingeniería, hasta su ejecución y provisión de los principales materiales de construcción, lo cual demuestra que es posible lograr viviendas de mejor calidad constructiva y mayor eficiencia energética con la capacidad local, pudiéndose contar con estándares superiores, por ejemplo, a los actuales estándares canadienses.

Por su parte, gracias al Análisis de Costos de Ciclo de Vida, fue posible constatar la evidente conveniencia de aplicar exigencias obligatorias de construcción sustentable a las viviendas existentes, tal vez mediante planes o programas de intervención desde hogares más vulnerables que puedan abarcar paulatinamente al resto de las viviendas, recogiendo experiencias de reacondicionamiento térmico implementadas en Canadá, Inglaterra o Alemania. Al respecto, se pudo establecer la conveniencia de hacer exigible para viviendas existentes el estándar establecido por la NTM-11 (demanda de calefacción de 218,47 kWh/m²/año) o inclusive los indicados por el British Columbia Building Code, (demanda de calefacción de 118,47 kWh/m²/año), siendo factibles de aplicar en cada caso sin alteraciones a la estructura de las viviendas y complementando, en cambio, con la incorporación de mejores capas de aislante y mejor calidad constructiva y mayor preocupación por minimizar las infiltraciones.

7.2 Consideraciones para el cumplimiento de estándares mínimos óptimos

En el desarrollo de la investigación, ha sido posible constatar una serie de consideraciones para la obtención de estándares mínimos óptimos, las que no necesariamente están relacionadas a la definición de estas mismas, sino que, a materias referidas a la disposición de las reglamentaciones, al diseño de los proyectos, la ejecución de las obras y hasta la evaluación post – ocupacional. Según lo anterior, se deben revisar las siguientes consideraciones para ser asumidas por los organismos encargados de proveer de los documentos normativos, supervigilar su cumplimiento y/o promover la construcción sustentable en el país, la región y las comunas.

- La necesidad de facilitar el acceso a la reglamentación térmica y normas de construcción en general, a través de documentos integrados de consulta para profesionales y actores de la construcción. Al respecto, se estima que la experiencia norteamericana, y particularmente la canadiense referida a la implementación de Códigos de Construcción propios de cada provincia, permite aprovechar las experiencias locales mediante documentos de fácil

cumplimiento, evitando la revisión de muchas y disímiles normativas que incluso no siempre concuerdan entre estas, promoviendo la gestión de la construcción a través de un solo organismo fiscalizador. De ser factible, se plantea la posibilidad de generar un Código propio de Construcción para Magallanes, el cual no solo incluya tópicos de sustentabilidad, sino que integre toda la normativa pertinente aplicable a la zona en cuestión.

- La necesidad de contar con equipos de construcción entrenados capaces de lograr mejores resultados en la calidad de la construcción, promoviendo la implementación de partidas especializadas en la solución de sellos ante infiltraciones. Lo anterior, representa un importante desafío para la industria regional de la construcción, la cual se ve obligada a encarecer los costos de mano de obra trasladando especialistas de otras regiones, generando además nuevas oportunidades de emprendimiento y desarrollo económico local, con interesantes posibilidades de exportación de servicios al resto de la Patagonia.
- La promoción de iniciativas como las gestionadas por el Proyecto INNOVA CORFO 15BPCR – 48594, el cual incluyó la confección y publicación de Manuales de Construcción Sustentable dirigidos al público regional. La publicación de estas materias en los medios de profesionales relacionados a la construcción, permitirá entender mejor no solo la ventaja de aplicar altos estándares de eficiencia energética, sino que aumentará la posibilidad promover viviendas con estrategias pasivas que pueden lograr aún mejores desempeños energéticos que los mencionados en esta investigación.
- De implementarse la obligatoriedad de los estándares propuestos, es posible imaginar la ciudad de Punta Arenas como una Smart City, es decir, un asentamiento urbano con altos componentes de sostenibilidad en sus edificaciones y mínimos niveles de emisión de contaminantes y amplio desarrollo de edificios Net-Zero buildings. Lo anterior, es posible de lograr mediante el diseño de las futuras viviendas, aprovechando las ventajas de un plan regulador vigente que limita la altura de las edificaciones a 6 niveles pero que no promueve el uso de los agrupamientos pareados o continuos, obligando a contar con autorizaciones de los respectivos vecinos para estos efectos, lo que en la práctica impide aprovechar las bondades de la edificación colectiva o los diseños con caras adiabáticas, ya que estos permitirían aún niveles de demanda de calefacción aún más reducidos, al contrario del agrupamiento aislado, ampliamente imperante en los proyectos sociales e inmobiliarios actuales.

7.3 Futuras investigaciones sugeridas

Ya que se ha podido evaluar el comportamiento de la reglamentación térmica vigente para el cálculo de demandas de calefacción en viviendas de la ciudad de Punta Arenas, quedando en evidencia las debilidades y dificultades que impiden su cumplimiento, y considerando que más de la mitad del parque habitacional existente corresponde a viviendas edificadas con anterioridad al año 2000, se hace necesario efectuar investigaciones referidas a analizar y proponer soluciones de acondicionamiento térmico, algunas de ellas mencionadas en esta investigación. Para ello, se sugiere efectuar mediciones y simulaciones a este tipo de vivienda, pudiendo tipificarse los tipos de intervención según materialidad o diseño.

De igual modo, en el sentido de avanzar con mejor información de campo referida a al confort adaptativo de los usuarios en Punta Arenas, se sugiere promover el estudio de encuestas que permitan establecer cuáles son los rangos locales de temperatura de confort, los que eventualmente pudiesen variar a los comúnmente usados para el cálculo de sistemas de calefacción (normas ASHRAE, ISO, etc.). En este aspecto, referido al usuario, pudiesen existir diferencias inclusive entre asentamientos dentro de la región, a raíz de la pobreza energética que viven los asentamientos más extremos.

Finalmente, y en atención a las conclusiones emanadas en el capítulo 3 del presente estudio, quedará pendiente el análisis del comportamiento térmico de la vivienda tradicional y la evaluación técnico – económica de mejoras en su materialidad, entendiéndose que su diseño posee mayores fortalezas que los modelos actuales, toda vez que corresponde a una respuesta sencilla y elocuente de la arquitectura a las condiciones climáticas y culturales locales, siendo necesaria su puesta en valor y reconocimiento como modelo a seguir por parte de los arquitectos regionales, en el sentido de preservar el patrimonio y tender a una arquitectura propia magallánica, factible de replicar en futuros proyectos de viviendas sustentables.

Referencias bibliográficas

ALEXANDER, C. Notes on the Synthesis of Form. Cambridge, Mass., Harvard University Press. 1964. 196 p.

BROADBENT, G. Design in Architecture: architecture and the human sciences. London, John Wiley and Sons. 1973. 173 p.

BAERISWYL, D. (2003). Arquitectura de Magallanes: casas de madera 1848 - 1948. Cien años de historia.

BAMFORD, G. From analysis/synthesis to conjecture/analysis: a review of Karl Popper's influence on design methodology in architecture. Design Studies, 23(3). pp. 245-261. 2002.

BENAVIDES, J., PIZZI, M., Paz, M. (1998). Ciudades y Arquitectura Portuaria. Los puertos mayores del litoral chileno.

BRAVO, Manuel (2014). Evaluación técnico – económica del mejoramiento térmico en viviendas existentes de construcción repetitiva, mediante la utilización de estrategias pasivas: caso de estudio en la ciudad de Temuco, Chile. Tesis de grado.

BUSTAMANTE, W (2009). Guía de diseño para la eficiencia Energética en la vivienda social. Santiago de Chile: MINVU División Técnica de Estudio y Fomento Habitacional y Programa País de Eficiencia Energética. 216.

CÁRDENAS J.P., MUÑOZ E., RIQUELME C., HIDALGO F. (2015). Análisis de ciclo de vida simplificado aplicado a viviendas de paneles SIP. ART

CELIS F., ESCORCIA O., DÍAZ M., GARCÍA R., ECHEVERRÍA E. (2012). Incidencia de la configuración arquitectónica en la eficiencia energética de viviendas en el Centro-Sur de Chile. PLEA2012. ART

CELIS F., DÍAZ M., ECHEVERRÍA E., GARCÍA R., ESCORCIA O., TREBILCOCK M. (2012). Incidencia de la forma y envolvente en el desempeño térmico de las viviendas del Centro-Sur de Chile. Revista Hábitat Sustentable. Vol. 2, N° 2, 19-33. ART

CERE – UMAG (2017). Generación de estándares de construcción para la región de Magallanes y Antártica Chilena a través de eficiencia energética y uso de energías renovables. Anexo 2, Informe de Avance N°2.

ESPINOZA, Rodrigo (2014). Evaluación y análisis de puntos críticos de infiltración de aire producidos en viviendas típicas de la ciudad de Concepción, Chile. Tesis de grado.

DE MARCO, P. (2014). Códigos y Normas existentes de construcción sustentable en U.S.A. International Association of plumbing and mechanical officials (IAPMO), presentación del director de programas especiales. ART

DÍAZ, Muriel (2015). Evaluación de impacto de mejoras aplicadas a la hermeticidad al aire y aislación térmica para la verificación de la eficiencia energética mediante simulación térmica dinámica de dos viviendas tipo en Concepción, Chile. Tesis de grado.

GOBIERNO REGIONAL DE MAGALLANES Y ANTÁRTICA CHILENA (2017). Política Energética de Magallanes y Antártica Chilena: Energía 2050.

GUILLÉN V., QUESADA F., LÓPEZ M., ORELLANA D., SERRANO T. (2014). Eficiencia energética en edificaciones residenciales. ART

HILLIER, B. MUSGROVE, J. Y O'SULLIVAN, P. Knowledge and Design. En: MITCHELL, W.J. (Ed.) Environmental Design: Research and Practice. Los Angeles, University of California. pp. 245-264. 1972.

HERNÁNDEZ H., MEZA L. (2010). Propuesta de una metodología de certificación de eficiencia energética para viviendas en Chile. Revista de la Construcción. ART

INOSTROZA, Manuel (2018). 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 de grado.

INSTITUTO NACIONAL DE NORMALIZACION CHILE (2008). Arquitectura y construcción-zonificación climática habitacional Para Chile y recomendaciones para el diseño arquitectónico: Nch 1079. Of2008. Santiago de Chile: Instituto Nacional de Normalización. 15.

INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICAS CHILE (INE). (2017). Síntesis Censal 2017. Disponible: <http://www.ine.cl/cd2002/SintesisCensal.pdf>. Se accede por última vez el 18 de enero de 2018.

INTERNATIONAL CODE COUNCIL (2016). International energy conservation code and international residential code – energy.

LAWSON, B. How designers think: the design process demystified. Oxford, Architectural Press. 1997. 324 p.

MARTINIC, M. (1992). La población de Magallanes a lo largo de un siglo. Anales Instituto de la Patagonia, Ser. Cs. Hs., Punta Arenas, vol. 21, 1992.

MARTINIC, M. (2002). Breve Historia de Magallanes.

MARTINIC, M. (2005). Historia del Petróleo en Magallanes.

MARTINIC, M. (1992). La población de Magallanes a lo largo de un siglo. Anales del instituto de la Patagonia.

MARTINIC, M. (2010). El carbón en Magallanes, historia y futuro.

MINISTERIO DE VIVIENDA Y URBANISMO. (2016): Estándares de Construcción Sustentable para Viviendas de Chile.

MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS. (2016). Términos de Referencia Estandarizados con Parámetros de Eficiencia Energética y Confort Ambiental, para Licitaciones de Diseño y Obra de la Dirección de Arquitectura, Según Zonas Geográficas del País y Según Tipología de Edificios (TDRe).

MINISTERIO DE VIVIENDA Y URBANISMO. (MAYO 2009). 4 De la Arquitectura. En: MINVU Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones. Santiago de Chile: MINVU División Técnica De Estudio y Fomento Habitacional y Programa País de Eficiencia Energética. 160-168.

MINISTERIO DE VIVIENDA Y URBANISMO. (MAYO 2016). NTM – 11. Santiago de Chile: MINVU División Técnica De Estudio y Fomento Habitacional y Programa País de Eficiencia Energética.

MUÑOZ J. y SOTO J. (2014). Evaluación de mejoramiento de muros mediante simulación energética y análisis de LCC para viviendas de construcción frecuente en Chile. Revista HS. ART

MUÑOZ J., SOTO J. (2014). Evaluación de mejoramiento de muros mediante simulación energética y análisis de LCC para viviendas de construcción frecuente en Chile. Revista Hábitat Sustentable. V5 N1, Junio 2014, 24-43.

PACHECO, M. (2018). Revolución Energética en Chile. Ediciones UDP. 608 p.

QUESADA, F. (2015). Métodos de evaluación sostenible de la vivienda: Análisis comparativo de cinco métodos internacionales. Revista Hábitat Sustentable. V4 N1, Junio 2014, 56-67.

SEMINARIO, José (2012). Evaluación técnico – económica de calefacción distrital en Punta Arenas, Chile. Tesis de grado.

STANFORD UNIVERSITY LAND AND BUILDINGS (2005). Guidelines for Life Cycle Cost Analysis.

TOTH & HIZNYIK (1998). Integrated environmental assessment methods: evolution and applications. Environmental Modeling and Assesment, 193-210.

TREBILCOCK M., SCHIAPPACASSE F., SAELZER G., BOBADILLA A., OPAZO A., GUZMÁN F., FIGUEROA R. (2012). Rendimiento Diseño Integrado de Viviendas de Bajo Costo en Chile. PLEA2012.

TREBILCOCK M., R. (2010). Percepción de barreras a la incorporación de criterios de eficiencia energética en las edificaciones. Revista de la Construcción.

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE CHILE – INSTITUTO CHILENO DE ESTUDIOS MUNICIPALES. Indices de Desarrollo Regional IDERE 2016.

WIGLEY T, Coal to gas: the influence of methane leakage.

<https://link.springer.com/article/10.1007%2Fs10584-011-0217-3>