



UNIVERSIDAD DE CONCEPCIÓN
FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO INGENIERÍA MECÁNICA



**ANÁLISIS DETALLADO DEL IMPACTO ENTRE LOS ESTÁNDARES PDA
Y OGUC EN DISTINTAS ZONAS TÉRMICAS DE CHILE MEDIANTE
SIMULACIONES EN CEV Y TRNSYS**

POR

Ignacio Mauricio Pino Palma

Memoria de Título presentada a la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Concepción para
optar al título profesional de Ingeniero Civil Mecánico

Profesor Guía:
Dr. Ing. Adelqui Fissore Schiappacasse

Octubre 2023
Concepción (Chile)

© 2023 Ignacio Mauricio Pino Palma

© 2023 Ignacio Mauricio Pino Palma

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo la cita bibliográfica del documento.

Agradecimientos

Le agradezco profundamente al profesor Adelqui Fissore, por su apoyo, su simpatía y su voluntad para ayudarme, guiarme y enseñarme siempre que yo lo necesitara mientras realizaba mi memoria.

Agradezco también a todos los profesores del DIM que me aportaron sus conocimientos durante mi paso por la Universidad de Concepción. Cuando entré a la Universidad, estando en Ingeniería Civil Plan Común, no sabía qué especialidad me gustaba. Más adelante tuve la suerte de decidirme por esta carrera, y el mundo de temas interesantes que descubrí estando aquí fue impresionante. No la cambiaría jamás.

Esta memoria está dedicada...

A mi mamá y a mi hermana, por estar ahí para apoyarme siempre que lo necesito, en mis aventuras y en mis tropiezos, y por brindarme las herramientas para ser un mejor hijo, un mejor hermano y una mejor persona.

*A mis abuelos, por apoyarme en lo más mínimo que necesitase y estar siempre ahí para mí.
Cuando era más niño no lo valoraba tanto como lo valoro hoy en día.*

A Camila y Javier, por darnos un espacio en su hogar en un momento importante de nuestras vidas. El cambio de Arica a Concepción fue más fácil gracias a ustedes.

A mi familia materna y a mi familia paterna, porque soy un afortunado de tener dos familias tan maravillosas.

Resumen

En 1992, se estableció el primer Plan de Descontaminación Atmosférica debido a la contaminación del SO₂ en el complejo Industrial Ventanas. Desde entonces, se han implementado planes similares en varias comunas del centro y sur de Chile para combatir la contaminación atmosférica, especialmente el MP10 y MP2.5, mediante mecanismos como el mejoramiento térmico de envolventes, recambio de calefactores, fomento de uso de leña seca, entre otros. La eficiencia térmica de las viviendas se vuelve un factor crucial para reducir la demanda de calefacción, y con ello, la generación de contaminantes en medio de las crecientes preocupaciones ambientales y de salud. Por lo tanto, es esencial comprender cómo las normativas de construcción afectan la demanda de energía en las viviendas. Este informe se enfoca en analizar el impacto térmico en la demanda de calefacción residencial entre las normativas PDA y OGUC de distintas zonas térmicas en viviendas representativas de Chile. Para ello, se realizan 24 simulaciones teóricas con los programas CEV y TRNSYS, las que permiten analizar y comparar las demandas energéticas de edificios residenciales bajo ambas normativas. Los casos simulados corresponden a dos tipologías de viviendas: vivienda aislada y departamento, y se realizan en tres zonas térmicas diferentes que cuentan con un PDA vigente: Concepción Metropolitano, Temuco y Padre Las Casas y Coyhaique. Respecto a los resultados en viviendas aisladas, mediante TRNSYS se logra entre un 19% a un 40% de ahorro en la demanda total, mientras que mediante CEV se logra entre un 28% a un 62%, siendo Coyhaique el que presenta menores porcentajes de ahorro en ambos programas. Se observan porcentajes de ahorro mayores en CEV que en el modelo de TRNSYS, promediando un 16% adicional entre los tres casos de vivienda aislada. Respecto a los resultados de los departamentos, CEV no logra lo esperado debido a la presencia de altas demandas de refrigeración que conducen a porcentajes de ahorro negativos y poco realistas, en cambio, TRNSYS logra ahorros de entre 44% a 65%, siendo Concepción el que presenta mayor porcentaje de ahorro. Se propone reevaluar los coeficientes U de los PDA de las comunas que, como en el caso de Coyhaique, presenten porcentajes de ahorro no significativos con respecto a su contraparte OGUC.

Palabras clave: PDA, OGUC, CEV, TRNSYS, demanda

Abstract

In 1992, the first Atmospheric Decontamination Plan (Plan de Descontaminación Atmosférica) was established due to SO₂ pollution in the Ventanas Industrial Complex. Since then, similar plans have been implemented in several localities in central and southern Chile to combat air pollution, especially PM₁₀ and PM_{2.5}, through mechanisms such as thermal envelope enhancement, replacement of heaters, promotion of the use of dry firewood, among others. The thermal efficiency of homes becomes a crucial factor in reducing heating demand and, consequently, the generation of pollutants amid escalating environmental and health concerns. Therefore, understanding how building regulations impact energy demand in dwellings is essential. This report focuses on analyzing the thermal impact on residential heating demand between the PDA and OGUC regulations in different thermal zones in representative dwellings in Chile. To achieve this, 24 theoretical simulations are conducted using the CEV and TRNSYS programs, enabling the analysis and comparison of energy demands of residential buildings under both regulations. The simulated cases include two types of housing: standalone houses and apartments, and are conducted in three different thermal zones with an active PDA: Metropolitan Concepción, Temuco and Padre Las Casas, and Coyhaique. Regarding results for standalone houses, TRNSYS achieves savings in total demand ranging from 19% to 40%, while CEV achieves savings between 28% to 62%, with Coyhaique showing lower saving percentages in both programs. Concerning apartment results, CEV does not meet expectations due to the presence of high cooling demands leading to negative and unrealistic savings percentages; in contrast, TRNSYS achieves savings between 44% to 65%, with Concepción displaying the highest saving percentage. It is suggested to reevaluate the U coefficients of the PDAs in localities that, as in the case of Coyhaique, exhibit non-significant savings percentages compared to their OGUC counterparts.

Keywords: PDA, OGUC, CEV, TRNSYS, demand

Tabla de Contenidos

Resumen	i
Abstract	ii
Tabla de Contenidos	iii
Lista de Tablas	v
Lista de Figuras	vi
Glosario	viii
CAPÍTULO 1: Introducción.....	1
1.1 Planteamiento del problema	1
1.2 Objetivos.....	3
1.3 Metodología.....	4
CAPÍTULO 2: Marco Teórico	5
2.1 Estándares térmicos OGUC.....	5
2.2 Estándares térmicos PDA	8
2.3 Calificación Energética de Vivienda (CEV)	9
2.4 Transient System Simulation Tool (TRNSYS)	14
2.4.1 Modelo de simulación utilizado en TRNSYS 16.....	14
CAPÍTULO 3: Selección de comunas y tipologías de vivienda	16
3.1 Selección de comunas con estándares térmicos PDA	16
3.2 Comparación de estándares térmicos en las comunas seleccionadas	17
3.3 Selección de tipologías de viviendas de Chile.....	18
3.3.1 Tipología de casa aislada y especificaciones de diseño.....	20
3.3.2 Tipología de departamento y especificaciones de diseño	21
CAPÍTULO 4: Simulaciones en CEV.....	22
4.1 Vivienda Aislada CEV	22
4.1.1 Resultados del caso Vivienda Aislada CEV	23
4.2 Departamento CEV.....	24
4.2.1 Resultados del caso Departamento CEV	24
CAPÍTULO 5: Simulaciones en TRNSYS	26
5.1 Vivienda Aislada en TRNSYS	26
5.1.1 Gráficos de temperaturas hora a hora sin calefacción entre OGUC y PDA	26
5.1.2 Gráficos de temperaturas mensuales promedio con calefacción entre OGUC y PDA	27

5.1.3 Gráficos de demandas mensuales de calefacción entre OGUC y PDA	29
5.2 Departamento en TRNSYS	31
5.2.1 Gráficos de temperaturas hora a hora sin calefacción entre OGUC y PDA	31
5.2.1 Gráficos de temperaturas mensuales promedio con calefacción entre OGUC y PDA	33
5.2.2 Gráficos de demandas mensuales de calefacción entre OGUC y PDA	35
5.3 Resultados generales en TRNSYS	37
CAPÍTULO 6: Conclusiones	40
Referencias	44
Anexo A: Planos de Zonificación Térmica OGUC.....	46
Anexo B: Planos de Zonificación Térmica CEV	49
Anexo C: Parámetros de arquitectura ingresados en caso ‘Viv. Aislada CEV’	52
Anexo D: Parámetros de arquitectura ingresados en caso ‘Departamento CEV’	55
Anexo E: Consideraciones en TRNSYS y Gráficos de temperatura de viviendas OGUC vs PDA ..	58

Lista de Tablas

Tabla 2.1: Aislación térmica mínima según OGUC 4.1.10. Fuente: [2].....	6
Tabla 2.2: Porcentaje máximo de superficie vidriada con respecto a paramentos verticales de la envolvente. Fuente: [2].....	7
Tabla 3.1: Comunas con PDA térmico en Chile. Fuente: Elaboración propia a partir de datos de [6], [8] y [9].....	16
Tabla 3.2: Comparación estándares térmicos Concepción. Fuente: Elaboración propia a partir de [2] y [10].	17
Tabla 3.3: Comparación estándares térmicos Temuco. Fuente: Elaboración propia a partir de [2] y [11].	17
Tabla 3.4: Comparación estándares térmicos Coyhaique. Fuente: Elaboración propia a partir de [2] y [12].	17
Tabla 3.5: Características tipología vivienda aislada. Fuente: Elaboración propia	20
Tabla 3.6: Características tipología departamento. Fuente: Elaboración propia.....	21
Tabla 4.1: Resultados CEV caso vivienda aislada. Fuente: Elaboración propia.....	23
Tabla 4.2: Resultados CEV caso departamento. Fuente: Elaboración propia.....	24
Tabla 5.1. Demandas de climatización para viviendas aisladas en TRNSYS. Fuente: Elaboración propia.....	38
Tabla 5.2. Demandas de climatización para departamentos en TRNSYS. Fuente: Elaboración propia.	38
Tabla 5.3: Porcentajes de ahorro entre normativas OGUC y PDA en TRNSYS. Fuente: Elaboración propia.....	39
Tabla 6.1: Resultados de demandas energéticas en CEV. Fuente: Elaboración propia.	40
Tabla 6.2: Resultados de demandas energéticas en TRNSYS. Fuente: Elaboración propia.	41
Tabla 6.3: Porcentajes de ahorro energético entre PDA y OGUC, mediante CEV y TRNSYS. Fuente: Elaboración propia.	42

Lista de Figuras

Figura 1.1. Percentil 98 de las concentraciones diarias de MP2.5 por número de habitantes en zonas latentes o saturadas (2021). Fuente: Elaboración propia, con datos de SINIA [1]	1
Figura 2.1: Comunas de Chile con estándares térmicos PDA. Fuente: [4].....	8
Figura 2.2: Escala de calificación CEV. Fuente: [5, p. 27].....	9
Figura 2.3: Instrucciones de uso de planillas PBTD en CEV	10
Figura 2.4: Bandas de confort utilizadas en CEV. Fuente: [5, p. 239]	12
Figura 2.5: Funcionamiento de banda de temperatura de confort en CEV	13
Figura 2.6: Modelo utilizado en TRNSYS 16. Fuente: Elaboración propia a partir de [7].	14
Figura 2.7. Esquema simplificado del modelo en TRNSYS.....	15
Figura 3.1: Distribución de viviendas según modo de agrupamiento y zona térmica. Fuente: [13, p. 34].....	19
Figura 3.2: Distribución de viviendas según materialidad y zona térmica. Fuente: [13, p. 37].....	19
Figura 3.3: Planos de vistas de la tipología de vivienda aislada. Fuente: Elaboración propia.....	20
Figura 3.4: Planos tipología departamento. Fuente: Elaboración propia.	21
Figura 5.1: Gráfico de temperaturas de vivienda aislada en Concepción - Sin Calefacción en TRNSYS. Fuente: Elaboración propia.	26
Figura 5.2. Temperaturas mensuales promedio para caso ‘Vivienda Aislada CCP’ en TRNSYS. Fuente: Elaboración propia.	27
Figura 5.3. Temperaturas mensuales promedio para caso ‘Vivienda Aislada TEM’ en TRNSYS. Fuente: Elaboración propia.	28
Figura 5.4. Temperaturas mensuales promedio para caso ‘Vivienda Aislada COY’ en TRNSYS. Fuente: Elaboración propia.	28
Figura 5.5. Demandas mensuales de calefacción para caso ‘Vivienda Aislada CCP’ en TRNSYS. Fuente: Elaboración propia.	29
Figura 5.6. Demandas mensuales de calefacción para caso ‘Vivienda Aislada TEM’ en TRNSYS. Fuente: Elaboración propia.	29
Figura 5.7. Demandas mensuales de calefacción para caso ‘Vivienda Aislada COY’ en TRNSYS. Fuente: Elaboración propia.	30
Figura 5.8: Gráfico de temperaturas de departamento en Concepción - Sin Calefacción en TRNSYS. Fuente: Elaboración propia.	31
Figura 5.9. Temperaturas mensuales promedio para caso ‘Departamento CCP’ en TRNSYS. Fuente: Elaboración propia.	33
Figura 5.10. Temperaturas mensuales promedio para caso ‘Departamento TEM’ en TRNSYS. Fuente: Elaboración propia.	33
Figura 5.11. Temperaturas mensuales promedio para caso ‘Departamento COY’ en TRNSYS. Fuente: Elaboración propia.	34
Figura 5.12. Demandas mensuales de calefacción para caso ‘Departamento CCP’ en TRNSYS. Fuente: Elaboración propia.	35

Figura 5.13. Demandas mensuales de calefacción para caso ‘Departamento TEM’ en TRNSYS. Fuente: Elaboración propia.	35
Figura 5.14. Demandas mensuales de calefacción para caso ‘Departamento COY’ en TRNSYS. Fuente: Elaboración propia.	36
Figura 5.15. Demandas de calefacción anuales según normativa y tipo de vivienda en TRNSYS. Fuente: Elaboración propia.	37
Figura 5.16. Demandas de refrigeración anuales según normativa y tipo de vivienda en TRNSYS. Fuente: Elaboración propia.	37
Figura A.1: Zonificación Térmica de la Antigua Región del Biobío. Fuente: [9]	46
Figura A.2: Zonificación Térmica de la Región de la Araucanía. Fuente: [9].....	47
Figura A.3: Zonificación Térmica de la Región de Aysén. Fuente: [9].....	48
Figura B.1: Zonificación Térmica de la Macrozona Centro Sur. Fuente: [6]	49
Figura B.2: Zonificación Térmica de la Macrozona Sur. Fuente: [6]	50
Figura B.3: Zonificación Térmica de la Macrozona Extremo Sur. Fuente: [6]	51
Figura C.1: Dimensiones modelo Vivienda Aislada CEV	52
Figura C.2: Muros modelo Vivienda Aislada CEV	52
Figura C.3: Transmitancia muros modelo Vivienda Aislada CEV	52
Figura C.4: Puertas modelo Vivienda Aislada CEV	53
Figura C.5: Ventanas modelo Vivienda Aislada CEV	53
Figura C.6. Techo modelo Vivienda Aislada CEV.....	53
Figura C.7: Transmitancia techos modelo Vivienda Aislada CEV.....	54
Figura C.8: Piso modelo Vivienda Aislada CEV.....	54
Figura C.9: Transmitancia pisos modelo Vivienda Aislada CEV.....	54
Figura D.1: Dimensiones modelo Departamento CEV	55
Figura D.2: Muros modelo Departamento CEV	55
Figura D.3: Transmitancia muros modelo Departamento CEV	55
Figura D.4: Puertas modelo Departamento CEV	56
Figura D.5: Ventanas modelo Departamento CEV.....	56
Figura D.6. Techo modelo Departamento CEV.....	56
Figura D.7: Transmitancia techos modelo Departamento CEV.....	56
Figura D.8: Piso modelo Departamento CEV.....	57
Figura D.9: Transmitancia pisos modelo Departamento CEV.....	57
Figura E.1: Gráfico de temperaturas de vivienda aislada en Temuco - Sin Calefacción. Fuente: Elaboración propia.	59
Figura E.2: Gráfico de temperaturas de vivienda aislada en Coyhaique - Sin Calefacción. Fuente: Elaboración propia.	60
Figura E.3: Gráfico de temperaturas de departamento en Temuco - Sin Calefacción. Fuente: Elaboración propia.	61
Figura E.4: Gráfico de temperaturas de departamento en Coyhaique - Sin Calefacción. Fuente: Elaboración propia.	62

Glosario

CCP	:	Concepción
CEV	:	Calificación Energética de Viviendas
COY	:	Coyhaique
MINVU	:	Ministerio de Vivienda y Urbanismo
MMA	:	Ministerio del Medio Ambiente
MP10	:	Material Particulado grueso, de diámetro menor a 10 micrones.
MP2.5	:	Material Particulado fino, de diámetro menor a 2.5 micrones.
OGUC	:	Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones, Chile
PBTD	:	Planilla de Balance Térmico Dinámica
PDA	:	Plan de Descontaminación Atmosférica
SO ₂	:	Anhídrido Sulfuroso
TEM	:	Temuco
TRNSYS	:	Transient System Simulation Tool (Software)

Nomenclatura

U	:	Coefficiente de transmitancia térmica (W/m ² K)
---	---	--

CAPÍTULO 1: Introducción

1.1 Planteamiento del problema

En el año 1992, se creó en Chile el primer Plan de Descontaminación Atmosférica (PDA) para el complejo Industrial Ventanas, debido al estado saturado de la zona producto del SO₂. Este hecho significó la puerta de entrada para la creación de nuevos planes para diferentes comunas, con el objetivo de disminuir la contaminación atmosférica en las zonas más críticas del país. El PDA en las comunas de las zonas centro y sur establece, como uno de sus objetivos principales, la reducción de agentes contaminantes locales, como el MP10 y MP2.5. Al año 2021, alrededor de 11 millones de personas en el país viven en zonas declaradas como saturadas o latentes por MP2.5 [1].

En la Figura 1.1, se puede observar el percentil 98 de las concentraciones diarias de MP2.5 por número de habitantes para algunas comunas de las zonas centro y sur de Chile durante el año 2021. Los valores máximos de MP2.5 se encuentran en Coyhaique, con 247 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) y una población de 61.630 habitantes, siendo uno de los motivos por los que esta comuna y su área circundante poseen un PDA vigente.

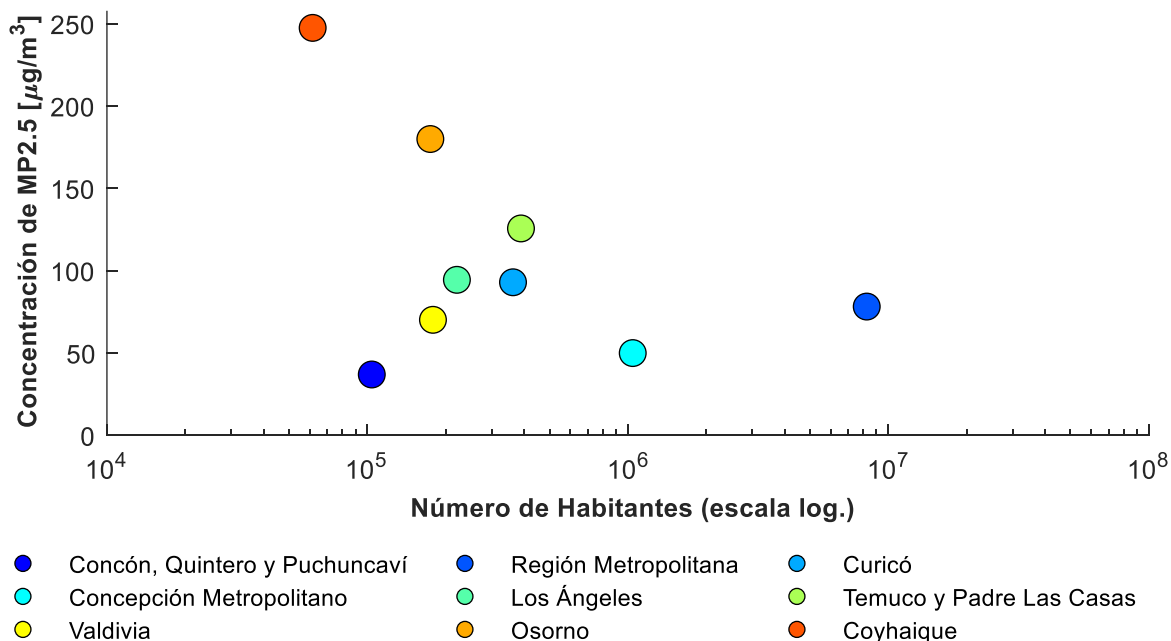


Figura 1.1. Percentil 98 de las concentraciones diarias de MP2.5 por número de habitantes en zonas latentes o saturadas (2021). Fuente: Elaboración propia, con datos de SINIA [1]

Mediante los PDA, este problema se está abordando con planes de mitigación como: recambio de calefactores, incentivo al uso de leña seca, mejoramiento térmico de viviendas existentes y nuevas, entre otros. Hoy en día, la mayor parte de las comunas con altos niveles de contaminación en las zonas centro y sur del país tienen estándares térmicos de construcción más altos (PDA) que los estándares de la Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones (OGUC), la cual establece los requisitos térmicos mínimos que deben cumplir las edificaciones a lo largo del país. Los PDA en las comunas del centro y sur buscan reducir la demanda energética de las viviendas mediante el aumento en la aislación térmica de sus envolventes (techos, muros, ventanas, entre otros), con el objetivo de disminuir el consumo de combustibles para calefacción, entre ellos, la leña, que fue el mayor generador de MP2.5 el año 2020 en la Región de la Araucanía, registrando un total de 16.511 toneladas por combustión de leña residencial [1].

Debido a esta situación, la eficiencia térmica de las viviendas toma una gran importancia para reducir la generación de MP, en medio de la creciente preocupación por la calidad medioambiental y la salud de la población. En este contexto, es de gran relevancia comprender la relación entre las normativas térmicas de construcción (PDA y OGUC), y su impacto en la demanda energética en las viviendas.

Esto requiere un estudio detallado del impacto térmico entre las normativas térmicas vigentes (PDA y OGUC), con el fin de determinar cómo afectan a la demanda energética de los diferentes tipos de edificios residenciales. Para ello, resulta fundamental realizar un análisis exhaustivo mediante simulaciones teóricas utilizando programas especializados en simulación térmica. Este enfoque permitirá obtener datos sólidos que ayuden a identificar las diferencias en los ahorros energéticos entre ambas normativas, considerando que, hasta la fecha, no se ha realizado un estudio sistemático que permita cuantificar estas diferencias.

En consecuencia, el objetivo de este estudio se centra en analizar la eficacia de las normativas térmicas de construcción y su impacto en el cálculo de la demanda de calefacción y refrigeración residencial. Para ello, se emplearán dos programas de simulación, CEV y TRNSYS, con el propósito de obtener información detallada y comparativa. La simulación de diversos escenarios permitirá la comparación de la demanda energética en edificios residenciales bajo ambas normativas, con el fin de proporcionar una evaluación precisa de los ahorros asociados a cada una de ellas.

1.2 Objetivos

Objetivo general

- Analizar detalladamente el impacto térmico entre los estándares PDA y OGUC a través de simulaciones teóricas de viviendas en distintas zonas climáticas mediante los programas CEV y TRNSYS.

Objetivos específicos

- Seleccionar tres comunas con estándares térmicos PDA, definir dos tipologías de vivienda para el estudio e identificar las diferencias entre los estándares constructivos PDA y OGUC en las comunas seleccionadas.
- Simular las viviendas mediante los programas CEV y TRNSYS, definir las condiciones de borde de las simulaciones, y estudiar su comportamiento térmico bajo estándares constructivos PDA y OGUC en las tres zonas climáticas.
- Calcular las demandas y ahorros energéticos entre las viviendas simuladas bajo estándares PDA y las simuladas bajo estándares OGUC, mediante los programas CEV y TRNSYS.
- Examinar los resultados obtenidos de las simulaciones mediante ambos programas (CEV y TRNSYS) de forma independiente, centrándose en las diferencias entre estándares PDA y OGUC, llevando a cabo un análisis riguroso de las particularidades y diferencias de los resultados de cada programa.

1.3 Metodología

La metodología propuesta para este proyecto se llevará a cabo en varias etapas.

En primer lugar, se seleccionarán tres comunas de Chile que cuenten con estándares térmicos PDA y pertenezcan a zonas climáticas distintas, con el fin de tener una mayor representatividad en los resultados al momento de contrastar ambas normativas. Se seleccionarán dos tipologías de vivienda a estudiar en las comunas seleccionadas y se realizará un análisis comparativo entre los estándares constructivos PDA de cada comuna y los estándares OGUC, identificando las diferencias clave entre ambos.

A continuación, se simularán las viviendas mediante los programas CEV y TRNSYS, introduciendo sus modos de funcionamiento y las consideraciones definidas tanto por el usuario como por cada programa al momento de realizar las simulaciones. Se crearán 12 archivos por programa, 24 en total, los cuales se clasificarán por: estándar térmico, tipología de vivienda y zona climática. Se evaluarán las demandas y ahorros energéticos entre las viviendas simuladas bajo los estándares PDA y OGUC, mediante ambos programas. En una etapa posterior, se analizarán los resultados obtenidos entre los dos programas (CEV y TRNSYS), con el fin de determinar las diferencias en los resultados obtenidos.

Para finalizar, se presentarán las conclusiones basadas en los resultados de demandas y ahorros energéticos obtenidos por ambos programas (CEV y TRNSYS), con el fin de comparar los estándares térmicos PDA y OGUC.

CAPÍTULO 2: Marco Teórico

En este capítulo se proporcionará una descripción detallada de los estándares constructivos en Chile, enfocada en los estándares térmicos de la Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones (OGUC) y los Planes de Descontaminación Atmosférica (PDA), además de una descripción detallada de los programas a utilizar (CEV y TRNSYS), el modo en que operan y cuáles serán las condiciones a utilizar en las simulaciones.

2.1 Estándares térmicos OGUC

La Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones (OGUC) es un conjunto de normas técnicas y legales que establecen los requisitos para la construcción, urbanización y uso del suelo en Chile. La OGUC le corresponde al Ministerio de Vivienda y Urbanismo (MINVU), y su objetivo principal es garantizar la seguridad, habitabilidad y calidad de las construcciones en el país. En particular, la OGUC establece normas para el aislamiento térmico de techos, muros y ventanas con el objetivo de reducir el consumo energético y mejorar el confort térmico en los edificios, específicamente en su artículo 4.1.10.

El artículo 4.1.10 de la Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones (OGUC) establece las exigencias mínimas de aislamiento térmico para techos, muros y ventanas en edificaciones nuevas o existentes que se sometan a ampliaciones o remodelaciones. En particular, se establecen valores máximos de transmitancia térmica para cada elemento constructivo, los cuales varían según la zona térmica en que se emplace la edificación. Estas exigencias tienen como objetivo reducir el consumo energético y mejorar el confort térmico en los edificios, contribuyendo así a una construcción más sostenible y eficiente desde el punto de vista energético. En cuanto a las modificaciones importantes realizadas a este artículo, se pueden mencionar las siguientes:

- El año 2001, se establecieron normas para el aislamiento térmico de techos. Esta modificación incluyó cambios en los valores máximos de transmitancia térmica (U) para techos, según la zona térmica de la construcción.
- En 2007, se publicó una nueva modificación que estableció normas para el aislamiento térmico de muros. Esta modificación incluyó cambios en los valores máximos de transmitancia térmica (U) para muros, dependiendo de la zona térmica de la construcción.

Según lo establecido en el Artículo 4.1.10 de la OGUC, “los complejos de techumbres, muros perimetrales y pisos inferiores ventilados, es decir, los elementos que conforman la envolvente de la vivienda deberán tener transmitancias térmicas ‘U’ iguales o menores a las señaladas para la zona que le corresponda al proyecto de arquitectura, de acuerdo con los planos de zonificación térmica aprobados por resoluciones del MINVU” [2].

En la Tabla 2.1 se resumen las aislaciones térmicas mínimas de la envolvente opaca según el artículo 4.1.10 de la OGUC para las distintas zonas térmicas de Chile. Los planos de zonificación térmica de la OGUC se encuentran en el Anexo A.

Tabla 2.1: Aislación térmica mínima según OGUC 4.1.10. Fuente: [2]

ZONA TÉRMICA	TECHUMBRE	MUROS	PISOS VENTILADOS
	U_{máx} (W/m²K)	U_{máx} (W/m²K)	U_{máx} (W/m²K)
1	0,84	4,00	3,60
2	0,69	3,00	0,87
3	0,47	1,90	0,70
4	0,38	1,70	0,60
5	0,33	1,60	0,50
6	0,28	1,10	0,39
7	0,25	0,60	0,32

Las ventanas deben cumplir con exigencias relacionadas con el porcentaje máximo de superficie de ventanas respecto a la superficie de la envolvente, el tipo de vidrio y la zona térmica del proyecto. Para calcular el porcentaje máximo de superficie de ventanas de un proyecto de arquitectura, se debe seguir el siguiente procedimiento, según [2]:

- a) Determinar la superficie de los paramentos verticales de la envolvente del proyecto de arquitectura. La que corresponde a la suma de las superficies interiores de todos los muros perimetrales que considere la unidad habitacional, incluyendo medianeros y muros divisorios.
- b) Determinar la superficie total de ventanas del proyecto, correspondiente a la suma de la superficie de los vanos del muro en el cual está colocada la ventana, considerando el marco como parte de su superficie. Para el caso de ventanas salientes, se considerará como superficie de ventana a aquella correspondiente a la totalidad de la parte vidriada.

En la Tabla 2.2, se presentan los porcentajes máximos de superficie vidriada según el artículo 4.1.10 de la OGUC para las distintas zonas térmicas de Chile.

Tabla 2.2: Porcentaje máximo de superficie vidriada con respecto a paramentos verticales de la envolvente.

Fuente: [2]

ZONA TÉRMICA	VENTANAS		
	VIDRIO MONOLÍTICO (5.8 [W/m ² K])	DVH DOBLE VIDRIADO HERMÉTICO	
		3.6 [W/m ² K] ≥ U > 2.4 [W/m ² K]	U ≤ 2.4 [W/m ² K]
1	50%	60%	80%
2	40%	60%	80%
3	25%	60%	80%
4	21%	60%	75%
5	18%	51%	70%
6	14%	37%	55%
7	12%	28%	37%

2.2 Estándares térmicos PDA

Los Planes de Descontaminación Atmosférica (PDA) son instrumentos de gestión ambiental que tienen como objetivo recuperar los niveles señalados en las normas de calidad ambiental de zonas específicas del país calificadas como saturadas por uno o más contaminantes [3, p. 35]. Estos planes establecen medidas para reducir las emisiones contaminantes como, por ejemplo, el MP2.5 y MP10, y mejorar la eficiencia energética en los sectores de transporte, industria y vivienda.

En cuanto a las medidas presentes en algunas comunas con PDA, una de ellas es reducir las emisiones contaminantes a través de la implementación de una aislación térmica exigente en la envolvente de las viviendas. Estos estándares incluyen requisitos máximos para la transmitancia térmica (U) en techumbres, muros perimetrales, pisos ventilados, puertas y ventanas¹, según la zona térmica en que se emplace la edificación. También se establecen requisitos para el uso de materiales aislantes con etiquetado R₁₀₀ y para el uso de vidrios con baja emisividad. Todo esto con el fin de mejorar el confort térmico y con ello disminuir las emisiones contaminantes al reducir los consumos energéticos.

Hoy en día, los estándares térmicos de los PDA son los más rigurosos y exigentes en el país, en términos de aislación térmica y eficiencia energética en viviendas. En la Figura 2.1, se puede observar un mapa con los diversos PDA² a lo largo del país, comenzando por Valle Central en la región de O'Higgins hasta Coyhaique en la región de Aysén.

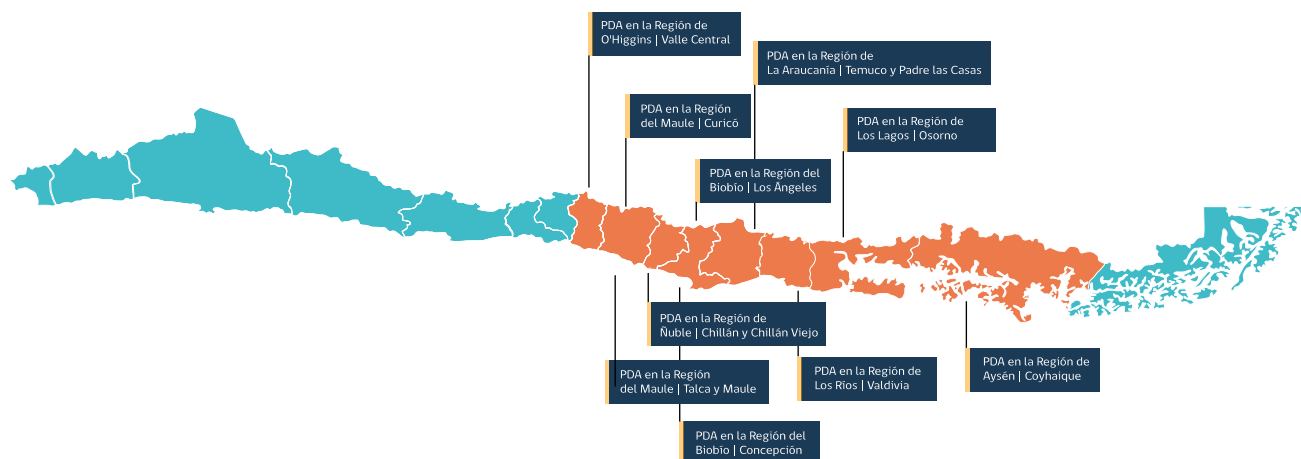


Figura 2.1: Comunas de Chile con estándares térmicos PDA. Fuente: [4]

¹ No todas las comunas con PDA vigentes tienen exigencias térmicas para las ventanas, sin embargo, se les aplica el criterio de la Tabla 2.2.

² El mapa contiene a todas las regiones de Chile subdivididas, donde las regiones de color naranja poseen comunas donde se aplican PDA. No se aplican PDA en todas las comunas de estas regiones.

2.3 Calificación Energética de Vivienda (CEV)

El programa de cálculo de la CEV, en lenguaje Excel, es un instrumento diseñado por el Ministerio de Vivienda y Urbanismo junto con el Ministerio de Energía, creado en 2012 y mejorado hasta la fecha, que permite simular teóricamente una vivienda propuesta para obtener sus requerimientos energéticos [5], donde destacan: la demanda de calefacción y la demanda de refrigeración. La vivienda propuesta es comparada dentro del programa con una vivienda base con estándares OGUC 2007, la cual es rotada en cuatro orientaciones para promediar sus requerimientos térmicos, y así, compararlos con los de la vivienda propuesta generando un etiquetado, presentado en la Figura 2.2, que varía de A+ (más eficiente) a G (menos eficiente). Los etiquetados E y F corresponden a: Estándar OGUC 2007 y Estándar OGUC 2001, respectivamente. El etiquetado G corresponde a una vivienda sin exigencias térmicas.

Más eficiente	Ahorro Energético	
	≤	>
A+	100%	85%
A	85%	70%
B	70%	55%
C	55%	40%
D	40%	20%
E	20%	-10%
F	-10%	-35%
G	-35%	-
Menos eficiente		

Figura 2.2: Escala de calificación CEV. Fuente: [5, p. 27]

Para determinar la demanda y el ahorro energético de una vivienda en CEV, se deben introducir características de la vivienda propuesta, entre ellas:

- Características geográficas (región y zona térmica correspondiente).
- Número de dormitorios y tipo de vivienda (casa aislada, casa pareada y departamento).
- Dimensiones de la vivienda (áreas de: pisos, techos, muros, ventanas, entre otras).
- Materialidad (transmitancias térmicas (U), densidad de muros, tipo de ventanas, entre otros).

La versión 2.2 del programa, utilizada en esta memoria, presenta tres planillas de balance térmico dinámicas, que corresponden a:

- ‘01. PBTD Datos de arquitectura’
- ‘02. PBTD Motor de cálculo demanda de energía’
- ‘03. PBTD Datos de equipos y resultados’

En la Figura 2.3, se muestran los pasos a seguir para cada planilla de balance térmico dinámica (PBTD).

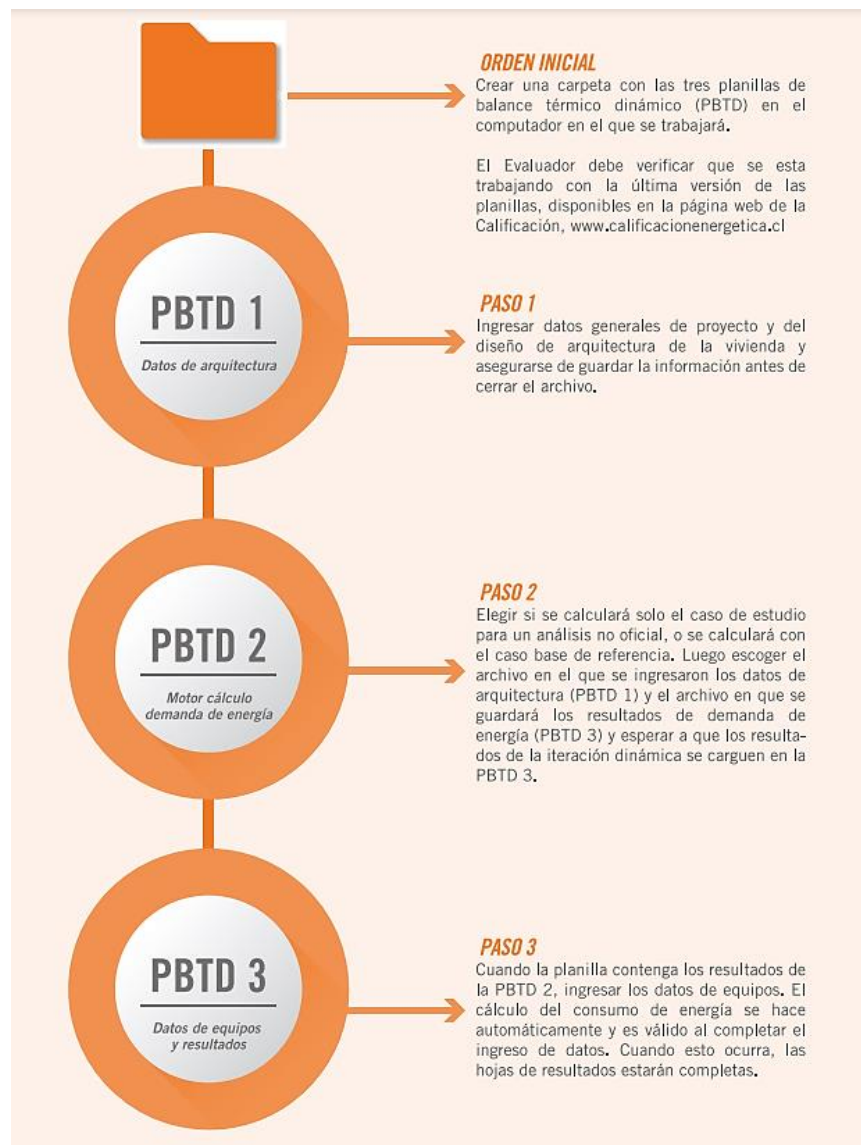


Figura 2.3: Instrucciones de uso de planillas PBTD en CEV

Fuente: [5, p. 37]

Estas planillas generan un balance térmico cada 60 segundos, y evalúan la temperatura dentro del recinto en base a los flujos de las diferentes variables de entrada [5, p. 89]. Según el Manual de la CEV, los flujos se presentan en el siguiente balance:

$$\begin{aligned} \Phi [W] = \sum & (\Phi_{cargas\ internas} + \Phi_{radiación} \pm \Phi_{envolvente} \pm \Phi_{infiltraciones} \pm \Phi_{ventilación} \\ & \pm \Phi_{puentes\ térmicos} \pm \Phi_{inercia\ térmica} \pm \Phi_{climatización}) \end{aligned} \quad (1)$$

Donde:

Φ : Potencia que provoca el cambio en la temperatura.

Cargas internas: Dependen del uso del espacio y corresponden a valores tabulados según normativa internacional y/o manuales de buenas prácticas nacionales (Manual de Certificación Edificio Sustentable y NCh 3309).

Radiación: Según datos climáticos de la zona, ingresados de manera horaria. Estos se reducen en función de las obstrucciones cercanas o lejanas.

Envolvente: Corresponde a la transferencia de calor asociada a la envolvente.

Infiltraciones: Según renovaciones de aire por infiltraciones (RAH) tabuladas asociadas a las distintas tipologías de vivienda.

Ventilación: Renovaciones de aire hora asociadas a las distintas condiciones de uso.

Puentes térmicos: Corresponde a los coeficientes de transmitancia (U) asociados a los distintos puentes térmicos.

Inercia térmica: Corresponde a valores tabulados para distintas materialidades.

Climatización: Calor que aporta un sistema de climatización. Se utiliza para medir cuál es el flujo de calor necesario para llevar la temperatura interior a los límites de la banda de confort.

La variación de temperatura en el aire interior se obtiene con el siguiente balance:

$$T_{i+1} [^{\circ}C] = T_i + \frac{\sum E_i}{m \cdot c_p} \quad (2)$$

Donde:

T_i : temperatura interior del aire en el instante i .

T_{i+1} : temperatura interior del aire en el instante $i+1$.

$\sum E_i = \sum \phi \cdot \Delta t$: sumatoria de energía intercambiada al interior del recinto, durante un intervalo de tiempo Δt , que debe ser absorbida por el aire al interior.

m : masa interior de aire del recinto.

c_p : calor específico del aire.

Las bandas de confort anteriormente mencionadas se presentan en la Figura 2.4. Para los cálculos en CEV, a diferencia de la normativa OGUC, se definen nueve zonas térmicas a lo largo del territorio nacional, designadas con letras de la A (Iquique) a la H (Calama), las cuales buscan caracterizar los distintos tipos de climas presentes en el país mediante diferentes criterios, como: la cercanía con la costa, las zonas cordilleranas, entre otros [6]. Los mapas de zonificación térmica CEV de las comunas utilizadas se encuentran en el Anexo B.

TN+2,5 °C 90% ACEPTABILIDAD CON MÉTODO DEAR Y BRAGER												
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
IQUIQUE	26,7	26,6	26,4	26,1	25,8	25,5	25,3	25,3	25,5	25,7	26,1	26,5
COPIAPÓ	26,3	26,2	25,9	25,3	24,8	24,5	24,3	24,3	24,9	25,1	25,5	25,9
VALPARAÍSO	26,1	26,0	25,7	25,3	24,9	24,6	24,4	24,5	24,7	25,1	25,5	25,9
SANTIAGO	26,6	26,5	25,9	25,0	24,2	23,5	23,6	23,8	24,4	25,1	25,6	26,3
CONCEPCIÓN	25,9	25,6	25,2	24,6	24,2	23,7	23,0	23,6	24,0	24,5	25,1	25,6
TEMUCO	25,9	25,8	25,3	24,5	24,0	23,4	23,3	23,5	23,9	24,4	24,9	25,5
OSORNO	25,6	25,3	25,0	24,3	24,0	23,4	23,2	23,3	23,7	24,2	24,9	25,5
EL TENIENTE	25,4	25,2	24,8	24,3	23,3	22,6	22,5	22,5	23,1	23,5	24,2	25,0
PUNTA ARENAS	24,5	24,1	23,7	23,0	22,4	22,0	22,0	22,1	22,6	23,3	23,5	24,0
CALAMA	25,5	25,3	24,8	24,5	24,1	23,4	23,8	23,8	24,4	24,4	25,0	25,0

a) Temperaturas máximas de la banda de confort en función de la zona térmica.

TN-2,5 °C 90% ACEPTABILIDAD CON MÉTODO DEAR Y BRAGER												
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
IQUIQUE	21,7	21,6	21,4	21,1	20,8	20,5	20,3	20,3	20,5	20,7	21,1	21,5
COPIAPÓ	21,3	21,2	20,9	20,3	19,8	19,5	19,3	19,3	19,9	20,1	20,5	20,9
VALPARAÍSO	21,1	21,0	20,7	20,3	19,9	19,6	19,4	19,5	19,7	20,1	20,5	20,9
SANTIAGO	21,6	21,5	20,9	20,0	19,2	18,5	18,6	18,8	19,4	20,1	20,6	21,3
CONCEPCIÓN	20,9	20,6	20,2	19,6	19,2	18,7	18,0	18,6	19,0	19,5	20,1	20,6
TEMUCO	20,9	20,8	20,3	19,5	19,0	18,4	18,3	18,5	18,9	19,4	19,9	20,5
OSORNO	20,6	20,3	20,0	19,3	19,0	18,4	18,2	18,3	18,7	19,2	19,9	20,5
EL TENIENTE	20,4	20,2	19,8	19,3	18,3	17,6	17,5	17,5	18,1	18,5	19,2	20,0
PUNTA ARENAS	19,5	19,1	18,7	18,0	17,4	17,3	17,0	17,1	17,6	18,3	18,5	19,0
CALAMA	20,5	20,3	19,8	19,5	19,1	18,4	18,8	18,8	19,4	19,4	20,0	20,0

b) Temperaturas mínimas de la banda de confort en función de la zona térmica.

Figura 2.4: Bandas de confort utilizadas en CEV. Fuente: [5, p. 239]

A continuación, mediante la Figura 2.5 se ejemplifica el funcionamiento de una banda de temperaturas de confort en el programa CEV, para el caso específico de Concepción. Esto corresponde a una banda de temperatura que tiene 5°C entre su valor mínimo y máximo de temperatura, y que varía mes a mes durante todo el año. Cuando la temperatura del aire al interior de la vivienda está dentro de este rango de temperaturas, no se utilizan los sistemas de climatización. En cambio, cuando estas temperaturas son inferiores o superiores a los límites de esta banda, funcionará la calefacción o el aire acondicionado, respectivamente. Las flechas rojas simbolizan el uso de calefacción cuando la temperatura es más baja, y las flechas azules simbolizan el uso de aire acondicionado cuando la temperatura es más alta.

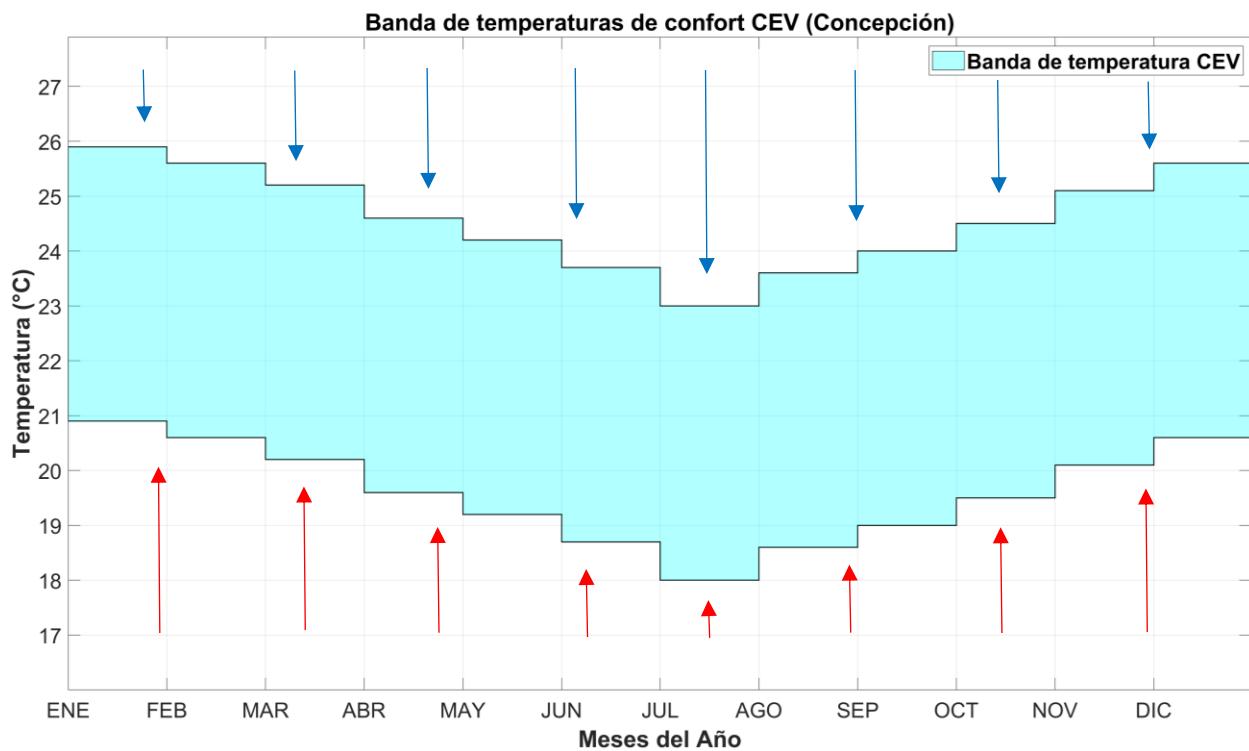


Figura 2.5: Funcionamiento de banda de temperatura de confort en CEV

2.4 Transient System Simulation Tool (TRNSYS)

Según TRNSYS [7], Transient System Simulation Tool es un programa de simulación de sistemas energéticos que permite modelar y analizar el desempeño térmico y energético de edificios, mediante la simulación del comportamiento de los sistemas transitorios. Para este trabajo, mediante la versión TRNSYS 16, se utilizará principalmente la herramienta Type56a o ‘Multi-Zone Building’, que permite generar un modelo térmico zonal mediante la importación de variables de entrada horarias de la zona geográfica a investigar. Entre estas variables se incluyen: temperatura ambiente, del cielo y del suelo, radiación solar horizontal total, radiación solar horizontal difusa, entre otras. Estas variables son interpretadas por diversas herramientas, entre ellas, la Type16i, con el fin de aplicarlas a los cálculos del modelo zonal. En el modelo zonal se definen todas las características de la envolvente de la vivienda, se importan sus cargas térmicas (usuarios e iluminación artificial), y se configuran las opciones de simulación a utilizar. A continuación, se presentan detalles del modelo mencionado.

2.4.1 Modelo de simulación utilizado en TRNSYS 16

En la Figura 2.6, se aprecia el modelo planteado en TRNSYS 16 que se emplea para simular los casos de viviendas correspondientes.

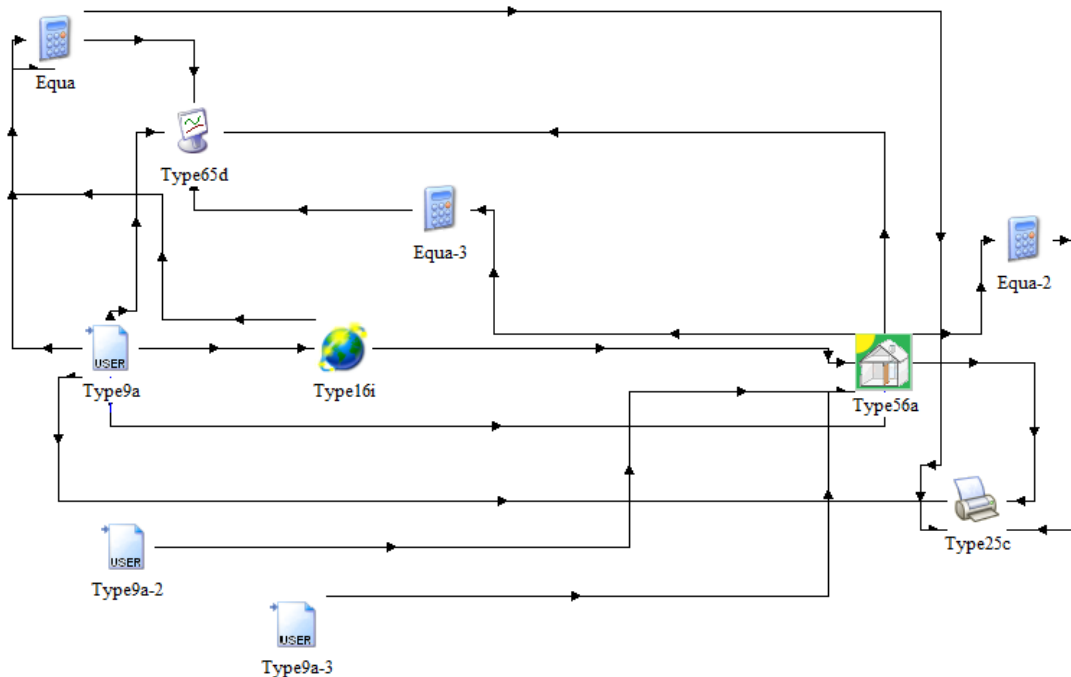


Figura 2.6: Modelo utilizado en TRNSYS 16. Fuente: Elaboración propia a partir de [7].

Las herramientas principales del modelo utilizado son:

- **3 herramientas Type9a** (Type9a, Type9a-2 y Type9a-3), que permiten importar archivos de datos externos para ser interpretados por el programa.
- **1 herramienta Type16i**, que interpola datos de radiación y es capaz de estimar cuál es la radiación que reciben las distintas superficies del modelo a distintas horas del día.
- **1 herramienta Type56a**, que es un modelo que permite crear las zonas de una vivienda, crear envolventes térmicas según requerimientos del usuario, y configurar modos como: ganancias internas, calefacción, y refrigeración, para simular el comportamiento térmico horario de la zona.

En la Figura 2.7, se presenta un esquema simplificado del método utilizado en TRNSYS.

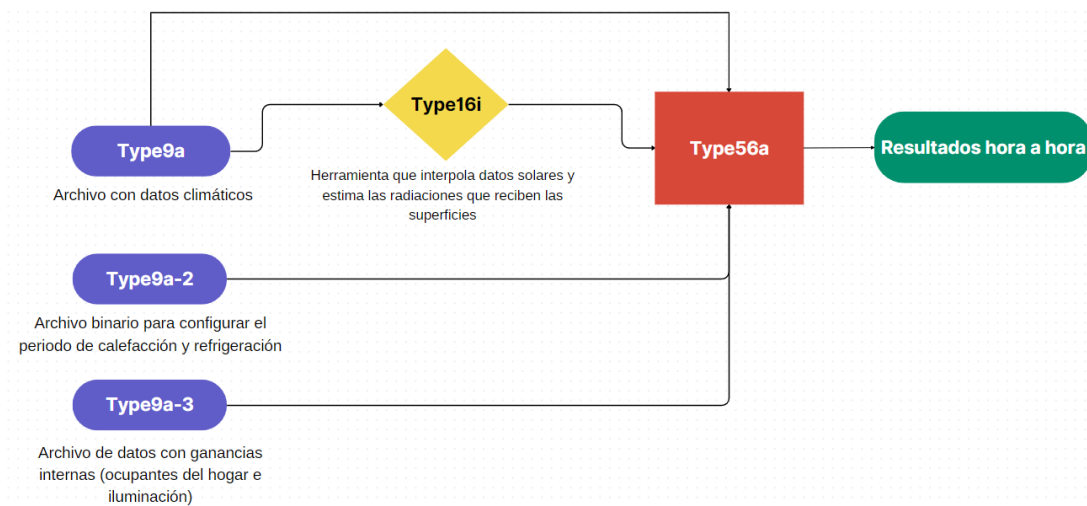


Figura 2.7. Esquema simplificado del modelo en TRNSYS

De manera específica, ‘**Type9a**’ contiene el archivo de datos climáticos de las ciudades a analizar (Concepción, Temuco y Coyhaique), que contiene datos como: radiaciones solares, temperatura ambiente, temperatura del suelo, temperatura del cielo, entre otros). ‘**Type9a-2**’ contiene un archivo binario de datos que regula el periodo de calefacción, de modo que la calefacción se encuentre apagada durante el verano y se encienda a comienzos del mes de abril hasta mediados del mes de noviembre. ‘**Type9a-3**’ contiene un archivo de datos con las ganancias internas que se usarán en el modelo, y que corresponden a las obtenidas mediante el cálculo del programa CEV, correspondiéndose a ganancias térmicas por ocupantes del hogar y por iluminación, no considerando los equipos electrónicos.

CAPÍTULO 3: Selección de comunas y tipologías de vivienda

3.1 Selección de comunas con estándares térmicos PDA

Para la realización de esta memoria, se seleccionarán tres comunas de Chile que tengan planes de descontaminación atmosférica (PDA) térmicos. Los criterios de selección de las comunas serán:

- Tener una mayor población beneficiada por su PDA, según Censo 2017 [8].
- Tener mayores concentraciones de MP, según la Figura 1.1.
- Pertener a zonas térmicas distintas, para tener mayor diversidad de climas.
- Pertener a macrozonas diferentes.

En la Tabla 3.1, se ordenan las comunas que tienen un PDA térmico vigente por: región, macrozona, zona térmica OGUC, zona térmica CEV y población beneficiada.

Tabla 3.1: Comunas con PDA térmico en Chile. Fuente: Elaboración propia a partir de datos de [6], [8] y [9].

Región	Comuna	Macrozona	Zonas Térmicas		Población beneficiada
			OGUC	CEV	
De O'Higgins	Valle Central de O'Higgins ¹	Centro Norte	3, 5, 7	D, H	705.576
Del Maule	Talca y Maule	Centro Sur	4	D	270.078
Del Maule	Valle Central de Curicó ²	Centro Sur	3, 4, 5, 7	D, H	268.248
De Ñuble	Chillán y Chillán Viejo	Centro Sur	4	F	215.646
Del Biobío	Concepción Metropolitano ³	Centro Sur	4	E	971.285
Del Biobío	Los Ángeles	Centro Sur	4	F	202.331
De La Araucanía	Temuco y Padre Las Casas	Sur	5	F	358.541
De Los Ríos	Valdivia	Sur	5	G	166.080
De Los Lagos	Osorno	Sur	5	G	161.460
De Aisén	Coyhaique	Extremo Sur	7	I	57.818

En base a la información anterior, se seleccionarán las comunas de Concepción Metropolitano, por tener la mayor cantidad de población beneficiada; las comunas de Temuco y Padre Las Casas, por ser la tercera en cantidad de población beneficiada y encontrarse en la macrozona Sur; y la comuna de Coyhaique, al ser la comuna con más concentración de MP_{2.5}, según la Figura 1.1.

¹ Se consideran las comunas de Graneros, Rancagua, Doñihue, Olivar, Coltauco, Coinco, Quinta de Tilcoco, San Vicente de Tagua Tagua y Placilla, entre otras que se incluyen parcialmente [14].

² Se consideran las comunas de Curicó, Teno, Rauco, Romeral, Sagrada Familia y Molina [15].

³ Se consideran las comunas de Concepción, Chiguayante, Hualpén, Coronel, Lota, San Pedro de la Paz, Hualqui, Talcahuano, Penco y Tomé [10].

3.2 Comparación de estándares térmicos en las comunas seleccionadas

A continuación, se comparan los estándares constructivos OGUC y PDA para las tres comunas seleccionadas: Concepción, Temuco y Coyhaique. Se detallan las diferencias en términos de aislamiento térmico entre las normativas, mediante las Tablas 3.2, 3.3 y 3.4.

Tabla 3.2: Comparación estándares térmicos Concepción. Fuente: Elaboración propia a partir de [2] y [10].

Elemento	U (W/m ² K)	
	PDA Concepción	OGUC (2007)
Techo	0,33	0,38
Muro	0,60	1,70
Piso Ventilado	0,60	0,60
Puerta	1,70	2,51

Tabla 3.3: Comparación estándares térmicos Temuco. Fuente: Elaboración propia a partir de [2] y [11].

Elemento	U (W/m ² K)	
	PDA Temuco	OGUC (2007)
Techo	0,28	0,33
Muro	0,45	1,60
Piso Ventilado	0,50	0,50
Ventana	3,60	5,80
Puerta	1,70	2,51

Tabla 3.4: Comparación estándares térmicos Coyhaique. Fuente: Elaboración propia a partir de [2] y [12].

Elemento	U (W/m ² K)	
	PDA Coyhaique	OGUC (2007)
Techo	0,25	0,25
Muro	0,35	0,60
Piso Ventilado	0,32	0,32
Ventana	3,60	5,80
Puerta	1,70	2,51

3.3 Selección de tipologías de viviendas de Chile

Se seleccionarán dos tipologías de viviendas que sean representativas, con el fin de estudiar sus demandas y ahorros energéticos en el software CEV, bajo los distintos tipos de climas (zonas térmicas) y utilizando diferentes normativas (OGUC y PDA).

En Chile existen diferentes tipos de agrupamiento de viviendas, entre las que se encuentran: edificaciones aisladas, pareadas, en línea y departamentos. Las cuales se definen a continuación, según el artículo 1.1.2 de la OGUC [2]:

- **Vivienda o Edificación aislada:** La que se encuentra separada de los deslindes, y emplazada por lo menos a las distancias establecidas por las normas sobre rasantes y distanciamientos definidas en el instrumento de planificación territorial o, en su lugar, las que establece la presente Ordenanza.
- **Vivienda o Edificación pareada:** La que corresponde a dos edificaciones ubicadas a partir de un deslinde común, y que mantienen una fachada, altura y longitud de pared adyacente (longitud de pareo) idénticas.
- **Vivienda o Edificación en línea:** La edificación emplazada a partir de los deslindes laterales opuestos de una misma propiedad, abarcando todo el frente de ésta, manteniendo un plano de fachada común con la edificación adyacente y con la altura ajustada según lo establecido por el instrumento de planificación territorial.
- **Departamento o Unidad funcional independiente:** La que forma parte de una edificación colectiva, y permite su utilización de forma independiente del resto de la edificación, aunque se acceda a ella a través de áreas o espacios compartidos.

Según CDT e IN-DATA [13], en su estudio se encontró que, a nivel país, las viviendas aisladas representaron un 38.3% de las viviendas encuestadas, mientras que las viviendas pareadas representaron un 39.1%, y los departamentos y viviendas en línea representaron un 18% y un 4,6% respectivamente, como se puede observar en la Figura 3.1, junto a los porcentajes de las zonas térmicas. Con respecto a la materialidad de las viviendas, el estudio plantea que, para la zona térmica a la que pertenece el Gran Concepción (ZT4), el 46.7% de las viviendas encuestadas son de albañilería, mientras que, para las zonas térmicas a las que pertenecen Temuco (ZT5) y Coyhaique (ZT7), más del 74% de las viviendas encuestadas son de madera o tabiquería liviana, como se ve en la Figura 3.2.

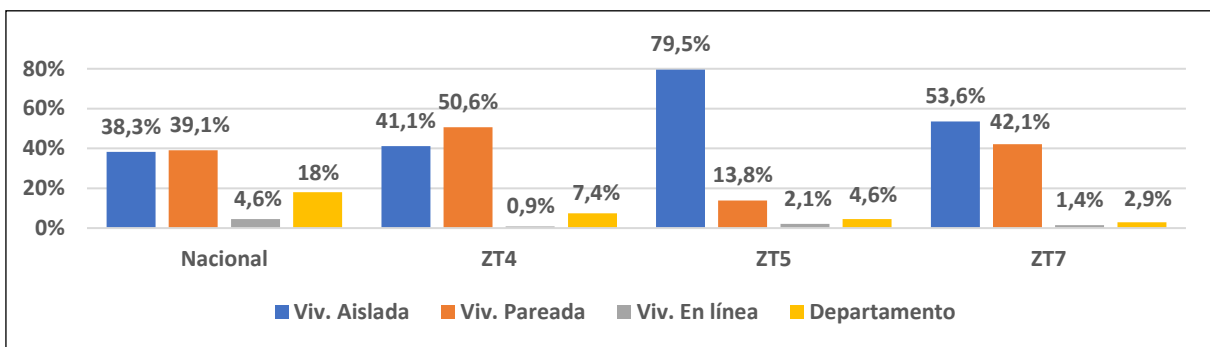


Figura 3.1: Distribución de viviendas según modo de agrupamiento y zona térmica. Fuente: [13, p. 34]

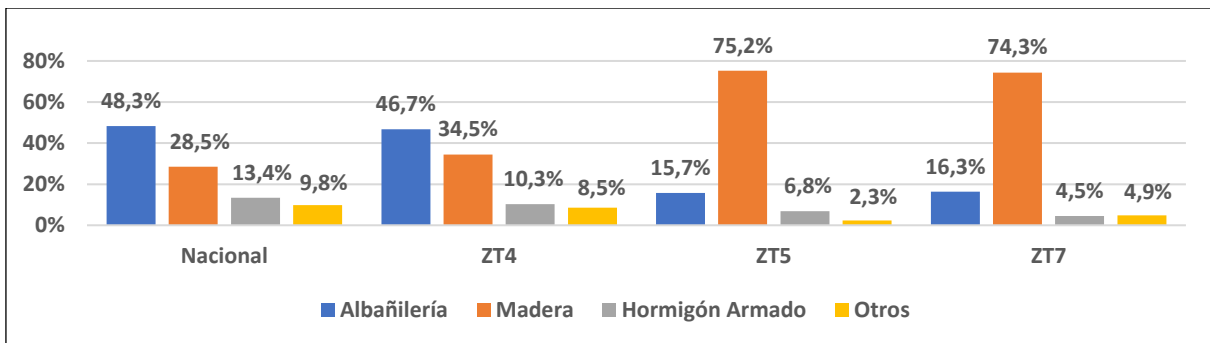


Figura 3.2: Distribución de viviendas según materialidad y zona térmica. Fuente: [13, p. 37]

Con el fin de lograr una mayor representatividad en los tipos de viviendas, y considerando que una casa aislada es el caso más desfavorable térmicamente, para este trabajo se seleccionará un modelo de casa aislada y un modelo de departamento, con el fin de investigar las diferencias que tienen las normativas térmicas OGUC y PDA en estos tipos de viviendas mediante el programa de la Calificación Energética de Viviendas y TRNSYS.

3.3.1 Tipología de casa aislada y especificaciones de diseño

Para este trabajo, se utilizará un modelo de vivienda aislada de una empresa de la Región del Biobío. Esta corresponde a una vivienda de dos pisos de materialidad mixta, con un primer piso de albañilería y un segundo piso de madera. La vivienda cuenta con un techo a dos aguas que incluye dos ventanas: una en el Dormitorio 2 y otra en la Sala del segundo piso. En la Figura 3.3, se presentan los planos de las vistas de la primera y segunda planta de la vivienda.

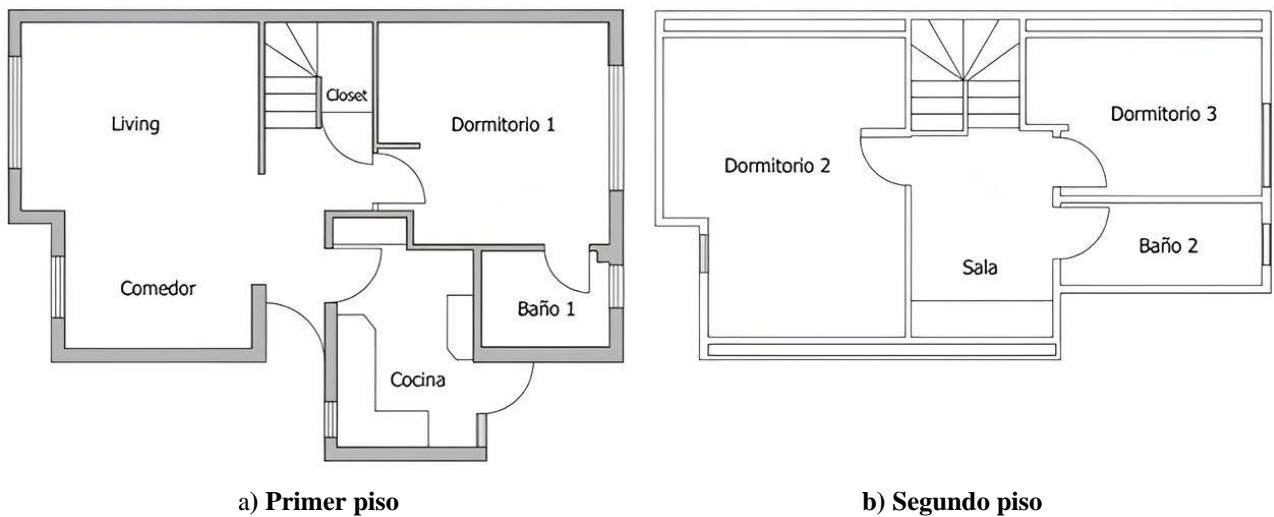


Figura 3.3: Planos de vistas de la tipología de vivienda aislada. Fuente: Elaboración propia

En la Tabla 3.5, se presentan algunas de las características principales de la vivienda:

Tabla 3.5: Características tipología vivienda aislada. Fuente: Elaboración propia

Superficie útil (primer piso)	45,64 m ²
Superficie útil (segundo piso)	36,58 m ²
Altura Cielo (primer piso)	2,3 m
Altura Cielo (segundo piso)	1,8 m
Área Paramentos Verticales	93,7 m ²
Área Muros Envolvente	83,8 m ²
Área Ventanas Norte	5,7 m ²
Área Ventanas Sur	4,2 m ²
Área Ventanas Tejado	1,26 m ²
Área Tejado	45,64 m ²

3.3.2 Tipología de departamento y especificaciones de diseño

Para este trabajo, se utilizará un modelo de departamento de una empresa de la Región del Biobío. Corresponde a un departamento intermedio orientado hacia el norte con una estructura de hormigón armado. En la Figura 3.4, se presenta el plano base del departamento.

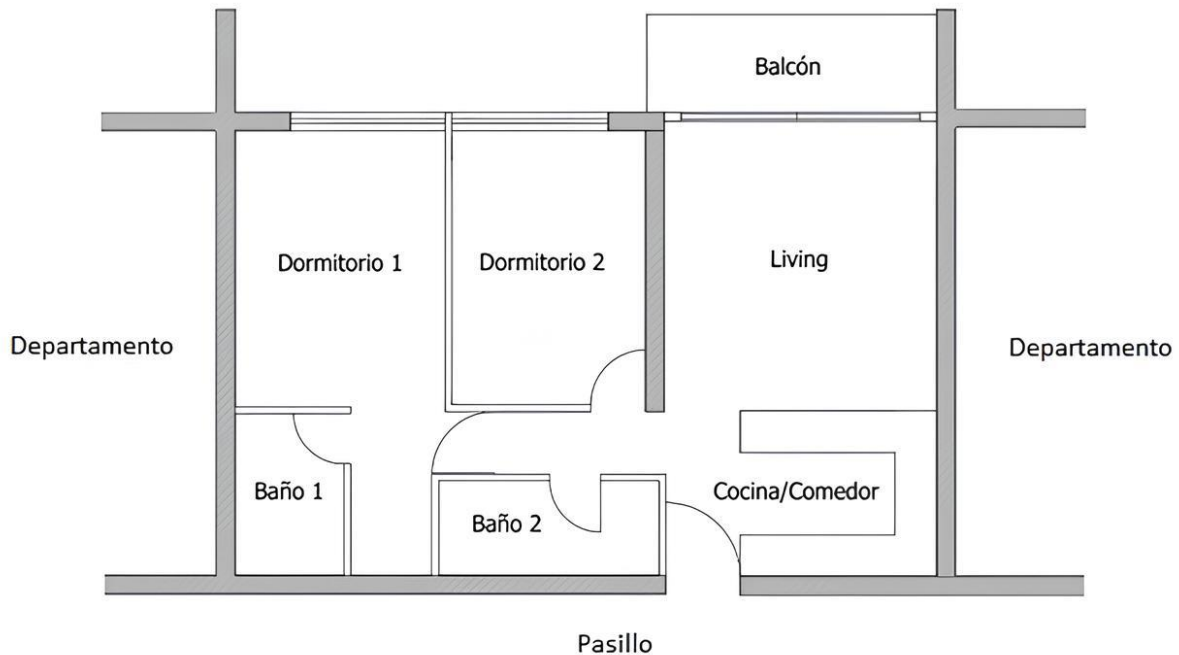


Figura 3.4: Planos tipología departamento. Fuente: Elaboración propia.

En la Tabla 3.6, se presentan las características y datos principales del departamento:

Tabla 3.6: Características tipología departamento. Fuente: Elaboración propia

Superficie útil	45,6 m ²
Área Ventanas Norte	8,5 m ²
Área Muros Envolvente	11 m ²
Área Paramentos Verticales	62 m ²
Altura Cielo	2,3 m

CAPÍTULO 4: Simulaciones en CEV

A continuación, se detallan los resultados planteados para los seis casos en total, considerando que son dos tipologías de viviendas (vivienda aislada y departamento) y, además, tres zonas térmicas distintas (Concepción, Temuco y Coyhaique). Se presentará en un orden a partir de la tipología de vivienda, donde, además, se mencionarán las consideraciones realizadas al momento de modelar la arquitectura de la vivienda en el programa de la CEV.

Debido a que el programa de la CEV genera el caso base, con el que compara los casos propuestos, mediante un promedio con la rotación del caso base en 4 orientaciones distintas, se optará por realizar los cálculos y las comparaciones mediante casos base propios basados en las zonas térmicas OGUC correspondientes.

4.1 Vivienda Aislada CEV

Dependiendo de cada zona térmica, se tomaron las siguientes consideraciones con respecto a la envolvente:

- **Concepción:** Primer piso de la vivienda es de albañilería, mientras que el segundo es de material liviano. Techo de material liviano con cámara de aire no ventilada.
- **Temuco:** Primer y segundo piso de la vivienda son de material liviano. Techo de material liviano con cámara de aire no ventilada.
- **Coyhaique:** Primer y segundo piso de la vivienda son de material liviano. Techo de material liviano con cámara de aire no ventilada.

Se utilizarán los valores de U de las Tablas 3.2, 3.3 y 3.4 para evaluar las envolventes térmicas de las viviendas en las distintas zonas térmicas durante las simulaciones. En el Anexo C, se incluyen los parámetros de arquitectura y los datos ingresados al programa CEV para uno de los casos, con el fin de mostrar el proceso de simulación en detalle.

4.1.1 Resultados del caso Vivienda Aislada CEV

A continuación, se presentan los resultados obtenidos para el caso vivienda aislada mediante simulación en CEV en la Tabla 4.1.

Tabla 4.1: Resultados CEV caso vivienda aislada. Fuente: Elaboración propia.

Caso Vivienda Aislada (CEV)	Concepción		Temuco		Coyhaique	
	PDA	Base (OGUC)	PDA	Base (OGUC)	PDA	Base (OGUC)
Etiquetado energético	B	-	B	-	D	-
Demanda Calefacción [kWh/m²-año]	38,1	87,2	42,0	113,0	129,8	180,1
% Ahorro Demanda Calefacción	56%	-	63%	-	28%	-
Demanda Refrigeración [kWh/m²-año]	5,3	12,8	9,0	21,9	0	0
% Ahorro Demanda Refrigeración	59%	-	59%	-	-	-
Demanda Total [kWh/m²-año]	43,4	99,9	51,1	135,0	129,8	180,1
% Ahorro Demanda Total	57%	-	62%	-	28%	-

Los porcentajes de ahorro corresponden a la comparación porcentual entre las demandas energéticas del caso PDA y del caso base OGUC, y se calcularon de la siguiente manera:

$$\% \text{ Ahorro Demanda} = \left(\frac{\text{Demanda OGUC} - \text{Demanda PDA}}{\text{Demanda OGUC}} \right) \times 100\% \quad (3)$$

La demanda energética total corresponde a la suma de la demanda por calefacción y la demanda por refrigeración. El etiquetado energético se obtiene según el porcentaje de ahorro de la demanda total, mediante la Figura 2.2.

Respecto a los resultados, estos logran mostrar coherencia al disminuir las demandas energéticas de las viviendas al implementar estándares PDA, debido a la mejora de sus envolventes térmicas respecto a la normativa OGUC. Se logra un 57% y un 62% de ahorro en Concepción y Temuco, respectivamente, mientras que sólo se logra un 28% en Coyhaique, lo que es esperable debido a las altas exigencias térmicas que tiene la normativa OGUC en esta zona, si es comparada con su respectivo PDA.

4.2 Departamento CEV

Para cada zona térmica, se considera que la envolvente del departamento es de hormigón armado. También se considera que los departamentos contiguos por: los laterales, el suelo (departamento del piso inferior), el techo (departamento del piso superior) y el pasillo, se encuentran a la misma temperatura, por lo que no se considera transferencia de calor por la envolvente, más que por el único muro exterior con dirección al norte.

Se utilizaron los valores de U de las Tablas 3.2, 3.3 y 3.4 para evaluar las envolventes térmicas de los departamentos en las distintas zonas térmicas durante las simulaciones. En el Anexo D, se incluyen los parámetros de arquitectura y los datos ingresados al programa CEV para uno de los casos, con el fin de mostrar el proceso de simulación en detalle.

4.2.1 Resultados del caso Departamento CEV

A continuación, en la Tabla 4.2, se presentan los resultados obtenidos para el caso departamento mediante simulación en CEV.

Tabla 4.2: Resultados CEV caso departamento. Fuente: Elaboración propia.

Caso Departamento (CEV)	Concepción		Temuco		Coyhaique	
	PDA	Base (OGUC)	PDA	Base (OGUC)	PDA	Base (OGUC)
Etiquetado energético	E	-	E	-	D	-
Demanda Calefacción [kWh/m²-año]	0	5,6	1,8	11,2	27,1	54,3
% Ahorro Demanda Calefacción	100%	-	84%	-	50%	-
Demanda Refrigeración [kWh/m²-año]	42,4	35,0	42,4	34,1	13,8	5,4
% Ahorro Demanda Refrigeración	-21%	-	-24%	-	-156%	-
Demanda Total [kWh/m²-año]	42,4	40,6	44,2	45,3	40,9	59,7
% Ahorro Demanda Total	-4%	-	2%	-	31%	-

Los porcentajes de ahorro corresponden a la comparación porcentual entre las demandas energéticas del caso PDA y del caso base OGUC, y se calcularon mediante la ecuación (3). La demanda energética total corresponde a la suma de la demanda por calefacción y la demanda por refrigeración. El etiquetado energético se obtiene según la Figura 2.2.

Respecto a los resultados, los tres casos PDA presentan disminuciones en sus demandas por calefacción, que se corresponden a las mejoras en las transmitancias térmicas de sus envolventes. Sin embargo, los tres casos también presentan aumentos en sus demandas de refrigeración, en contraste con los casos PDA en viviendas aisladas, donde estos disminuyen.

En el caso PDA de Concepción, se observa un fenómeno poco realista en el que la demanda de calefacción disminuye a 0 [kWh/m²año]. Al obtener un valor nulo en la demanda de calefacción, significa que la temperatura interior del departamento se mantuvo sobre la banda inferior de confort durante cada hora del año, lo que es inusual y podría deberse a un error en el programa. Este comportamiento, sumado al aumento en la demanda de refrigeración, genera un ahorro total negativo de un -4%, lo que significa que, el departamento, en lugar de ser más eficiente, demanda más energía en comparación con el caso base OGUC. En el caso PDA de Temuco se produce algo similar, sin embargo, no se producen valores nulos en las demandas energéticas, ni porcentajes de ahorro negativos. En el caso PDA de Coyhaique presenta un ahorro en su demanda de calefacción de un 50%, sin embargo, su demanda de refrigeración aumenta al igual que en los casos anteriores, resultando en un ahorro en la demanda total de un 31%.

Se presentan problemas al evaluar el desempeño de los departamentos de Concepción y Temuco en CEV, ya que se generan sobrecalentamientos, lo que se puede evidenciar por el alto porcentaje de demanda de refrigeración en comparación a la de calefacción, sin embargo, esto podría deberse a un caso de inercia térmica debido al uso de solo un muro exterior como envolvente para la simulación, el cual es de hormigón armado y tiene una alta masa térmica, lo que supondría una acumulación de energía durante el día, y que tiende a mantenerse a pesar de la fluctuación de las temperaturas exteriores.

CAPÍTULO 5: Simulaciones en TRNSYS

Las consideraciones utilizadas para el modelo se presentan en el Anexo E.

5.1 Vivienda Aislada en TRNSYS

5.1.1 Gráficos de temperaturas hora a hora sin calefacción entre OGUC y PDA

En la Figura 5.1 se presentan gráficos comparativos de temperaturas de todo el año para la vivienda aislada ubicada en Concepción, donde la calefacción y el aire acondicionado se encuentran apagados para poder distinguir las diferencias entre las curvas de temperatura según las normativas térmicas. Los periodos de tiempo que representan los gráficos abarcan desde: (a) 1 de enero al 30 de abril, (b) 1 de mayo al 31 de agosto, y (c) 1 de septiembre al 31 de diciembre. Las curvas representan: temperatura exterior (en azul), temperatura interior OGUC (en rojo) y temperatura interior PDA (en amarillo).

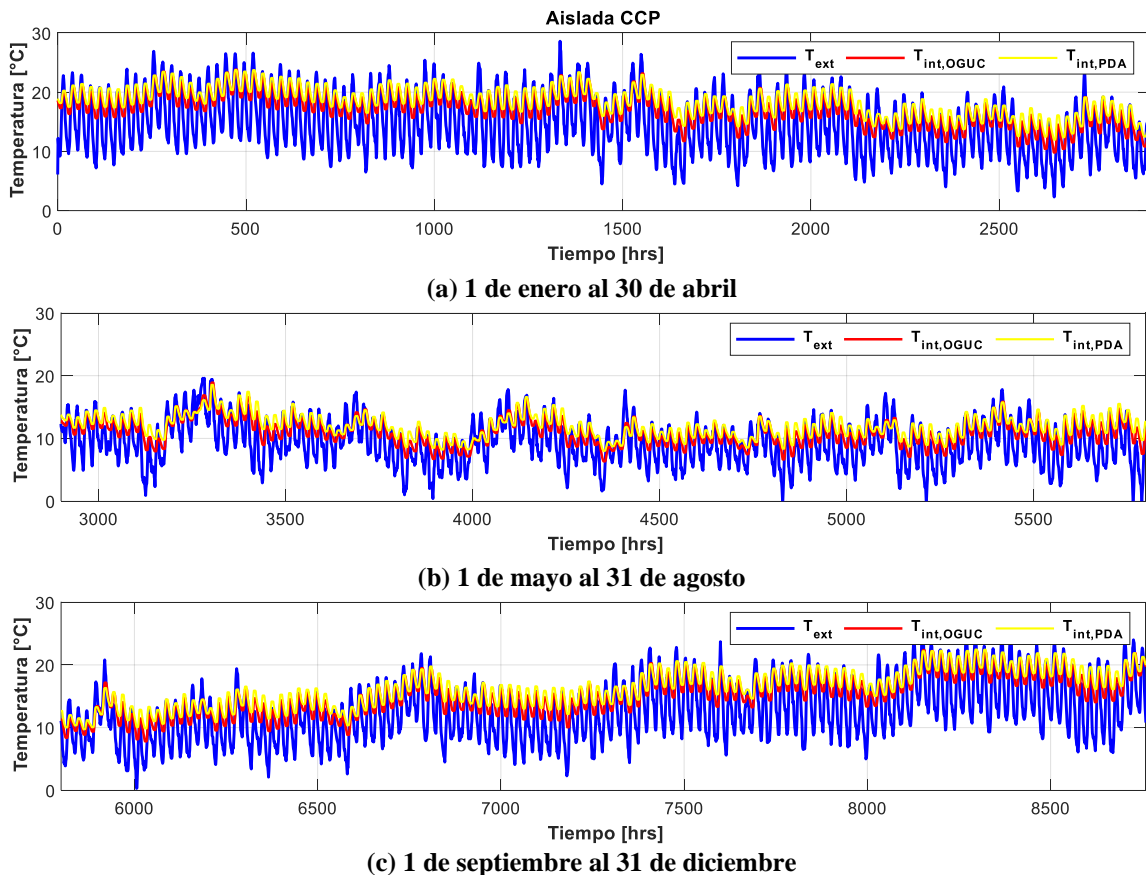


Figura 5.1: Gráfico de temperaturas de vivienda aislada en Concepción - Sin Calefacción en TRNSYS.

Fuente: Elaboración propia.

Se puede apreciar en la Figura 5.1, una leve superposición de la línea amarilla (PDA) por sobre la roja (OGUC), lo que se traduce en un aumento en las temperaturas de la simulación con estándares PDA, reflejando los beneficios que presentan las mejoras en sus coeficientes de transmitancia térmica, en este caso, siendo el U de los muros el que presenta una mayor diferencia, pasando de un valor de 1,7 a 0,6 (W/m²K).

Los gráficos comparativos de temperaturas de viviendas aisladas de las comunas de Temuco y Coyhaique se presentan en el Anexo E. En Temuco hay un leve aumento en las temperaturas para el PDA, al igual que en el caso anterior (Concepción), mientras que la diferencia se vuelve menos notoria para el caso de Coyhaique, ya que la diferencia entre las transmitancias térmicas de las dos normativas no es tan notoria como en los casos ya mencionados.

5.1.2 Gráficos de temperaturas mensuales promedio con calefacción entre OGUC y PDA

En esta sección, se presentan las temperaturas mensuales promedio de la simulación entre las dos normativas para las viviendas aisladas en Concepción, Temuco y Coyhaique, por medio de la Figura 5.2, 5.3 y 5.4, respectivamente.

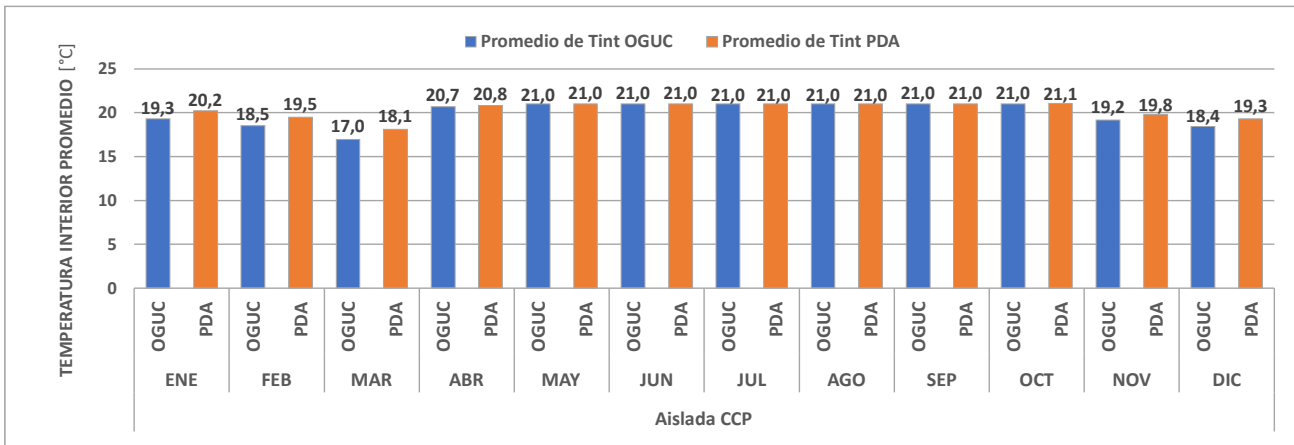


Figura 5.2. Temperaturas mensuales promedio para caso ‘Vivienda Aislada CCP’ en TRNSYS. Fuente: Elaboración propia.

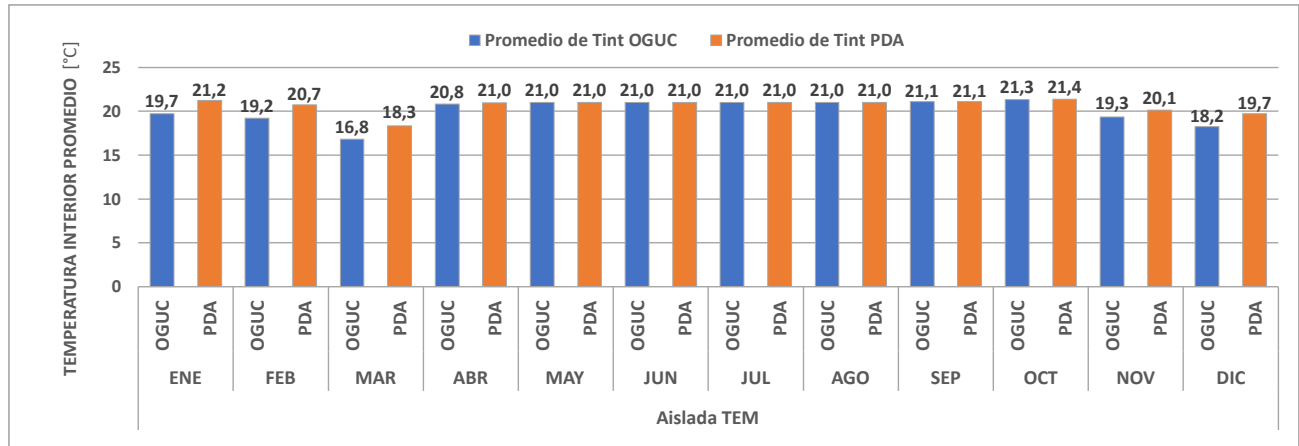


Figura 5.3. Temperaturas mensuales promedio para caso ‘Vivienda Aislada TEM’ en TRNSYS. Fuente: Elaboración propia.

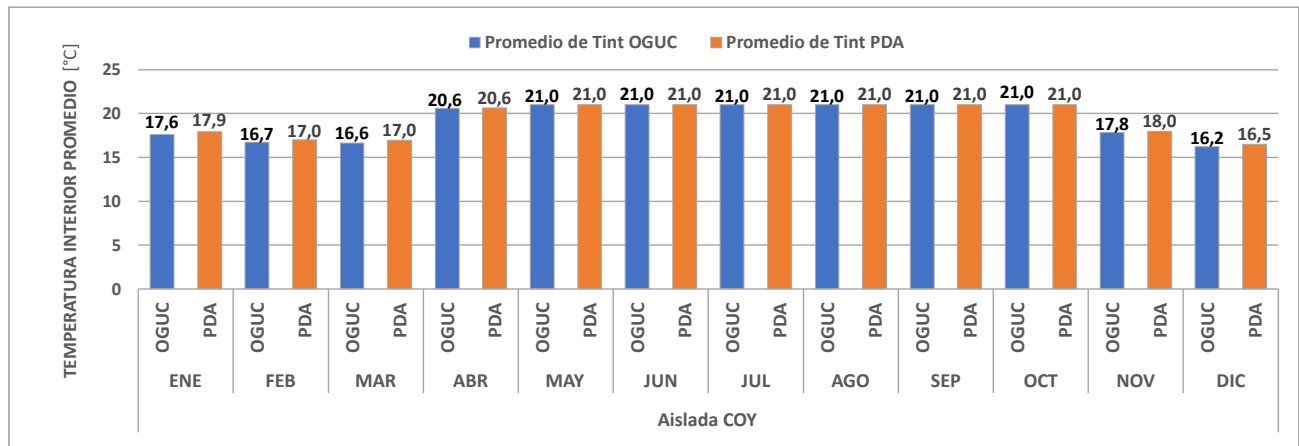


Figura 5.4. Temperaturas mensuales promedio para caso ‘Vivienda Aislada COY’ en TRNSYS. Fuente: Elaboración propia.

Debido a la temperatura de configuración de la calefacción en 21°C entre los meses de abril y octubre en la simulación, las temperaturas promedio no presentan variaciones significativas en estos meses. Durante los meses de calefacción, es decir, entre noviembre y marzo, se pueden notar los aumentos en los promedios de temperatura entre la OGUC y PDA. Para los casos de Concepción y Temuco se nota un aumento cercano a 1°C, mientras que en Coyhaique las diferencias son menores. Además, como la refrigeración o aire acondicionado fue configurado para encenderse a temperaturas superiores a 24°C en los meses de verano, el promedio de las temperaturas interiores disminuyó en Temuco, debido a que las temperaturas exteriores superaron varias veces los 24°C, llegando en ocasiones por sobre los 30°C, como se puede ver en el Anexo E, en la Figura E.1.

5.1.3 Gráficos de demandas mensuales de calefacción entre OGUC y PDA

A continuación, en la Figura 5.5, 5.6 y 5.7, se muestran las demandas mensuales de calefacción para viviendas aisladas en Concepción, Temuco y Coyhaique, comparadas según la normativa térmica utilizada.

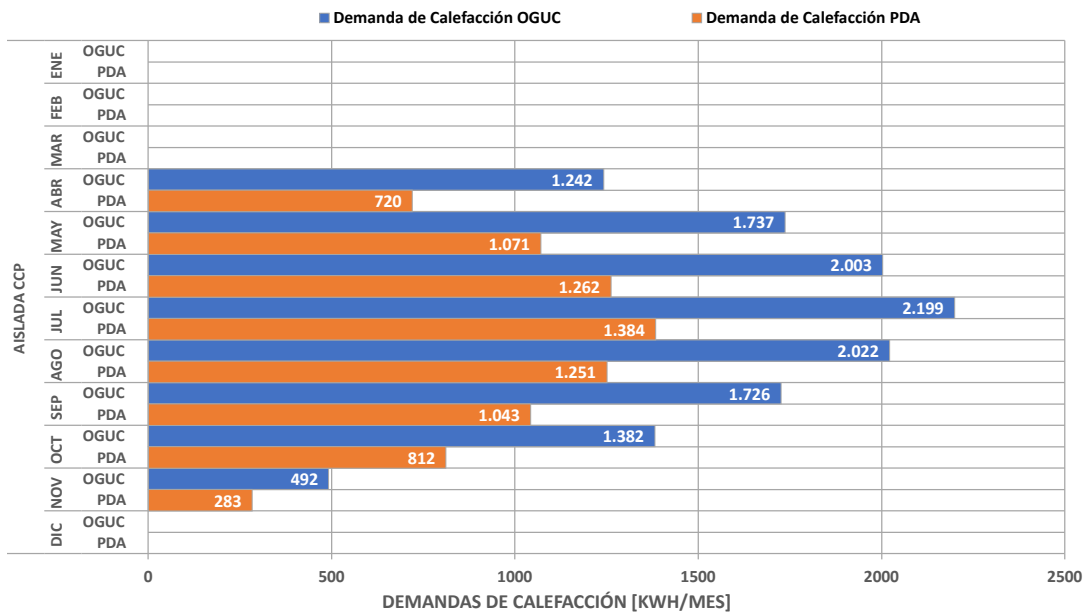


Figura 5.5. Demandas mensuales de calefacción para caso ‘Vivienda Aislada CCP’ en TRNSYS. Fuente: Elaboración propia.

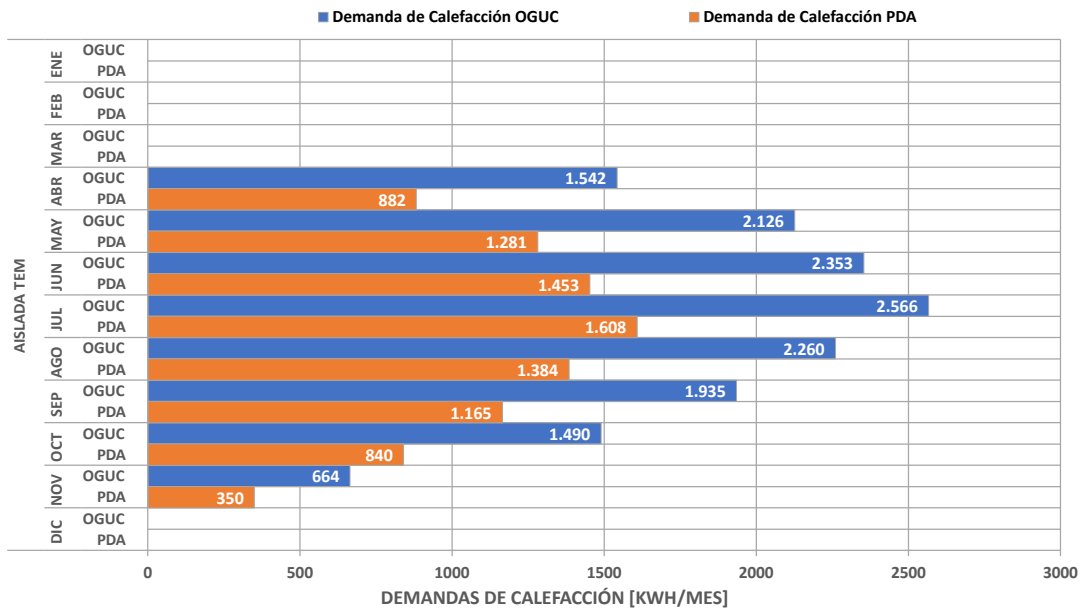


Figura 5.6. Demandas mensuales de calefacción para caso ‘Vivienda Aislada TEM’ en TRNSYS. Fuente: Elaboración propia.

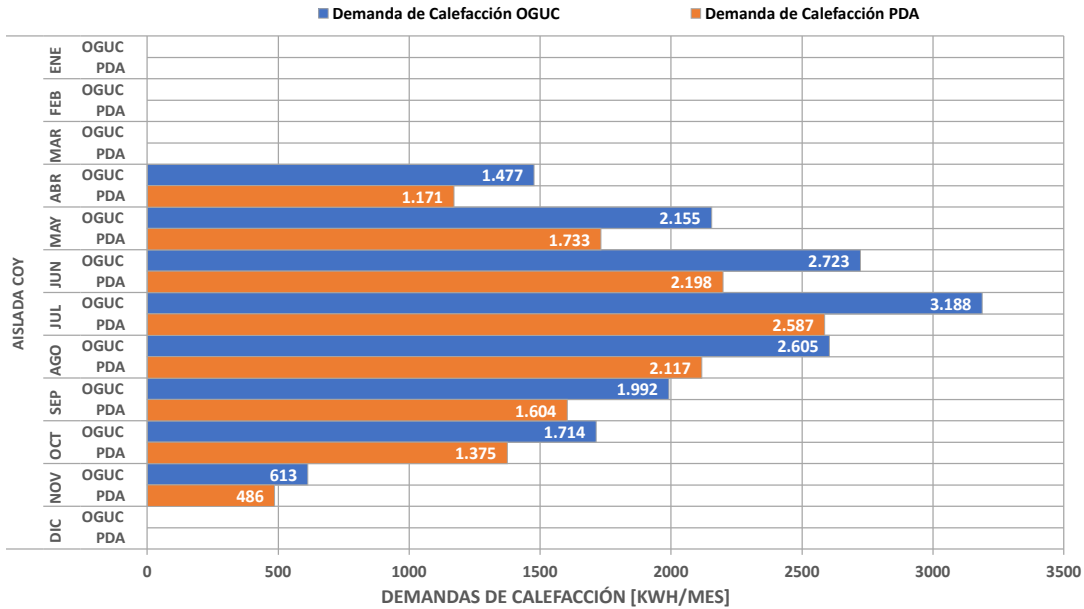


Figura 5.7. Demandas mensuales de calefacción para caso ‘Vivienda Aislada COY’ en TRNSYS. Fuente: Elaboración propia.

Respecto a la Figura 5.5 y a la Figura 5.6, correspondientes a los casos ‘Vivienda Aislada Concepción’ y ‘Vivienda Aislada Temuco’, en ambas pueden notarse disminuciones considerables en sus demandas de calefacción a lo largo del periodo de calefacción, logrando reducciones de 2199 a 1384 (kWh/mes), y de 2566 a 1608 (kWh/mes) respectivamente en el mes de julio.

De la Figura 5.7, que corresponde al caso ‘Vivienda Aislada Coyhaique’, se puede observar una disminución no tan considerable como en los dos casos anteriores, aun así, logra reducir su demanda energética en cerca de 500 (kWh/mes) durante el mes de julio, mes con la mayor demanda energética del año. La ligera disminución se debe a que los estándares OGUC en la zona de Coyhaique tienen valores U considerablemente más bajos que en otras comunas del país, por lo que, mediante la normativa PDA de Coyhaique, los cambios no parecieran ser significativos, sin embargo, no deja de ser una de las reglamentaciones más estrictas del país, en lo que a eficiencia térmica se refiere.

5.2 Departamento en TRNSYS

5.2.1 Gráficos de temperaturas hora a hora sin calefacción entre OGUC y PDA

En la Figura 5.8 se presentan gráficos de temperaturas de todo el año para el departamento ubicado en Concepción, donde la calefacción y el aire acondicionado se encuentran apagados para poder distinguir las diferencias entre las curvas de temperaturas según las normativas térmicas. Los periodos de tiempo que representan los gráficos abarcan desde: (a) el 1 de enero hasta el 30 de abril, (b) el 1 de mayo al 31 de agosto, y (c) 1 de septiembre al 31 de diciembre. Las curvas representan: temperatura exterior (en azul), temperatura interior OGUC (en rojo) y temperatura interior PDA (en amarillo).

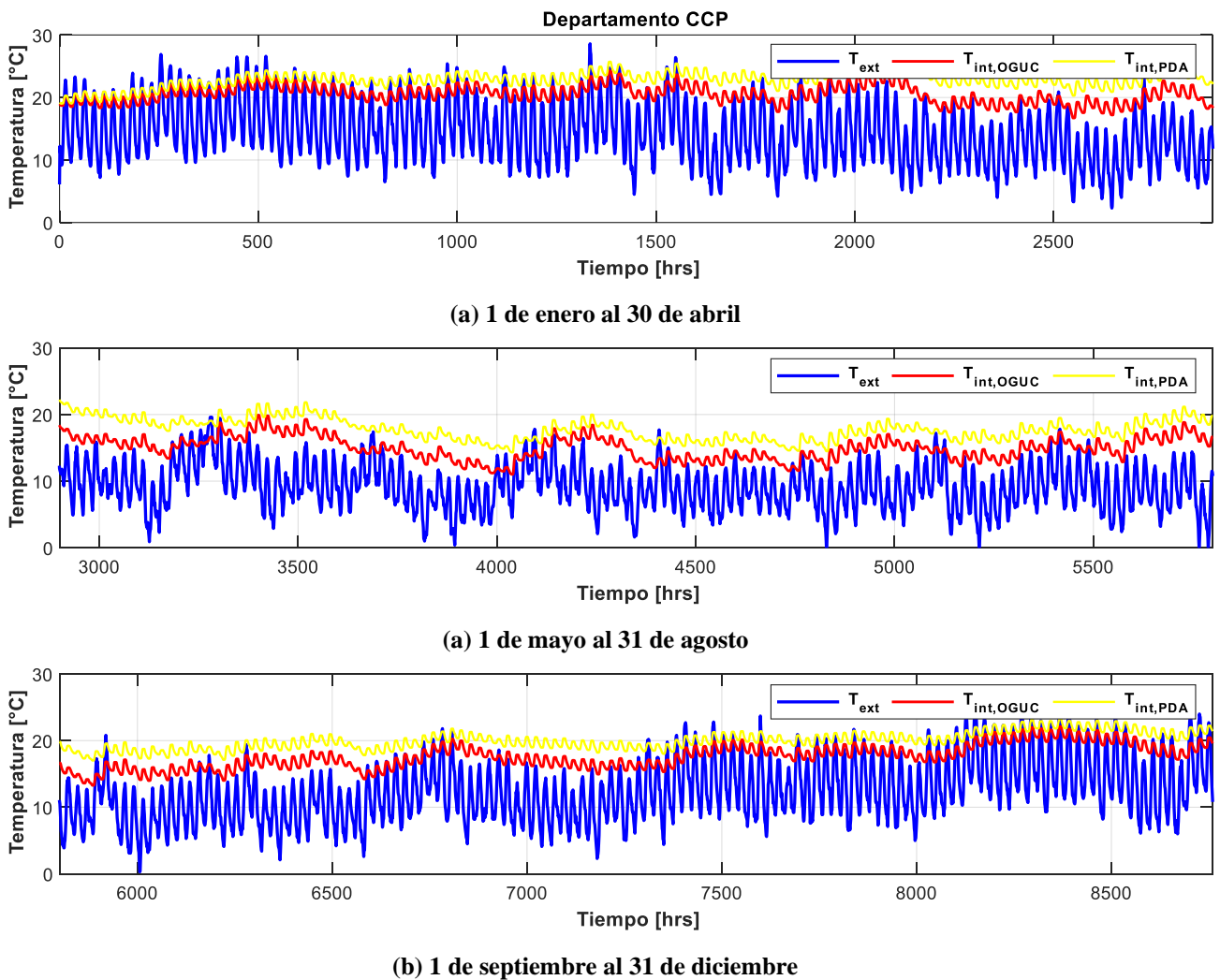


Figura 5.8: Gráfico de temperaturas de departamento en Concepción - Sin Calefacción en TRNSYS. Fuente: Elaboración propia.

En este gráfico se puede apreciar una diferencia mayor de temperatura entre la línea amarilla (PDA) y la línea roja (OGUC), que se vuelve más notoria durante el periodo de invierno y vuelve a asimilarse con la línea roja al final del año. A simple vista, los cambios en su temperatura no tienen una gran sensibilidad a los cambios en la temperatura exterior, a diferencia del caso “Casa Aislada CCP”, donde hay una correlación más evidente. La suposición realizada es que sólo el muro exterior intercambia energía con el ambiente (no hay transferencia de calor en el resto de los muros, suelo, ni techo), y eso puede generar un efecto de inercia térmica en el departamento, haciendo que gane o pierda energía de manera más pausada, lo que podría estar generando este efecto, que también se aprecia en los momentos en que la temperatura exterior aumenta, y ambas curvas terminan encontrándose a una temperatura similar.

Debido a que las mejoras en los valores de U de la envolvente son los mismos que en el ejemplo antes mencionado, las diferencias en las temperaturas se pueden deber a la suma de dos factores: al menor volumen de la vivienda (menor demanda energética), y a la suposición mencionada anteriormente, de que sólo el muro exterior intercambia energía con el ambiente (por lo que no hay pérdidas a través del resto de la envolvente).

Los gráficos comparativos de temperaturas de departamentos de las comunas de Temuco y Coyhaique se presentan en el Anexo C. Al igual que en el caso anterior, los gráficos de temperatura PDA de Temuco presentan similitudes con el caso anterior, observando una diferencia de temperatura y un efecto de inercia térmica. Para el caso de Coyhaique, existe una diferencia de temperatura que se puede notar con mayor facilidad en los meses de invierno, sin embargo, ambas curvas presentan variaciones similares durante la simulación, pudiendo deberse a efectos de inercia térmica en ambas modalidades, debido a la similitud de los valores de U que se utilizan en esa zona.

5.2.1 Gráficos de temperaturas mensuales promedio con calefacción entre OGUC y PDA

En esta sección, se presentan las temperaturas mensuales promedio de la simulación entre las dos normativas para los departamentos en Concepción, Temuco y Coyhaique, por medio de las Figura 5.9, 5.10 y 5.11, respectivamente.

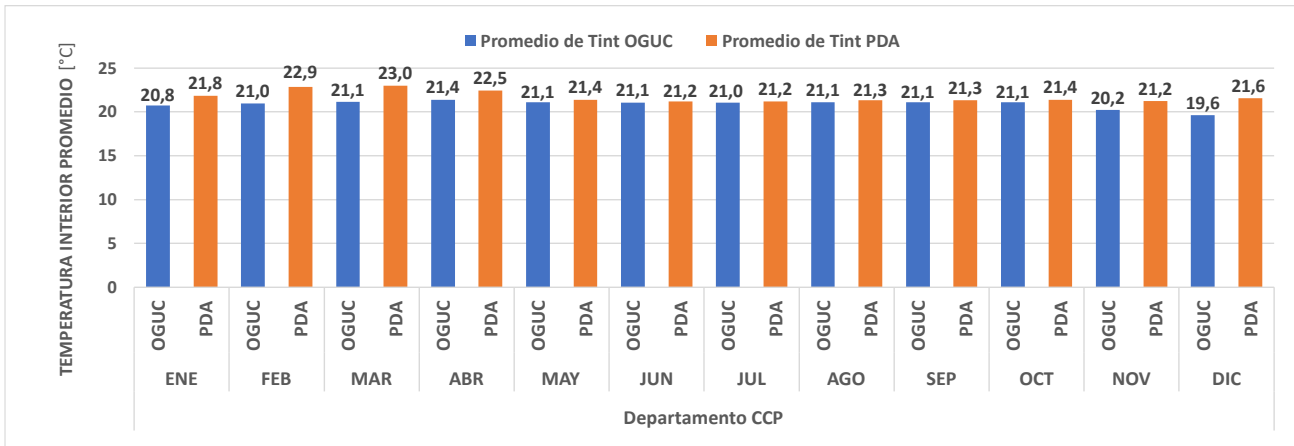


Figura 5.9. Temperaturas mensuales promedio para caso ‘Departamento CCP’ en TRNSYS. Fuente: Elaboración propia.

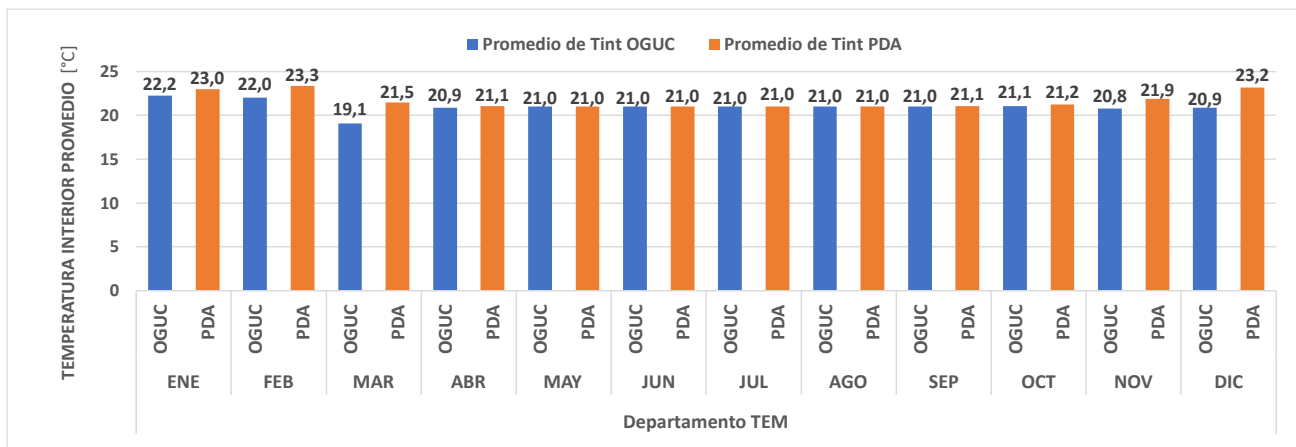


Figura 5.10. Temperaturas mensuales promedio para caso ‘Departamento TEM’ en TRNSYS. Fuente: Elaboración propia.

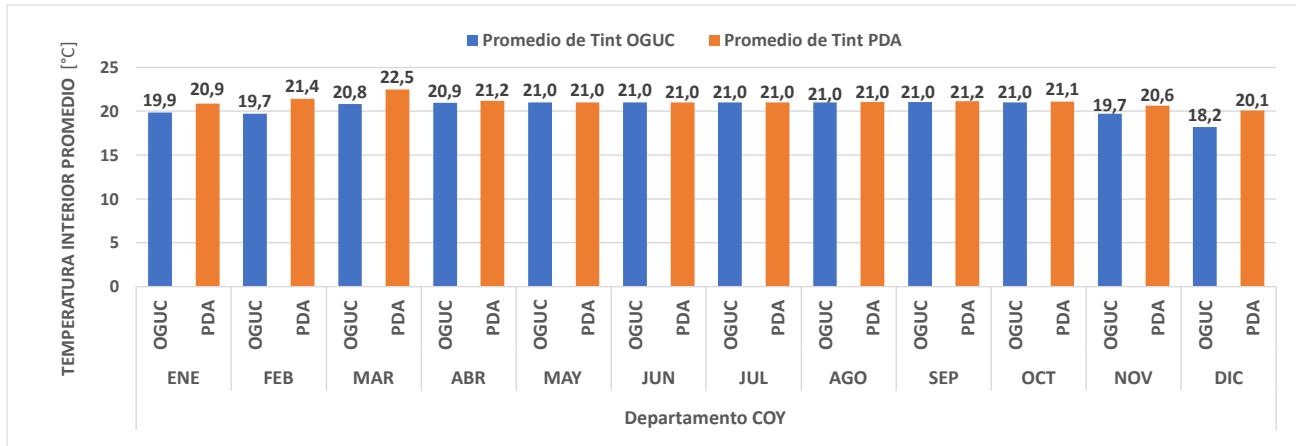


Figura 5.11. Temperaturas mensuales promedio para caso ‘Departamento COY’ en TRNSYS. Fuente: Elaboración propia.

Nuevamente, debido a la temperatura de configuración de la calefacción en 21°C entre los meses de abril y octubre en la simulación, las temperaturas promedio no presentan variaciones significativas en estos meses. Durante los meses de verano, se pueden notar los aumentos en los promedios de temperatura respecto al caso estudiado de viviendas aisladas, donde se llegan a superar los 23°C promedio en verano por tres meses en Temuco, y en una ocasión en Concepción. Como la refrigeración fue configurada para encenderse a temperaturas superiores a 24°C en los meses de verano, el promedio de las temperaturas disminuyó en general.

5.2.2 Gráficos de demandas mensuales de calefacción entre OGUC y PDA

A continuación, en la Figura 5.12, 5.13 y 5.14, se muestran las demandas mensuales de calefacción calculadas para los departamentos en Concepción, Temuco y Coyhaique, comparados según la normativa térmica utilizada.

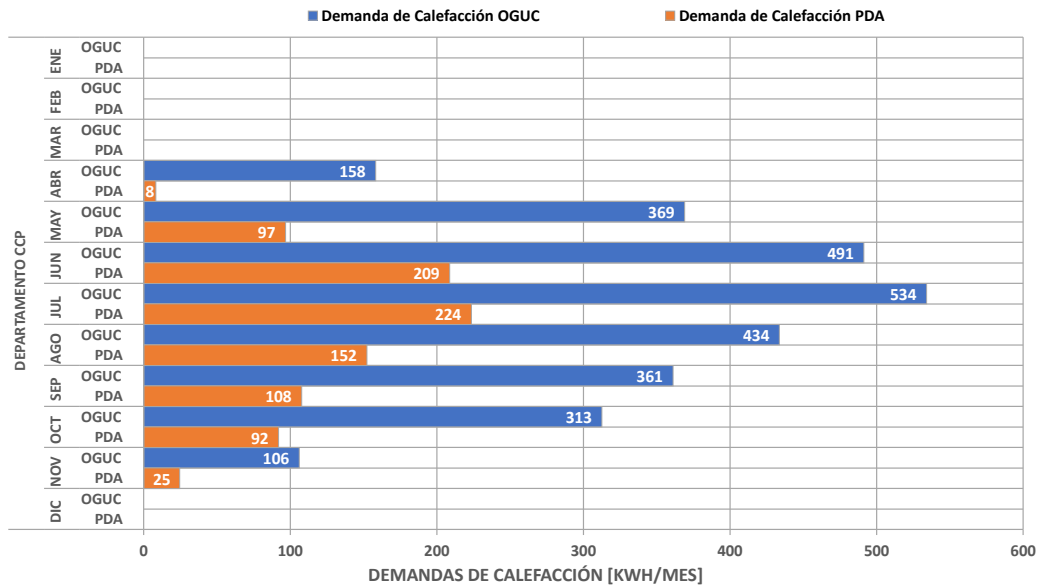


Figura 5.12. Demandas mensuales de calefacción para caso ‘Departamento CCP’ en TRNSYS. Fuente: Elaboración propia.

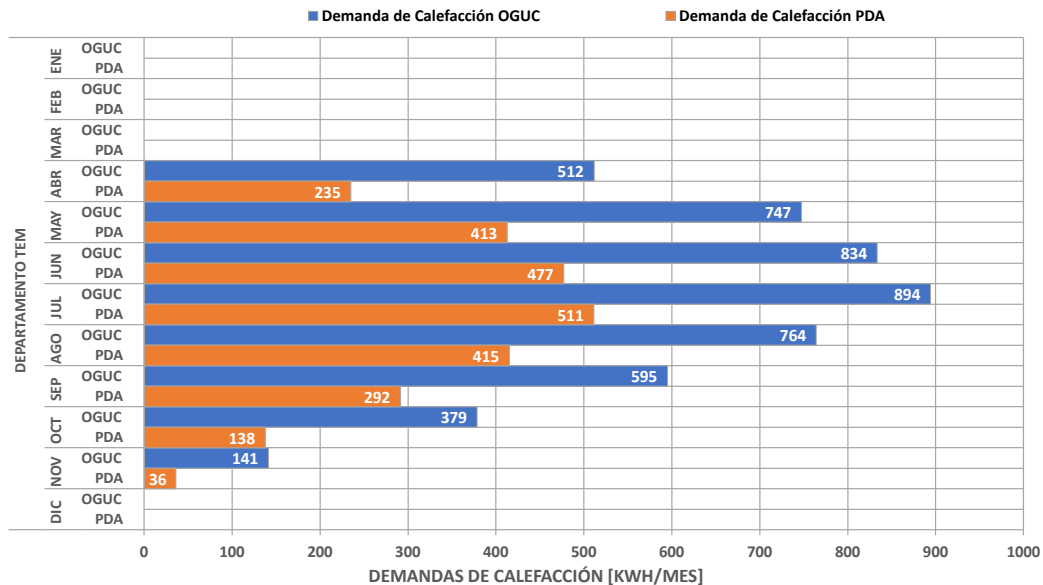


Figura 5.13. Demandas mensuales de calefacción para caso ‘Departamento TEM’ en TRNSYS. Fuente: Elaboración propia.

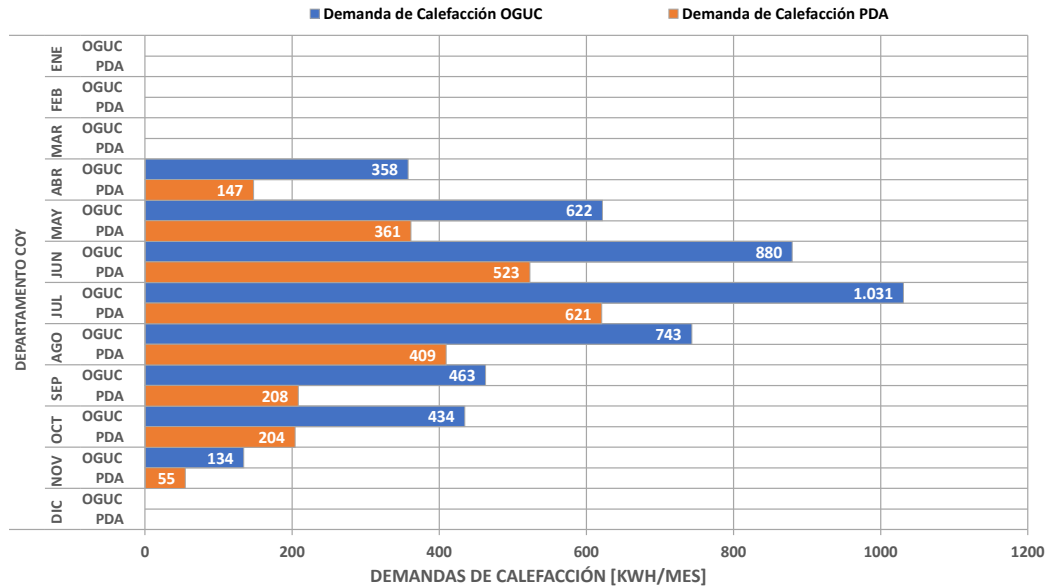


Figura 5.14. Demandas mensuales de calefacción para caso ‘Departamento COY’ en TRNSYS. Fuente: Elaboración propia.

Respecto a la Figura 5.12, correspondiente al caso ‘Departamento Concepción’, se puede notar una gran disminución en la demanda de calefacción en el mes de Abril, disminuyendo de 158 a solo 8 (kWh/mes), mientras que, en el mes de Julio, mes de invierno donde hay más demanda de calefacción, el PDA reduce la demanda a menos de la mitad que para el caso OGUC, de 534 a 224 (kWh/mes).

De la Figura 5.13, que corresponde al caso ‘Departamento Temuco’, se nota nuevamente una disminución notable en la demanda de calefacción, llegando a una disminución cercana al 50% en todos los meses donde la calefacción está activa.

En la Figura 5.14, correspondiente al caso ‘Departamento Coyhaique’, se aprecia una disminución considerable en la demanda térmica. Aun cuando la diferencia entre los valores U entre ambas normativas para la comuna de Coyhaique son bajos comparados al resto de comunas de Chile, se logró una disminución en la demanda del mes de julio desde 1.031 a 621 (kWh/mes), una reducción de casi un 40%.

5.3 Resultados generales en TRNSYS

Para finalizar con el estudio de simulaciones entre normativas térmicas PDA y OGUC en TRNSYS, se presentan los resultados generales de demandas de calefacción anuales y demandas de refrigeración anuales, según normativa y tipo de vivienda en la Figura 5.15 y la Figura 5.16, respectivamente.

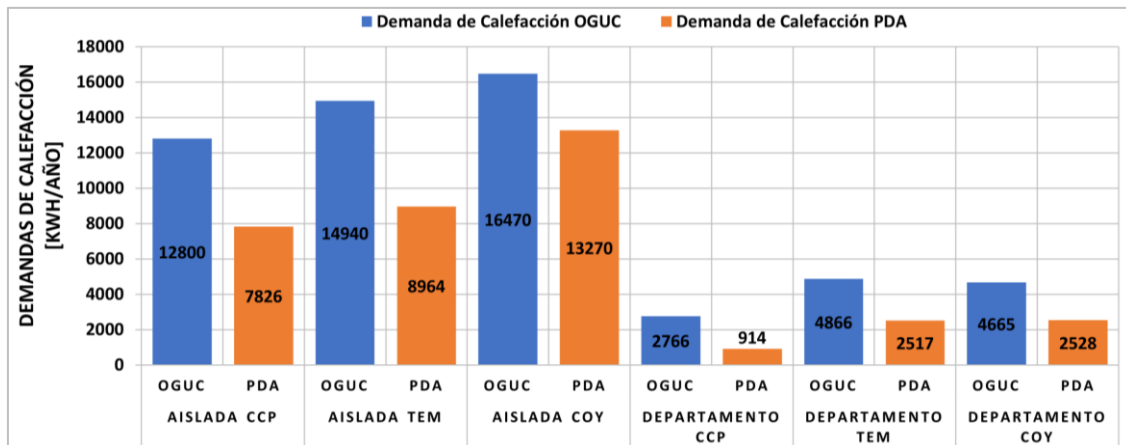


Figura 5.15. Demandas de calefacción anuales según normativa y tipo de vivienda en TRNSYS. Fuente: Elaboración propia.

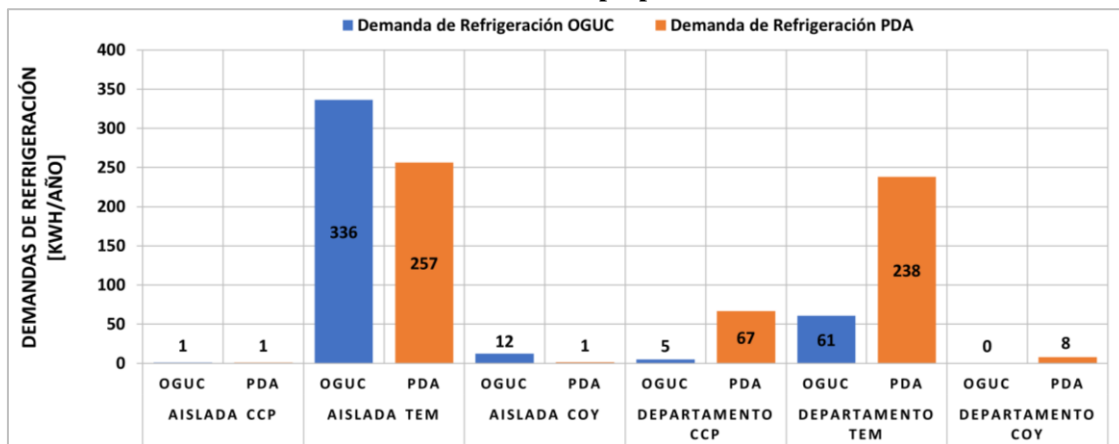


Figura 5.16. Demandas de refrigeración anuales según normativa y tipo de vivienda en TRNSYS. Fuente: Elaboración propia.

De la Figura 5.15 se puede concluir que mediante la mejora en la normativa térmica se logró disminuir las demandas de calefacción en todos los casos planteados, es decir, tanto en viviendas aisladas como en departamentos, y tanto en zonas térmicas del centro-sur como del extremo sur. En la Figura 5.16 se puede observar que, en las viviendas aisladas, la demanda de refrigeración tiende a disminuir, mientras que en los departamentos tiende a haber un aumento. Esto es debido al efecto combinado

entre la disminución del U y a la inercia térmica del muro exterior, debido a que el material de la envolvente de los departamentos, en este caso hormigón armado, almacena calor y proporciona una ‘inercia’ contra las temperaturas exteriores que fluctúan.

En la Tabla 5.1 y en la Tabla 5.2 se presentan las demandas de calefacción, refrigeración y totales, según tipo de vivienda, en función de su superficie útil.

Tabla 5.1. Demandas de climatización para viviendas aisladas en TRNSYS. Fuente: Elaboración propia.

Caso Vivienda Aislada (TRNSYS)	Concepción		Temuco		Coyhaique	
	PDA	Base (OGUC)	PDA	Base (OGUC)	PDA	Base (OGUC)
Etiquetado energético	D	-	D	-	E	-
Demanda Calefacción [kWh/m²-año]	95,2	155,7	109,0	181,7	161,4	200,2
% Ahorro Demanda Calefacción	39%	-	40%	-	19%	-
Demanda Refrigeración [kWh/m²-año]	0	0	3,1	4,1	0	0,2
% Ahorro Demanda Refrigeración	-	-	24%	-	100%	-
Demanda Total [kWh/m²-año]	95,2	155,7	112,1	185,8	161,4	200,4
% Ahorro Demanda Total	39%	-	40%	-	19%	-

Tabla 5.2. Demandas de climatización para departamentos en TRNSYS. Fuente: Elaboración propia.

Caso Departamento (TRNSYS)	Concepción		Temuco		Coyhaique	
	PDA	Base (OGUC)	PDA	Base (OGUC)	PDA	Base (OGUC)
Etiquetado energético	B	-	C	-	C	-
Demanda Calefacción [kWh/m²-año]	20,1	60,8	55,3	106,9	55,5	102,5
% Ahorro Demanda Calefacción	67%	-	48%	-	46%	-
Demanda Refrigeración [kWh/m²-año]	1,5	0,1	5,2	1,3	0,2	0
% Ahorro Demanda Refrigeración	-1400%	-	-300%	-	-	-
Demanda Total [kWh/m²-año]	21,6	60,9	60,5	108,2	55,7	102,5
% Ahorro Demanda Total	65%	-	44%	-	46%	-

Respecto a la Tabla 5.1, que presenta los resultados de las viviendas aisladas en TRNSYS, se pueden observar disminuciones tanto en la demanda de calefacción como en la demanda de refrigeración al mejorar el estándar térmico mediante PDA. El porcentaje de ahorro en la demanda total es cercano al 40% tanto en el caso de Concepción como en el caso de Temuco, mientras que solo logra un 19% en el caso de Coyhaique. Esto es debido a que las normativas térmicas OGUC de la zona térmica a la que pertenece Coyhaique (ZT7) son más exigentes que en el resto de zonas del país, y a la vez, la normativa PDA es bastante similar, por lo que no se logra un ahorro de más de 20% en la demanda total. Debido a esto, se propone reevaluar los coeficientes U planteados por el PDA en esta zona térmica, y en otras donde no se logre sobrepasar un porcentaje de ahorro total a discutir, que podría estar entre un 30% a un 40% para una vivienda aislada, que corresponde al caso más desfavorable térmicamente.

En la Tabla 5.2, que presenta los resultados de los departamentos en TRNSYS, se observa una reducción en la demanda de calefacción con PDA en todos los casos, lo que es esperable. Sin embargo, también se produce un aumento en la demanda de refrigeración en todos los casos, lo que puede deberse a inercia térmica por el tipo de materialidad de los departamentos.

Tabla 5.3: Porcentajes de ahorro entre normativas OGUC y PDA en TRNSYS. Fuente: Elaboración propia.

Tipo de Vivienda (TRNSYS)	% de Ahorro Demanda Calefacción	% de Ahorro Demanda Refrigeración	% de Ahorro Demanda Total
Vivienda Aislada CCP	39%	No Aplica	39%
Vivienda Aislada TEM	40%	24%	40%
Vivienda Aislada COY	19%	92%	19%
Departamento CCP	67%	-1.240%	65%
Departamento TEM	48%	-290%	44%
Departamento COY	46%	No Aplica	46%

De la Tabla 5.3 se puede comentar que, para la mayoría de los casos estudiados mediante TRNSYS, la demanda de calefacción tiende a ser mucho mayor que la demanda de refrigeración, y por lo tanto no se producen reducciones considerables en el porcentaje de ahorro total. Para los casos ‘Departamento CCP’ y ‘Departamento TEM’ se presenta variaciones negativas bastante altas debido a que las demandas de refrigeración OGUC son cercanas a 0, sin embargo, solo terminan reduciendo el porcentaje de ahorro total en un 2% y 4%, respectivamente.

CAPÍTULO 6: Conclusiones

Mediante la realización de esta memoria, se pudieron evaluar dos tipologías de vivienda representativas (viviendas aisladas y departamentos) en tres comunas de distintas regiones y zonas térmicas de nuestro país, específicamente de las zonas centro y sur: Concepción, Temuco y Coyhaique. Todo esto con el fin de comprobar las diferencias que producen las normativas térmicas PDA y OGUC, al ser aplicadas a la práctica mediante simulaciones teóricas en los programas CEV y TRNSYS. En la Tabla 6.1 y Tabla 6.2 se muestran las demandas energéticas para cada caso analizado, según cada programa.

Tabla 6.1: Resultados de demandas energéticas en CEV. Fuente: Elaboración propia.

Tipo de Vivienda (CEV)	Normativa	Demanda de Calefacción [kWh/m²año]	Demanda de Refrigeración [kWh/m²año]	Demanda Total [kWh/m²año]
Vivienda Aislada CCP	PDA	38,1	5,3	43,4
	OGUC	87,2	12,8	100
Vivienda Aislada TEM	PDA	42	9	51
	OGUC	113	21,9	134,9
Vivienda Aislada COY	PDA	129,8	0	129,8
	OGUC	180,1	0	180,1
Departamento CCP	PDA	0	42,4	42,4
	OGUC	5,6	35	40,6
Departamento TEM	PDA	1,8	42,4	44,2
	OGUC	11,2	34,1	45,3
Departamento COY	PDA	27,1	13,8	40,9
	OGUC	54,3	5,4	59,7

En la Tabla 6.1, se pueden apreciar aumentos en las demandas de calefacción a medida que las edificaciones se desplazan a zonas térmicas con menores temperaturas, lo que es de esperarse. Llama la atención las altas demandas de refrigeración en los departamentos, tanto OGUC como PDA, que llegan a alcanzar la totalidad de la demanda energética en casos como el de ‘Departamento Concepción PDA’. Los departamentos, al ser de hormigón armado, tienen una masa térmica alta, lo

que genera un efecto de inercia térmica que absorbe parte de las ganancias solares e internas, produciendo un aumento en el promedio de las temperaturas durante el día, lo que conduce a las altas demandas de refrigeración en los casos de departamentos OGUC. En el caso de los departamentos PDA, en comparación a los OGUC, la demanda de refrigeración aumenta más debido a que, al estar más aislada la vivienda, esto impide que se disipen las ganancias solares y las ganancias internas, produciendo un aumento adicional en la demanda de refrigeración.

Tabla 6.2: Resultados de demandas energéticas en TRNSYS. Fuente: Elaboración propia.

Tipo de Vivienda (TRNSYS)	Normativa	Demanda de Calefacción [kWh/m ² año]	Demanda de Refrigeración [kWh/m ² año]	Demanda Total [kWh/m ² año]
Vivienda Aislada CCP	PDA	95,2	0	95,2
	OGUC	155,7	0	155,7
Vivienda Aislada TEM	PDA	109	3,1	112,1
	OGUC	181,7	4,1	185,8
Vivienda Aislada COY	PDA	161,4	0	161,4
	OGUC	200,2	0,2	200,4
Departamento CCP	PDA	20,1	1,5	21,6
	OGUC	60,8	0,1	60,9
Departamento TEM	PDA	55,3	5,2	60,5
	OGUC	106,9	1,3	108,2
Departamento COY	PDA	55,5	0,2	55,7
	OGUC	102,5	0	102,5

Para el caso de TRNSYS, en la Tabla 6.2, se observan mayores demandas de calefacción en comparación a CEV, debido a que al configurar la temperatura de calefacción en 21°C en TRNSYS, más energía es requerida comparado al caso de CEV, que cuenta con un rango de temperaturas de confort, lo que hace que la calefacción deje de funcionar a una menor temperatura. Al igual que en la Tabla 6.1, se producen aumentos en las demandas de refrigeración en los departamentos respecto a sus normativas, sin embargo, no se obtuvieron altas demandas de refrigeración como en el caso CEV. En la Tabla 6.3 se presentan los porcentajes de ahorro de la demanda energética entre las normativas PDA y OGUC, calculadas tanto en CEV como en TRNSYS.

Tabla 6.3: Porcentajes de ahorro energético entre PDA y OGUC, mediante CEV y TRNSYS. Fuente: Elaboración propia.

Tipo de Vivienda	Programa	Demanda Total [kWh/m ² año]		% de Ahorro Demanda Total
		PDA	OGUC	
Vivienda Aislada CCP	CEV	43,4	99,9	57%
	TRNSYS	95,2	155,7	39%
Vivienda Aislada TEM	CEV	51	135	62%
	TRNSYS	112,1	185,8	40%
Vivienda Aislada COY	CEV	129,8	180,1	28%
	TRNSYS	161,4	200,4	19%
Departamento CCP	CEV	42,4	40,6	-4%
	TRNSYS	21,6	60,9	65%
Departamento TEM	CEV	44,2	45,3	2%
	TRNSYS	60,5	108,2	44%
Departamento COY	CEV	40,9	59,7	31%
	TRNSYS	55,7	102,5	46%

Respecto a TRNSYS, se lograron resultados coherentes para los ahorros en demanda de calefacción para ambos tipos de viviendas, donde las demandas de refrigeración tienen un menor impacto en el porcentaje de ahorro de demanda total. Para el caso de viviendas aisladas, se logran valores cercanos al 40% tanto en Concepción como en Temuco, mientras que solo se obtiene un 19% en Coyhaique. En el caso de departamentos, se obtiene un mayor porcentaje de ahorro en demanda total en Concepción, con un 65%, a diferencia de Temuco y Coyhaique, que presentan valores cercanos al 45%.

Respecto a CEV, en el caso de las viviendas aisladas, se obtuvieron porcentajes de ahorro total cercanos al 60% en Concepción y Temuco, mientras que en Coyhaique se obtuvo un 28%. Estos resultados son desde un 9% a un 22% mayores en comparación a los obtenidos mediante TRNSYS, promediando un 16% entre los tres casos. Además, debido al menor porcentaje de ahorro para la vivienda aislada Coyhaique en ambos programas, en comparación a las otras comunas, se propone mejorar la normativa PDA de esta zona térmica, y de otras, donde no se logre superar el 20% de ahorro en la demanda energética, ya que esto equivale a un etiquetado energético E según MINVU, lo que significa una diferencia no significativa respecto a la normativa OGUC.

Para las simulaciones de departamentos en CEV, se produjeron altas demandas de refrigeración debido a los efectos de inercia térmica, o a otros factores que, debido a que no son de acceso público en el programa, no se pudieron verificar. Eso produjo en ciertos casos que la demanda total correspondiera en gran mayoría a la demanda de refrigeración, llegando a generar porcentajes de ahorro negativos que no permitieron compararlos entre programas, debido a la incoherencia en sus resultados.

En ambos programas, para los casos de departamentos PDA en comparación a OGUC, se notaron aumentos en las demandas de refrigeración. Esto se debe a que, como la vivienda se encuentra más aislada, esto impide que se disipen las ganancias solares y las ganancias internas. Esto se resuelve limitando las ganancias solares en verano mediante sombras bien diseñadas para que no sean bloqueadas en invierno, y con una sobreventilación cuando sea necesario, es decir, cuando la temperatura exterior en verano sea menor que la interior. Esto se puede resolver mediante ventilación controlada.

Se observan diferencias entre las magnitudes de las demandas de calefacción y de refrigeración entre un programa y otro. Para el caso de CEV, se presentan mayores demandas de refrigeración en los casos de departamentos, lo que provoca una baja significativa en el porcentaje de ahorro en demanda total. Se recomienda utilizar un programa como TRNSYS, con un modelo más preciso, para calcular el porcentaje de ahorro de una vivienda al pasar de OGUC a PDA, debido a la predominancia de la demanda de calefacción por sobre la de refrigeración que se presenta en todos los casos, a diferencia de CEV, que parece presentar problemas en los casos de departamentos.

Referencias

- [1] Sistema Nacional de Información Ambiental, “Reporte del Estado del Medio Ambiente 2022”, 2022. [En línea]. Disponible en: <https://sinia.mma.gob.cl/estado-del-medio-ambiente/reporte-del-estado-del-medio-ambiente-2022/>
- [2] Ministerio de Vivienda y Urbanismo, “Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones”, 2022. [En línea]. Disponible en: https://ptovaras.cl/obras/plan_regulador_otros/OGUC-Febrero-2022-D.S.-13-D.O.-28-02-2022-PMS.pdf
- [3] Ministerio del Medio Ambiente, “Guía de Calidad del Aire y Educación Ambiental”, dic. 2016. Accedido: 1 de abril de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://ppda.mma.gob.cl/wp-content/uploads/2018/07/Guia-educacion-calidad-aire.pdf>
- [4] Ministerio de Vivienda y Urbanismo, “PDA en las zonas geográficas de Chile”. [En línea]. Disponible en: <https://www.minvu.gob.cl/ditec/>
- [5] Ministerio de Vivienda y Urbanismo, “Manual de Procedimientos: Calificación Energética de Viviendas en Chile (2da edición)”, Santiago, ene. 2019. Accedido: 2 de abril de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://www.calificacionenergetica.cl/media/Manual-CEV-2019.pdf>
- [6] Ministerio de Vivienda y Urbanismo, “Estándares de Construcción Sustentable para viviendas, Tomo II: Energía”, 2018.
- [7] TRNSYS, “TRNSYS - Transient System Simulation Tool”. Accedido: 2 de abril de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://www.trnsys.com>
- [8] Instituto Nacional de Estadísticas de Chile, “Resultados Censo 2017”. [En línea]. Disponible en: <http://resultados.censo2017.cl/>
- [9] Ministerio de Vivienda y Urbanismo, “Planos de Zonificación Térmica. Zonificación de grados día de calefacción a nivel comunal”, 2006. [En línea]. Disponible en: https://www.curriculumnacional.cl/614/articles-230010_recurso_6.pdf
- [10] Diario Oficial de la Republica de Chile, “Plan de Descontaminación Atmosférica para Concepción Metropolitana”, vol. 42530, 17 de diciembre de 2019.
- [11] Diario Oficial de la Republica de Chile, “Plan de Descontaminación Atmosférica para Temuco y Padre Las Casas”, 41.309, 17 de noviembre de 2015.
- [12] Diario Oficial de la Republica de Chile, “Plan de Descontaminación Atmosférica para Coyhaique”, 42.405, 17 de julio de 2019.
- [13] CDT y IN-DATA, “Usos de la energía de los hogares de Chile”, 2018. Accedido: 10 de mayo de 2023. [En línea]. Disponible en: https://www.energia.gob.cl/sites/default/files/documentos/informe_final_caracterizacion_residencial_2018.pdf

- [14] Diario Oficial de la Republica de Chile, “Plan de Descontaminación Atmosférica para Valle Central de O’Higgins”, 43.514, 29 de marzo de 2023.
- [15] Diario Oficial de la Republica de Chile, “Plan de Descontaminación Atmosférica para Valle Central de Curicó”, 42.533, 20 de diciembre de 2019.

Anexo A: Planos de Zonificación Térmica OGUC

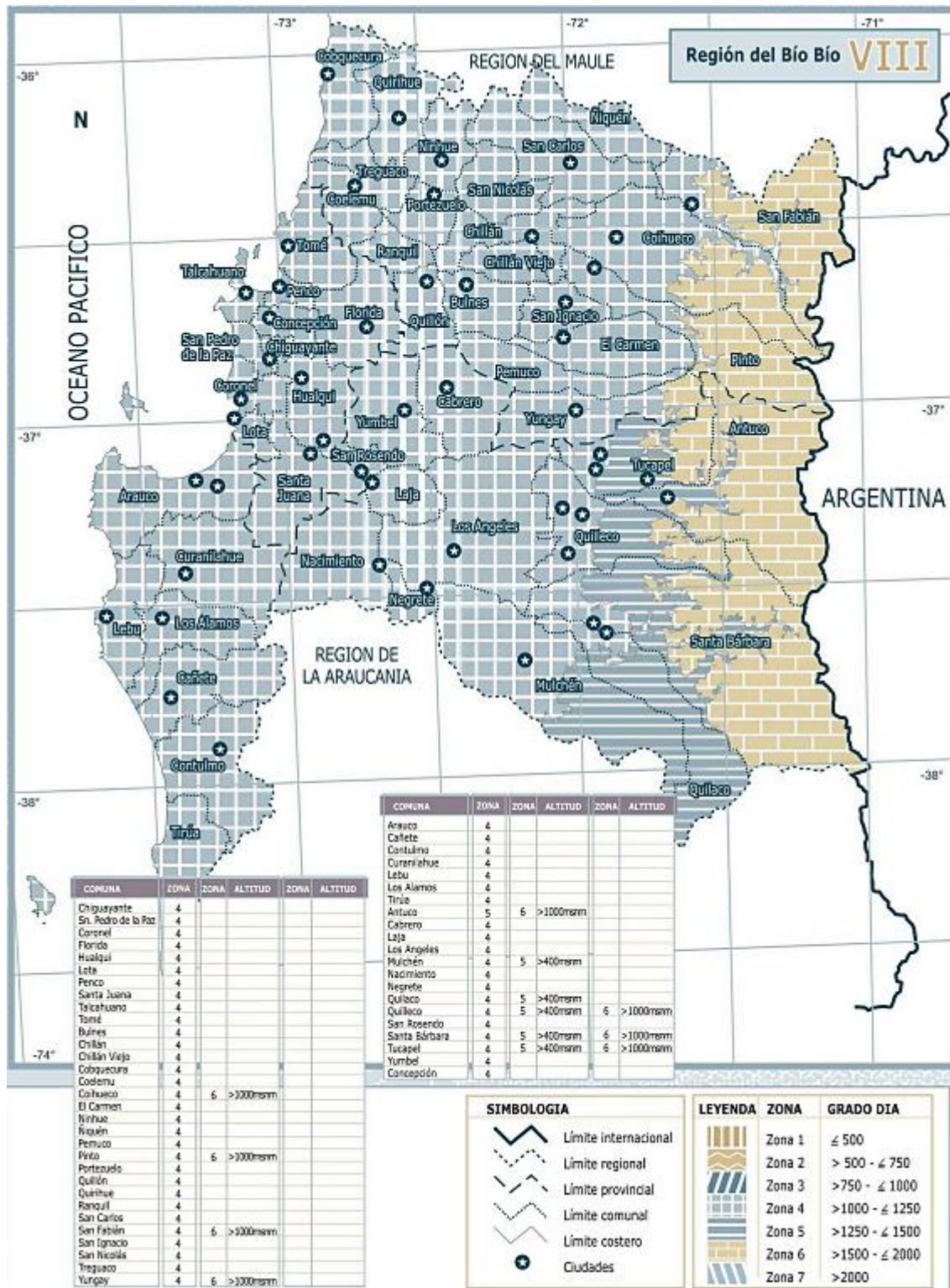


Figura A.1: Zonificación Térmica de la Antigua Región del Biobío. Fuente: [9]

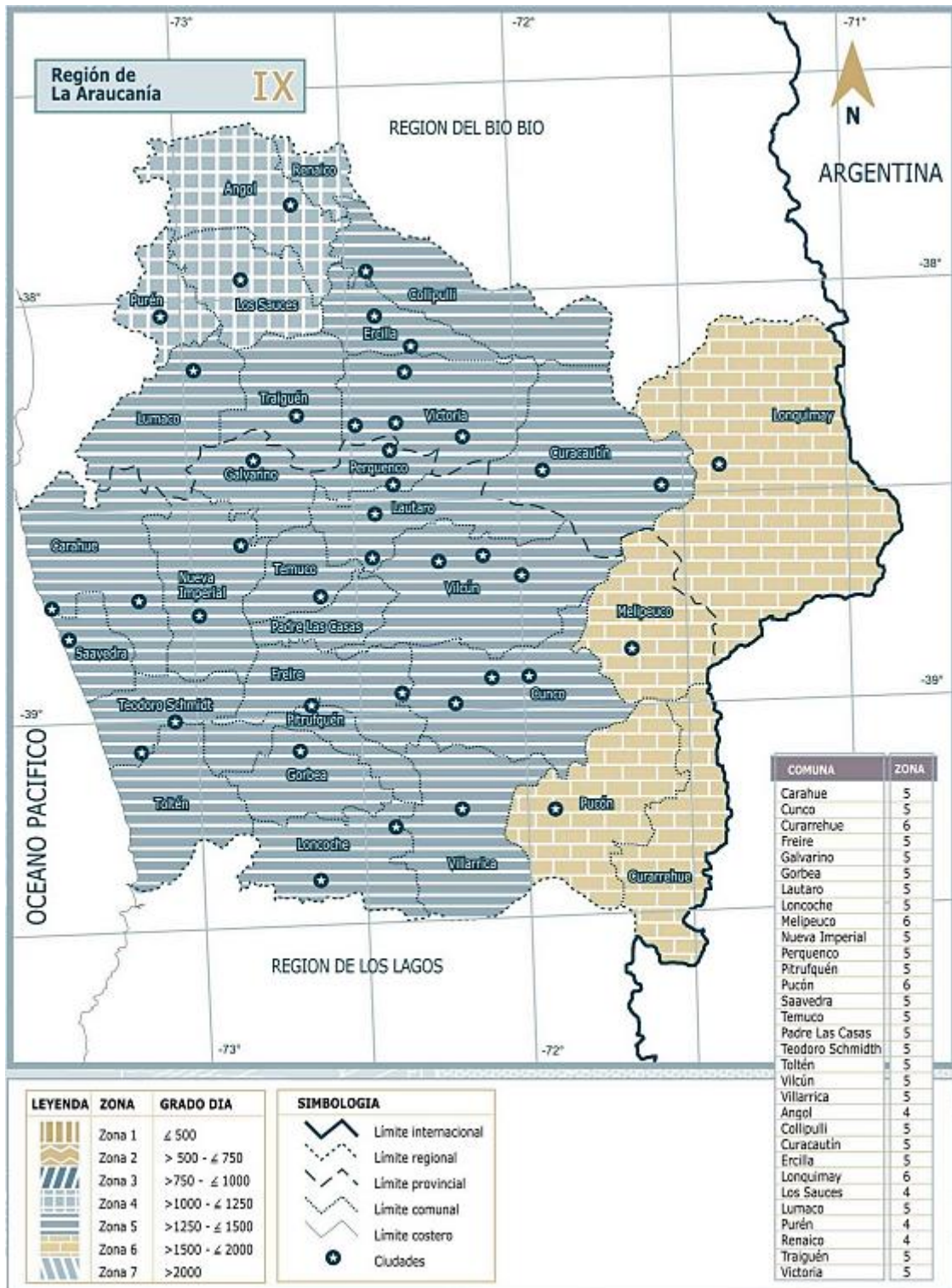


Figura A.2: Zonificación Térmica de la Región de la Araucanía. Fuente: [9]

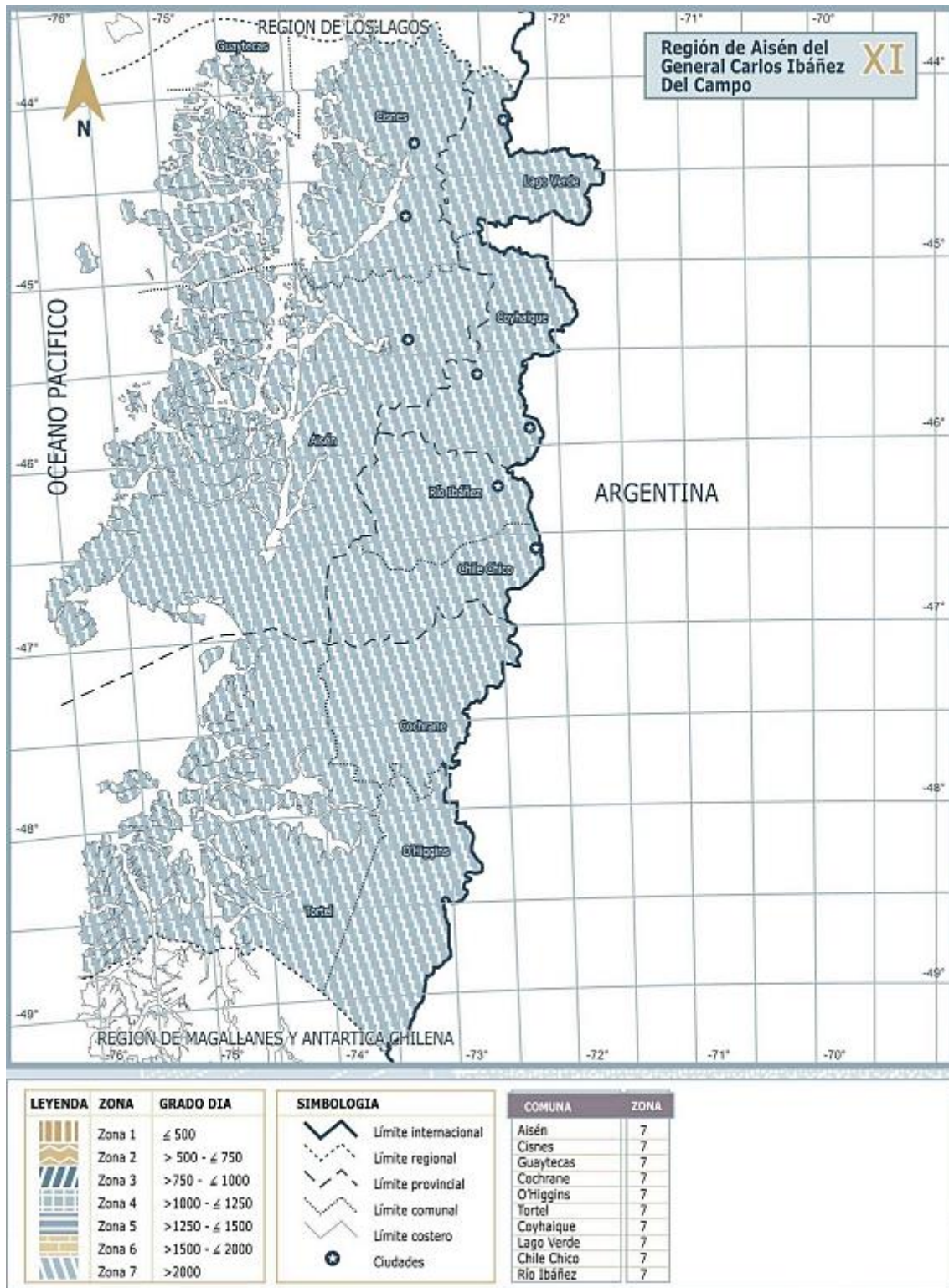


Figura A.3: Zonificación Térmica de la Región de Aysén. Fuente: [9]

Anexo B: Planos de Zonificación Térmica CEV

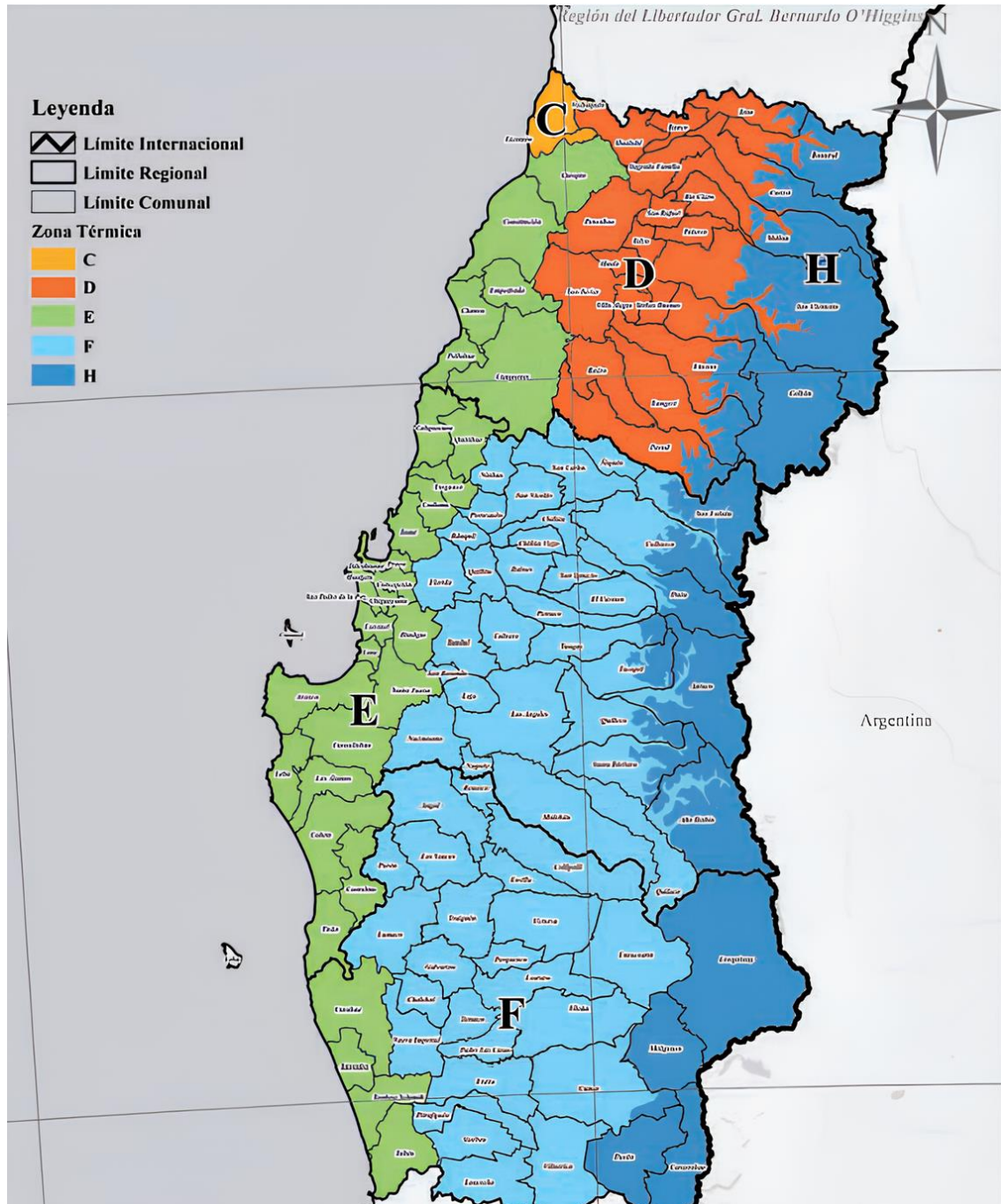


Figura B.1: Zonificación Térmica de la Macrozona Centro Sur. Fuente: [6]

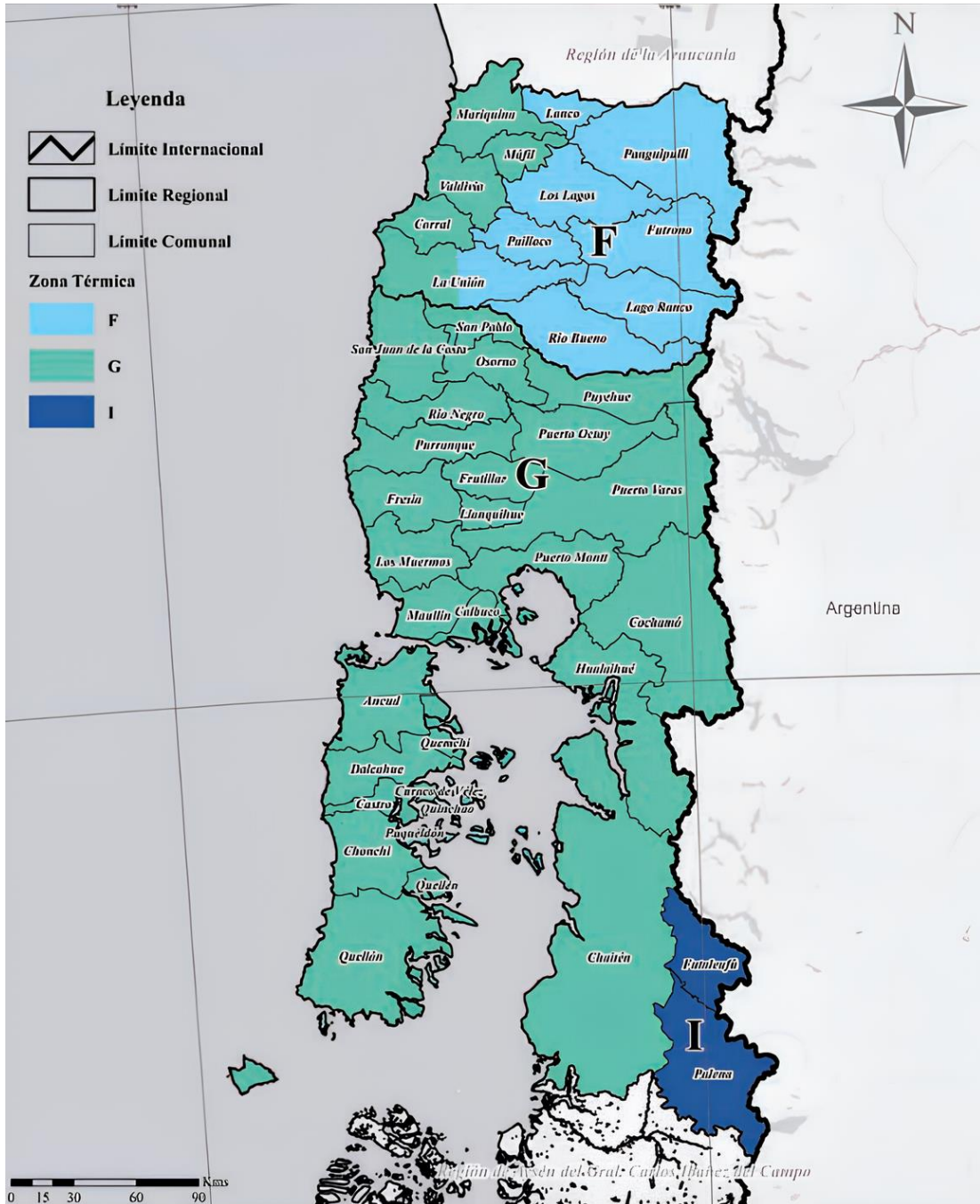


Figura B.2: Zonificación Térmica de la Macrozona Sur. Fuente: [6]



Figura B.3: Zonificación Térmica de la Macrozona Extremo Sur. Fuente: [6]

Anexo C: Parámetros de arquitectura ingresados en caso 'Viv. Aislada CEV'

Dimensiones

	Area [m ²]	Altura [m]	Volumen [m ³]
Piso 1	45,6	2,3	105,0
Piso 2	36,6	1,8	65,8
Piso 3+4+..			-
Total	82,22		170,82

Figura C.1: Dimensiones modelo Vivienda Aislada CEV

Muros

Muros	Ángulo Azimut	Orientación	Densidad Muro	Area (m ²)	U [W/m ² K]	
Muro 1	OGUC Conce 1	-22,5° ≤ Az < 0°	N	Intermedio	8,3	1,7
Muro 2	OGUC Conce 1	67,5° ≤ Az < 90°	E	Intermedio	17,5	1,7
Muro 3	OGUC Conce 1	-112,5° ≤ Az < -90°	O	Intermedio	16,6	1,7
Muro 4	OGUC Conce 1	157,5° ≤ Az < 180°	S	Intermedio	11,4	1,7
Muro 5	OGUC Conce 2	-22,5° ≤ Az < 0°	N	Madera	5,9	1,7
Muro 6	OGUC Conce 2	67,5° ≤ Az < 90°	E	Madera	6,2	1,7
Muro 7	OGUC Conce 2	-112,5° ≤ Az < -90°	O	Madera	10,4	1,7
Muro 8	OGUC Conce 2	157,5° ≤ Az < 180°	S	Madera	7,5	1,7

Figura C.2: Muros modelo Vivienda Aislada CEV

Transmitancia de muros

Muros transmitancia						
Nombre	Abreviatura	Tipología/materialidad	U [W/m ² K]	espesor muro solido [cm]	espesor aislante [cm]	Posición Aislación
Adiabatico	Muro Adiabatico	Pesado	-			Sin
OGUC Concepcion PISO 1	OGUC Conce 1	Intermedio	1,70	18,00	6,00	Exterior
OGUC Concepcion PISO 2	OGUC Conce 2	Madera	1,70	8,00	6,00	Inter Elementos
OGUC Temuco	OGUC Temuco	Madera	1,60	8,00	6,00	Inter Elementos
OGUC Coyhaique	OGUC Coyhaique	Madera	0,60	8,00	6,00	Inter Elementos
PDA Concepcion PISO 1	PDA Conce 1	Intermedio	0,60	18,00	6,00	Exterior
PDA Concepcion PISO 2	PDA Conce 2	Madera	0,60	8,00	6,00	Inter Elementos
PDA Temuco	PDA Temuco	Madera	0,45	8,00	6,00	Inter Elementos
PDA Coyhaique	PDA Coyhaique	Madera	0,35	8,00	6,00	Inter Elementos

Figura C.3: Transmitancia muros modelo Vivienda Aislada CEV

Puertas

Tipo Puerta	Azimut	Orientación	Categoría para Infiltraciones	Alto [m]	Ancho [m]	
				(incluye marco)		
Puerta 1	ML	$-112,5^\circ \leq Az < -90^\circ$	O	Madera Liv	2,0	0,8
Puerta 2	ML	$-22,5^\circ \leq Az < 0^\circ$	N	Madera Liv	2,0	0,8

Figura C.4: Puertas modelo Vivienda Aislada CEV

Ventanas

Tipo Ventana	Azimut	Orientación	Elemento envolvente donde se encuentra	Tipo de Cierre de ventana	Posición Ventanal	Aislación Con/Sin retorno	Alto [m] (H)	Ancho [m] (W)	Categoría para PT y Infiltr	Tipo	
Ventana (incluye marco)									Marco		
Ventana 1	VM	$-22,5^\circ \leq Az < 0^\circ$	N	OGUC Conce	Corredera	Centrada	Sin	2,00	1,80	Metalico	Sin RPT
Ventana 2	VM	$-22,5^\circ \leq Az < 0^\circ$	N	OGUC Conce	Proyectant	Centrada	Sin	0,70	0,50	Metalico	Sin RPT
Ventana 3	VM	$-22,5^\circ \leq Az < 0^\circ$	N	OGUC Conce	Fija	Centrada	Sin	1,00	0,50	Metalico	Sin RPT
Ventana 4	VM	$-22,5^\circ \leq Az < 0^\circ$	N	OGUC Conce	Corredera	Centrada	Sin	1,00	1,00	Metalico	Sin RPT
Ventana 5	VM	$-22,5^\circ \leq Az < 0^\circ$	N	OGUC Conce	Proyectant	Centrada	Sin	0,50	0,50	Metalico	Sin RPT
Ventana 6	VM	$157,5^\circ \leq Az < 180^\circ$	S	OGUC Conce	Corredera	Centrada	Sin	1,20	1,50	Metalico	Sin RPT
Ventana 7	VM	$157,5^\circ \leq Az < 180^\circ$	S	OGUC Conce	Corredera	Centrada	Sin	1,20	1,00	Metalico	Sin RPT
Ventana 8	VM	$157,5^\circ \leq Az < 180^\circ$	S	OGUC Conce	Proyectant	Centrada	Sin	1,00	0,60	Metalico	Sin RPT
Ventana 9	VM	$157,5^\circ \leq Az < 180^\circ$	S	OGUC Conce	Proyectant	Centrada	Sin	1,00	0,60	Metalico	Sin RPT
Ventana 10	DVH con 6mm	Horiz	Horiz	OGUC Conce	Proyectant	Centrada	Sin	0,90	0,70	PVC	DVH Techn
Ventana 11	DVH con 6mm	Horiz	Horiz	OGUC Conce	Proyectant	Centrada	Sin	0,90	0,70	PVC	DVH Techn

Figura C.5: Ventanas modelo Vivienda Aislada CEV

Techo

Techos	Densidad Techo	Area (m ²)	U [W/m ² K]	Camaras de aire	Tipo de cubierta
OGUC Conce	Liviano-Otro	45,60	0,38	No ventilada	Cubierta normal

Figura C.6. Techo modelo Vivienda Aislada CEV.

Transmitancia de techos

Techos transmitancia					
Nombre	Abreviatura	U [W/m ² K]	espesor techo solido [cm]	espesor aislante [cm]	Posición Aislación
Adiabatico	Techo Adiabatico	-			Sin
OGUC Conce	OGUC Conce	0,38	3,00	15,00	Inter Elementos
OGUC Temuco	OGUC Temuco	0,33	3,00	15,00	Inter Elementos
OGUC Coyhaique	OGUC Coyhaique	0,25	3,00	15,00	Inter Elementos
PDA Conce	PDA Conce	0,33	3,00	15,00	Inter Elementos
PDA Temuco	PDA Temuco	0,28	3,00	15,00	Inter Elementos
PDA Coyhaique	PDA Coyhaique	0,25	3,00	15,00	Inter Elementos

Figura C.7: Transmitancia techos modelo Vivienda Aislada CEV

Piso

Pisos	Densidad Piso	Area (m ²)	U [W/m ² K]	Perímetro contacto terreno [m]	Piso ventilado
Piso en contacto 1	Pesado	45,60	0,00	31,00	No Ventilado

Figura C.8: Piso modelo Vivienda Aislada CEV.

Transmitancia de pisos

Pisos transmitancia					
Nombre	Abreviatura	U Piso ventilado	Aislación bajo piso contacto terreno		
		[W/m ² K]	λ [W/mK]	e aislante [cm]	Aislación
Adiabatico	Piso Adiabatico	-			Sin
Piso sobre terreno inferior	Piso en contacto 1		1,40	0,00	Sin

Figura C.9: Transmitancia pisos modelo Vivienda Aislada CEV

Infiltraciones y Ventilación

Se utilizaron valores por defecto. Es decir, sin ensayos de presurización ni ventilación mecánica.

Anexo D: Parámetros de arquitectura ingresados en caso ‘Departamento CEV’

Dimensiones

	Area [m ²]	Altura [m]	Volumen [m ³]
Piso 1	45,5	2,3	104,7
Piso 2			-
Piso 3+4+..			-
Total	45,52		104,70

Figura D.1: Dimensiones modelo Departamento CEV

Muros

Muros	Ángulo Azimut	Orientación	Densidad Muro	Area (m ²)	U [W/m ² K]
-------	---------------	-------------	---------------	------------------------	------------------------

Muro 1	OGUC Conce	$-22,5^\circ \leq Az < 0^\circ$	N	Pesado	11,0	1,7
Muro 2	Muro Adiabatico	$67,5^\circ \leq Az < 90^\circ$	E	Pesado	12,4	-
Muro 3	Muro Adiabatico	$112,5^\circ \leq Az < -90^\circ$	O	Pesado	12,4	-
Muro 4	Muro Adiabatico	$157,5^\circ \leq Az < 180^\circ$	S	Pesado	17,7	-

Figura D.2: Muros modelo Departamento CEV

Transmitancia de muros

Muros transmitancia						
Nombre	Abreviatura	Tipología/materialidad	U [W/m ² K]	espesor muro solido [cm]	espesor aislante [cm]	Posición Aislación
Adiabatico	Muro Adiabatico	Pesado	-			Sin
OGUC HA Concepcion	OGUC Conce	Pesado	1,70	15,00	6,00	Exterior
OGUC HA Temuco	OGUC Temuco	Pesado	1,60	15,00	6,00	Exterior
OGUC HA Coyhaique	OGUC Coyhai	Pesado	0,60	15,00	6,00	Exterior
PDA HA Concepcion	PDA Conce	Pesado	0,60	15,00	6,00	Exterior
PDA HA Temuco	PDA Temuco	Pesado	0,45	15,00	6,00	Exterior
PDA HA Coyhaique	PDA Coyhai	Pesado	0,35	15,00	6,00	Exterior

Figura D.3: Transmitancia muros modelo Departamento CEV

Puertas

Tipo Puerta	Azimut	Orientación	Categoría para Infiltraciones	Alto [m]	Ancho [m]
				(incluye marco)	
Puerta 1	ML	$157,5^\circ \leq Az < 180^\circ$	S	Madera Liviana	2,0 0,9

Figura D.4: Puertas modelo Departamento CEV

Ventanas

Tipo Ventana	Azimut	Orientación	Elemento envolvente donde se encuentra	Tipo de Cierre de ventana	Posición Ventana	Aislación Con/Sin retorno	Alto [m] (H)	Ancho [m] (W)	Categoría para PT y Infil	Tipo
Ventana (incluye marco)									Marco	
Ventana 1	VM	$-22,5^\circ \leq Az < 0^\circ$	N	OGUC Conce	Corredera	Centrada	Sin	2,00	2,00	Metalico Sin RPT
Ventana 2	VM	$-22,5^\circ \leq Az < 0^\circ$	N	OGUC Conce	Corredera	Centrada	Sin	1,50	1,50	Metalico Sin RPT
Ventana 3	VM	$-22,5^\circ \leq Az < 0^\circ$	N	OGUC Conce	Corredera	Centrada	Sin	1,50	1,50	Metalico Sin RPT

Figura D.5: Ventanas modelo Departamento CEV

Techo

Techos	Densidad Techo	Area (m ²)	U [W/m ² K]	Camaras de aire	Tipo de cubierta
Techo 1	Techo Adiabatico	Pesado	45,52	0,00	Sin camara Cubierta norr

Figura D.6. Techo modelo Departamento CEV.

Transmitancia de techos

Techos transmitancia		
Nombre	Abreviatura	U [W/m ² K]
Adiabatico	Techo Adiabatico	-

Figura D.7: Transmitancia techos modelo Departamento CEV

Piso

	Pisos	Densidad Piso	Area (m ²)	U [W /m ² K]	Perímetro contacto terreno [m]	Piso ventilado
Piso 1	Piso Adiabatico	Pesado	45,52	0,00	0,00	No Ventilado

Figura D.8: Piso modelo Departamento CEV.

Transmitancia de pisos

Pisos transmitancia		
Nombre	Abreviatura	U Piso ventilado
		[W/m ² K]
Adiabatico	Piso Adiabatico	-

Figura D.9: Transmitancia pisos modelo Departamento CEV

Infiltraciones y Ventilación

Se utilizaron valores por defecto. Es decir, sin ensayos de presurización ni ventilación mecánica.

Anexo E: Consideraciones en TRNSYS y Gráficos de temperatura de viviendas OGUC vs PDA

Para el modelo en TRNSYS, se tomaron las siguientes consideraciones:

- Se considera la misma materialidad para cada tipo de vivienda y en cada zona térmica, que en las simulaciones realizadas en CEV.
- Se configuró la calefacción de manera continua entre el mes de Abril y mediados de Noviembre a 21°C, el resto del tiempo se mantuvo apagada.
- En los meses opuestos al uso de calefacción, es decir, en los meses de verano, se activó la refrigeración o aire acondicionado, de manera continua a una temperatura de seteo de 24°C.
- No se utilizaron ganancias internas propuestas por TRNSYS, sino que se utilizaron las ganancias propuestas por CEV en la Planilla PBTD 1, por lo que se importaron a TRNSYS según el caso correspondiente.
- El modo ventilación se mantuvo apagado, sin embargo, se importaron las infiltraciones propuestas por CEV en la Planilla PBTD 1, las que consideran alrededor de una renovación de aire por hora, dependiendo del caso propuesto.
- Se consideró una capacitancia de $6 \cdot m_{aire} \cdot c_p$.
- No se consideraron los muros internos en las simulaciones.
- Para los departamentos, sólo se usó un muro exterior. El resto de los muros, techo, suelo y puerta de entrada se fijó como 'Boundary' con una temperatura idéntica.
- Se consideraron ventanas de vidrio monolítico (VM) para el caso OGUC, y ventanas de DVH 12 mm para el caso PDA. Sin embargo, debido a que se presentan ventanas en el techo de la 'Vivienda Aislada', se utilizaron ventanas en el techo con un U menor a 3,6 [W/m²K].

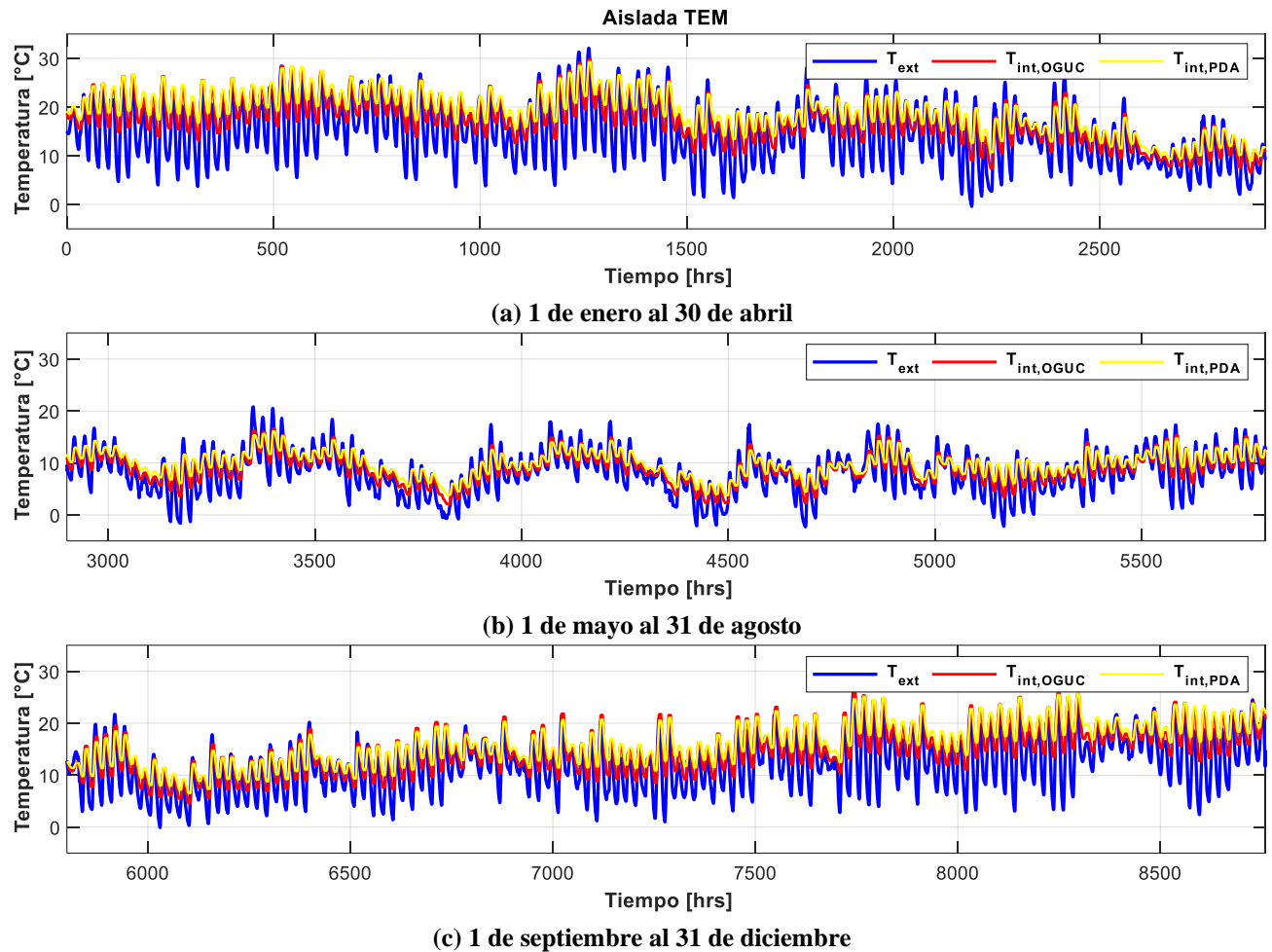


Figura E.1: Gráfico de temperaturas de vivienda aislada en Temuco - Sin Calefacción. Fuente: Elaboración propia.

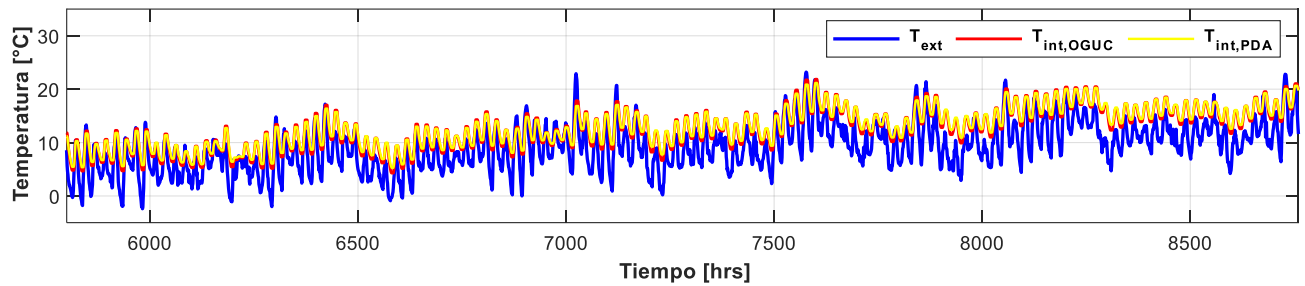
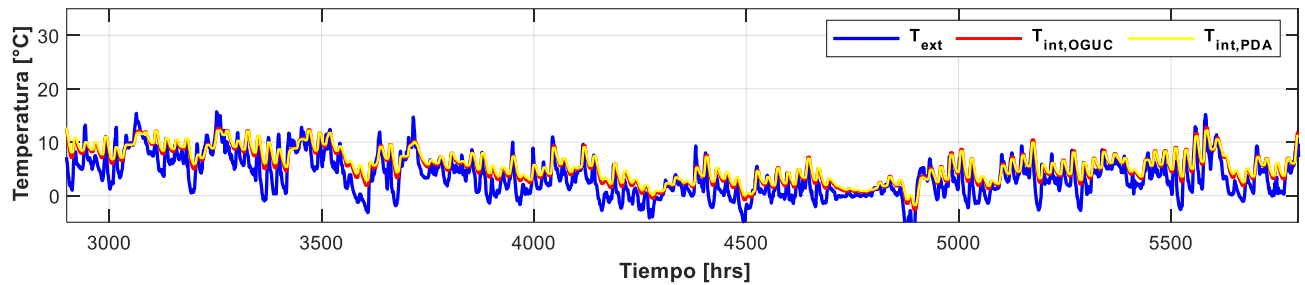
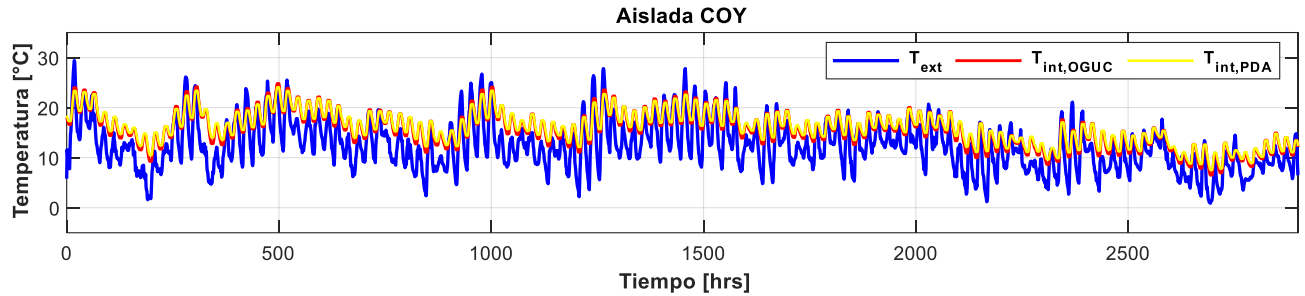


Figura E.2: Gráfico de temperaturas de vivienda aislada en Coyhaique - Sin Calefacción. Fuente: Elaboración propia.

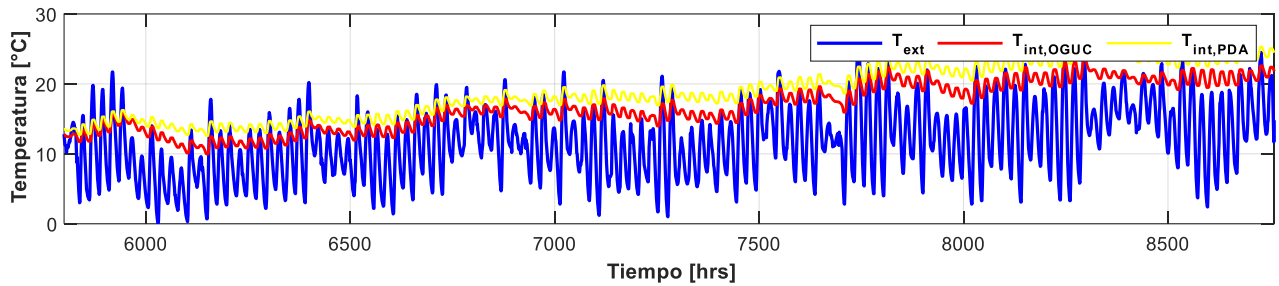
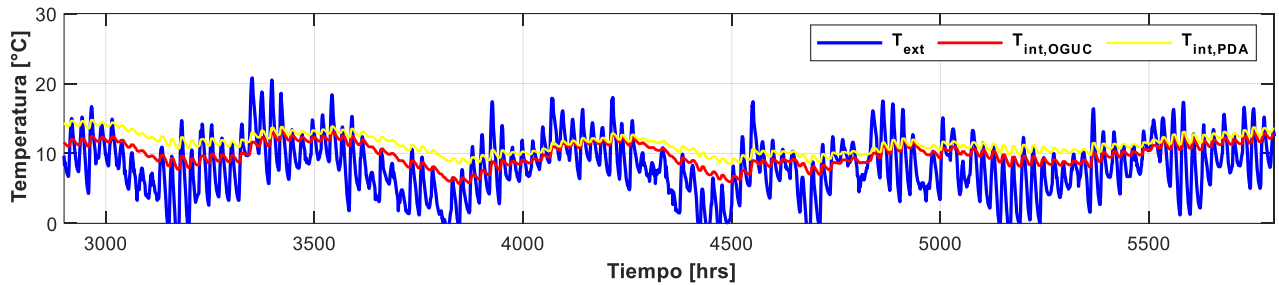
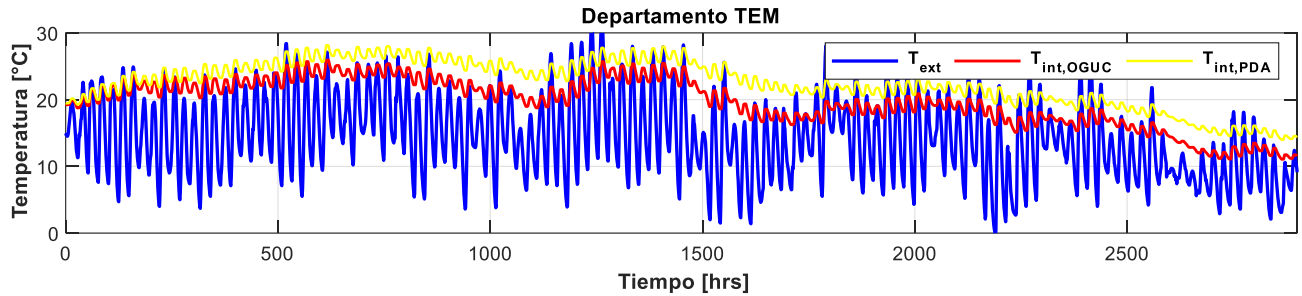


Figura E.3: Gráfico de temperaturas de departamento en Temuco - Sin Calefacción. Fuente: Elaboración propia.

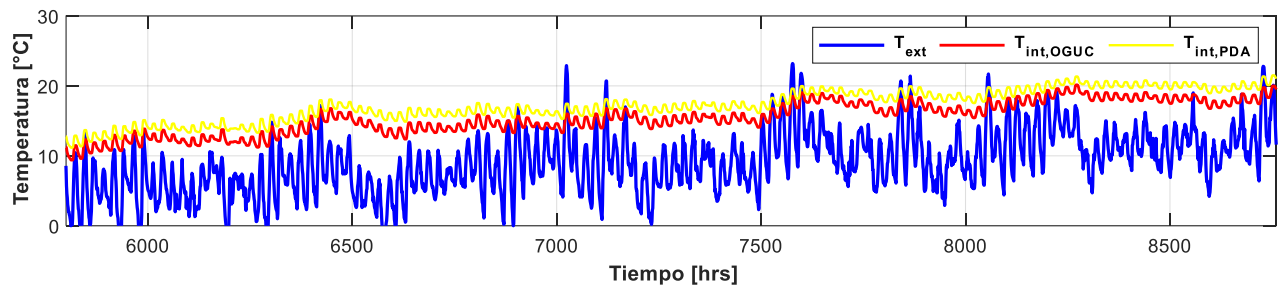
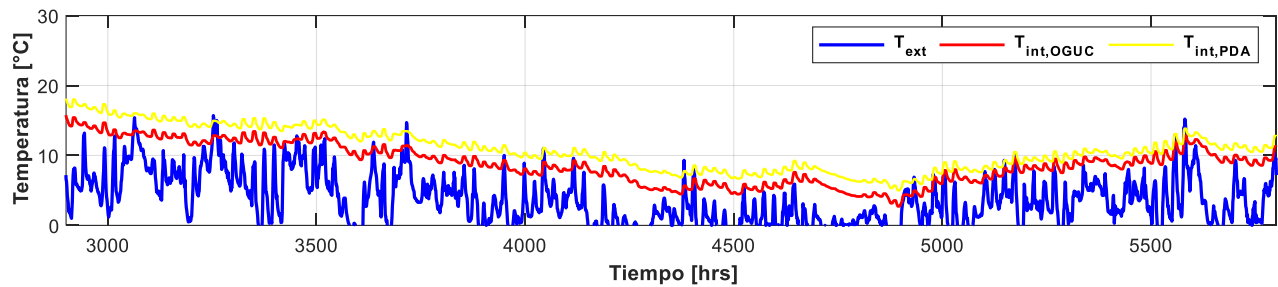
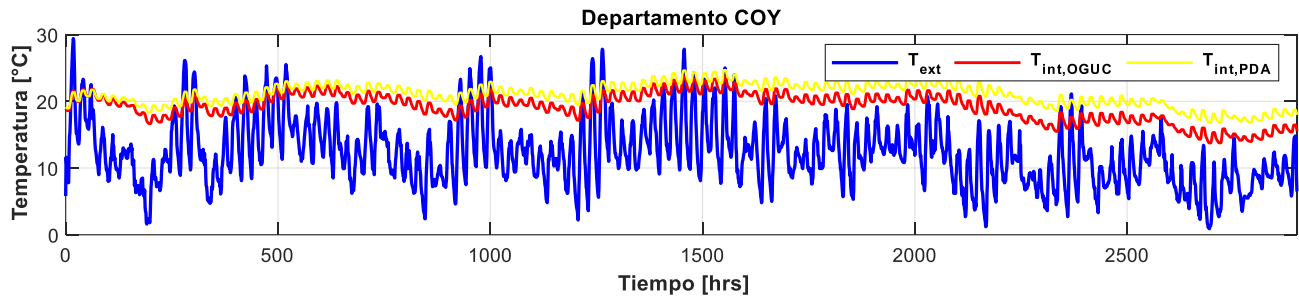


Figura E.4: Gráfico de temperaturas de departamento en Coyhaique - Sin Calefacción. Fuente: Elaboración propia.