



UNIVERSIDAD DE CONCEPCIÓN
FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO INGENIERÍA MECÁNICA



**ANÁLISIS DEL EFECTO DE LA INERCIA TÉRMICA DE LOS MUROS EN LA
EFICIENCIA ENERGÉTICA DE UNA VIVIENDA A TRAVÉS DE SIMULACIONES EN
LOS PROGRAMAS CEV Y TRNSYS.**

POR

Simón Ignacio Cornejo Hernández

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

Julio 2024
Concepción (Chile)

© 2024 Simón Ignacio Cornejo Hernández

Agradecimientos

A mi familia por todo el apoyo que me han dado durante los años de carrera, siempre han sido muy buenos y generosos conmigo.

A Constanza que ha estado conmigo durante todo este tiempo, ella me hace ser una mejor persona y su apoyo a sido fundamental para poder seguir adelante.

A todas las personas que conocí en el camino, amigos que me acompañaron en el proceso y que hicieron la estancia en la universidad una experiencia maravillosa.

Le estoy muy agradecido al profesor Adelqui Fissore por todo su apoyo, su comprensión, su simpatía, su disponibilidad para ayudarme y su buena voluntad para guiarme durante la realización de la memoria.

Agradezco a todos los profesores del departamento de ingeniería mecánica por transmitirme sus conocimientos y ayudarme a llegar a esta instancia que, en un comienzo, se veía tan lejana.

Y a la Universidad de Concepción, agradezco haber podido ser parte de esta gran institución, no sería la persona que soy hoy de no ser por mi paso por este lugar.

Esta memoria está dedicada...

A mi madre, la mujer más fuerte que conozco, la que ha estado siempre ahí para mí, que me ha apoyado en cada paso de este camino y que como madre soltera se ha esforzado sin queja alguna, trabajando sin parar para darme todo en la vida y ahora, gracias a ella, estoy por alcanzar esta meta.

Resumen

El cambio climático y el calentamiento global son temas que afectan a todos en todas partes por igual, es por esto por lo que es imperativo seguir buscando formas de disminuir el consumo de energía, para así disminuir el impacto negativo que tiene la generación de esta. Mas específicamente, una de las áreas que más consume energía es el área residencial y a su vez, uno de los mayores porcentajes de su consumo corresponde a sistemas de climatización. Para abordar el problema del consumo de energía en climatización de viviendas, hay múltiples alternativas y una de ellas es mejorar la inercia térmica de las viviendas.

La inercia térmica es la capacidad de un material de almacenar calor y después liberarlo lentamente. En este proyecto, se quieren determinar los efectos de la inercia térmica en la eficiencia energética de las viviendas, para lo cual se realizan simulaciones en el programa de cálculo de la calificación energética de viviendas (CEV) y en el software TRNSYS. Se estudian una vivienda aislada de madera, una vivienda aislada de ladrillo y un departamento de hormigón, tanto para la ciudad de Concepción como para la ciudad de Santiago, ambas en Chile. Además, para los casos de la casa de ladrillo y el departamento de hormigón se prueba un caso con la aislación térmica al interior del muro y otro con la aislación por fuera, para ver cómo afecta la posición de dicho elemento en la eficiencia.

Luego de realizar las simulaciones, se obtiene la información de la cantidad de tiempo que cada vivienda, en cada uno de sus casos, se encuentra fuera del rango de confort deseado y la demanda de energía necesaria para calefaccionar dichas viviendas. Con esto se ve que el efecto de la inercia es significativo, habiendo una disminución del tiempo fuera del rango de comodidad entre la vivienda de madera y el departamento de hormigón de aproximadamente el 20% con respecto al total. También se verifica que a medida que aumenta la masa térmica del material, aumenta la inercia y a su vez, mejora el rendimiento, ya que disminuye la demanda energética a casi un tercio, al pasar de madera a hormigón, esto debido a que la capacidad de almacenar calor es mayor, lo que permite que, aunque la temperatura exterior varíe, la temperatura interior se mantenga estable por un periodo más largo de tiempo. Por último, se concluyó que es mejor ubicar el material aislante por el exterior del muro, ya que ubicarlo por el interior impide que el material del muro libere el calor almacenado de la mejor manera.

Abstract

Climate change and global warming are issues that affect everyone on everywhere equally, which is why it is imperative to continue seeking ways to reduce energy consumption, thereby decreasing the negative impact of energy generation. More specifically, one of the areas that consumes the most energy is the residential sector, and within it, a significant percentage of energy consumption corresponds to air conditioning systems. To address the issue of energy consumption in residential air conditioning, there are multiple alternatives, one of which is improving the thermal inertia of homes.

Thermal inertia is the capacity of a material to store heat and then release it gradually. This project aims to determine the effects of thermal inertia on the energy efficiency of homes by conducting simulations using the energy rating calculation program for homes (CEV) and the TRNSYS software. A detached wooden house, a detached brick house, and a concrete apartment are studied, both for the city of Concepción and for the city of Santiago, both in Chile. Additionally, for the cases of the brick house and the concrete apartment, one case with thermal insulation on the interior of the wall and another with insulation on the exterior are tested to see how the position of this element affects efficiency.

After performing the simulations, information is obtained on the amount of time each home, in each of its cases, is outside the desired comfort range and the energy demand necessary to heat these homes. The results show that the effect of inertia is significant, with a decrease of about 20% in the time outside the comfort range between the wooden house and the concrete apartment. It is also verified that as the thermal mass of the material increases, inertia increases and, at the same time, performance improves, as energy demand decreases to almost a third when switching from wood to concrete. This is because the heat storage capacity is greater, allowing the interior temperature to remain stable for a longer period even as the exterior temperature fluctuates. Finally, it was concluded that it is better to place the insulating material on the exterior of the wall, as placing it on the interior prevents the wall material from releasing the stored heat in the best possible way.

Tabla de contenidos

Resumen	i
Abstract	ii
Tabla de contenidos.....	iii
Lista de tablas.....	v
Lista de figuras	vi
Glosario	viii
1 CAPITULO 1: Introducción.....	1
1.1 Planteamiento del problema	1
1.2 Objetivos	3
Objetivo General	3
Objetivos Específicos	3
1.3 Metodología de trabajo.....	3
2 CAPITULO 2: Marco Teórico	4
2.1 Inercia térmica.....	4
2.2 Calificación Energética de Viviendas (CEV).....	4
2.3 Transient System Simulation Tool (TRNSYS).....	9
3 CAPITULO 3: Selección de ciudades y tipología de viviendas	11
3.1 Selección de ciudades.....	11
3.2 Tipología de viviendas	11
3.2.1 Tipología de vivienda aislada de madera	13
3.2.2 Tipología de vivienda aislada de ladrillo	14
3.2.3 Tipología de departamento	15
4 CAPITULO 4: Simulaciones mediante método CEV.....	16
4.1 Vivienda aislada de madera.....	18
4.2 Vivienda aislada de ladrillo.....	19
4.3 Departamento de hormigón.....	20
4.4 Resultados CEV	20
5 CAPITULO 5: Simulaciones mediante software TRNSYS.....	23
5.1 Vivienda aislada de madera.....	24

5.2	Vivienda aislada de ladrillo.....	25
5.3	Departamento de hormigón.....	26
5.4	Resultados TRNSYS.....	27
6	Discusión de resultados.....	30
7	Conclusiones.....	35
	Bibliografía.....	36
	Anexo A: Parámetros de arquitectura vivienda aislada de madera para método CEV.....	38
	Anexo B: Parámetros de arquitectura vivienda aislada de ladrillo para método CEV.....	40
	Anexo C: Parámetros de arquitectura departamento de hormigón para método CEV.....	43
	Anexo D: Gráficos de resultados de simulaciones en TRNSYS para vivienda aislada de madera. ..	45
	Anexo E: Gráficos de resultados de simulaciones en TRNSYS para vivienda aislada de ladrillo. ...	48
	Anexo F: Gráficos de resultados de simulaciones en TRNSYS para departamento de hormigón. ...	54

Lista de tablas

Tabla 2.1: Rangos de confort térmico definidos por la CEV para las ciudades de Concepción y Santiago.	8
Tabla 3.1: Tipos de vivienda seleccionados con sus respectivas materialidades.	13
Tabla 3.2: Características de la envolvente de la vivienda aislada de madera.	14
Tabla 3.3: Características de la envolvente de la vivienda aislada de ladrillo.	15
Tabla 3.4: Características tipología departamento.	16
Tabla 4.1: Total de casos a estudiar.	16
Tabla 4.2: Valores de transmitancia térmica según la OGUC (2024) para la ciudad de Concepción.	17
Tabla 4.3: Valores de transmitancia térmica según la OGUC (2024) para la ciudad de Santiago.	17
Tabla 4.4: Características de puertas para simulaciones.	17
Tabla 4.5: Características de ventanas para simulaciones.	18
Tabla 4.6: Resultados obtenidos con la CEV para el caso de vivienda aislada de madera.	19
Tabla 4.7: Resultados obtenidos con la CEV para el caso vivienda aislada de ladrillo.	19
Tabla 4.8: Resultados obtenidos con la CEV para el caso departamento de hormigón.	20
Tabla 4.9: Resumen de resultados simulaciones método CEV.	21
Tabla 5.1: Resultados obtenidos con TRNSYS para el caso de vivienda aislada de madera. ...	24
Tabla 5.2: Distribución de horas fuera del rango de confort para vivienda aislada de madera.	25
Tabla 5.3: Resultados obtenidos con TRNSYS para el caso de vivienda aislada de ladrillo.	25
Tabla 5.4: Distribución de horas fuera del rango de confort para vivienda aislada de ladrillo.	26
Tabla 5.5: Resultados obtenidos con TRNSYS para el caso de departamento de hormigón. ...	26
Tabla 5.6: Distribución de horas fuera del rango de confort para departamento de hormigón.	26
Tabla 5.7: Resumen de resultados simulaciones método TRNSYS.	27
Tabla 6.1: Tabla comparativa de resultados de tiempo fuera del rango de confort obtenidos para las simulaciones realizadas con TRNSYS y con la CEV.	30
Tabla 6.2: Tabla comparativa de resultados de demanda de energía de calefacción obtenidos para las simulaciones realizadas con TRNSYS y con la CEV.	32

Lista de figuras

Figura 2.1: Rango de confort térmico anual definido por la CEV para la ciudad de Concepción. Fuente: Elaboración propia.....	7
Figura 2.2: Rango de confort térmico anual definido por la CEV para la ciudad de Santiago. Fuente: Elaboración propia.....	8
Figura 2.3: Modelo TRNSYS a utilizar. Fuente: Elaboración propia.....	9
Figura 3.1: Distribución de materiales en viviendas. Fuente: Elaboración propia.....	12
Figura 3.2: Tipología vivienda aislada de madera. Fuente: Elaboración propia.....	13
Figura 3.3: Tipología vivienda aislada de ladrillo. Fuente: Elaboración propia.....	14
Figura 3.4: Tipología de departamento. Fuente: Elaboración propia.	15
Figura 4.1: Demanda de calefacción total anual para cada caso y tipo de vivienda en [kWh/m²año] determinado con la CEV. Fuente: Elaboración propia.	22
Figura 5.1: Demanda de calefacción total anual para cada caso y tipo de vivienda en [kWh/m²año] determinado con TRNSYS. Fuente: Elaboración propia.	28
Figura 5.2: Comparativa de temperaturas promedios mensuales al interior de las diferentes viviendas en el caso sin calefacción en Concepción (TRNSYS). Fuente: Elaboración propia. .	29
Figura 5.3: Comparativa de temperaturas promedios mensuales al interior de las diferentes viviendas en el caso sin calefacción en Santiago (TRNSYS). Fuente: Elaboración propia.	29
Figura 6.1: Gráfico comparativo de demandas de calefacción para cada caso obtenidas con TRNSYS y con la CEV. Fuente: Elaboración propia.	34
Figura A.1: Transmitancia térmica muros vivienda aislada de madera.	38
Figura A.2: Dimensiones vivienda aislada de madera.	38
Figura A.3: Características de los muros vivienda aislada de madera.	38
Figura A.4: Características techos vivienda aislada de madera.	39
Figura A.5: Características ventanas vivienda aislada de madera.....	39
Figura A.6: Características piso vivienda aislada de madera.	39
Figura A.7: Características puerta vivienda aislada de madera.	40
Figura B.1: Transmitancias térmicas muros vivienda aislada de ladrillo.	40
Figura B.2: Dimensiones vivienda aislada de ladrillo.	41
Figura B.3: Características de los muros vivienda aislada de ladrillo.	41
Figura B.4: Características techo vivienda aislada de madera.	41
Figura B.5: Características ventanas vivienda aislada de ladrillo.....	42
Figura B.6: Características piso vivienda aislada de ladrillo.....	42
Figura B.7: Características puerta vivienda aislada de ladrillo.	42
Figura C.1: Transmitancias térmicas muros departamento de hormigón.	43
Figura C.2: Dimensiones departamento de hormigón.	43
Figura C.3: Características muros departamento de hormigón.....	43
Figura C.4: Características techo departamento de hormigón.....	44
Figura C.5: Características ventanas departamento de hormigón.....	44
Figura C.6: Características de piso departamento de hormigón.....	44

Figura C.7: Características puerta departamento de hormigón.	44
Figura D.1: Gráfico de temperatura interior y exterior de vivienda aislada de madera sin calefacción en la ciudad de Concepción. Fuente: Elaboración propia.	45
Figura D.2: Gráfico de temperatura interior y exterior de vivienda aislada de madera con calefacción en la ciudad de Concepción. Fuente: Elaboración propia.	46
Figura D.3: Gráfico de temperatura interior y exterior de vivienda aislada de madera sin calefacción en la ciudad de Santiago. Fuente: Elaboración propia.	47
Figura E.1: Gráfico de temperatura interior y exterior de vivienda aislada de ladrillo sin calefacción en la ciudad de Concepción con aislación interior. Fuente: Elaboración propia. ..	48
Figura E.2: Gráfico de temperaturas promedio mensuales de vivienda de ladrillo sin calefacción en Concepción con aislación interior. Fuente: Elaboración propia.	49
Figura E.3: Gráfico de temperatura interior y exterior de vivienda aislada de ladrillo sin calefacción en la ciudad de Concepción con aislación exterior. Fuente: Elaboración propia. ...	50
Figura E.4: Gráfico de temperaturas promedio mensuales de vivienda de ladrillo sin calefacción en Concepción con aislación exterior. Fuente: Elaboración propia.	50
Figura E.5: Gráfico de temperatura interior y exterior de vivienda aislada de ladrillo sin calefacción para ciudad de Santiago con aislación interior. Fuente: Elaboración propia.	51
Figura E.6: Gráfico de temperaturas promedio mensuales de vivienda de ladrillo sin calefacción en Santiago con aislación interior. Fuente: Elaboración propia.	51
Figura E.7: Gráfico de temperatura interior y exterior de vivienda aislada de ladrillo sin calefacción para ciudad de Santiago con aislación exterior. Fuente: Elaboración propia.	52
Figura E.8: Gráfico de temperaturas promedio mensuales de vivienda de ladrillo sin calefacción en Santiago con aislación exterior. Fuente: Elaboración propia.	53
Figura F.1: Gráfico de temperatura interior y exterior de departamento de hormigón sin calefacción en la ciudad de Concepción con aislación interior. Fuente: Elaboración propia. ...	54
Figura F.2: Gráfico de temperaturas departamento de hormigón sin calefacción en la ciudad de Concepción con aislación interior. Fuente: Elaboración propia.	55
Figura F.3: Gráfico de temperatura interior y exterior de departamento de hormigón sin calefacción en la ciudad de Concepción con aislación exterior. Fuente: Elaboración propia. ...	56
Figura F.4: Gráfico de temperaturas promedio mensuales de departamento de hormigón sin calefacción en Concepción con aislación exterior. Fuente: Elaboración propia.	56
Figura F.5: Gráfico de temperatura interior y exterior de departamento de hormigón sin calefacción en la ciudad de Santiago con aislación interior. Fuente: Elaboración propia.	57
Figura F.6: Gráfico de temperaturas promedio mensuales de departamento de hormigón sin calefacción en Santiago con aislación interior. Fuente: Elaboración propia.	57
Figura F.7: Gráfico de temperatura interior y exterior de departamento de hormigón sin calefacción en la ciudad de Santiago con aislación exterior. Fuente: Elaboración propia.	58
Figura F.8: Gráfico de temperaturas promedio mensuales de departamento de hormigón sin calefacción en Santiago con aislación exterior. Fuente: Elaboración propia.	59

Glosario

Ccp	:	Concepción
Stgo	:	Santiago
CEV	:	Calificación Energética de Viviendas
MINVU	:	Ministerio de Vivienda y Urbanismo
OGUC	:	Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones
PBTD	:	Planilla de Balance Térmico Dinámico
TRNSYS	:	Transient System Simulation Tool
HVAC	:	Heating, Ventilation and Air Conditioning

Nomenclatura

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

1 CAPITULO 1: Introducción

1.1 Planteamiento del problema

Chile es un país único en el mundo, teniendo una superficie continental de 756.626 km^2 y su costa se extiende a lo largo de 6.435 km , lo que lo hace el país más largo del mundo [1]. Esta peculiar forma, es además la responsable de que existan múltiples climas en diferentes regiones, los que van desde el clima árido en el norte, clima templado en la zona centro del país e inclusive clima polar en la Cordillera de los Andes y en el extremo sur. De esta manera, se tiene que en la zona norte se presentan altas temperaturas y una baja cantidad de precipitaciones durante el año y por otra parte en la zona centro y sur del país existe una clara división entre estaciones, en el verano con altas temperaturas y en el invierno con bajas temperaturas y mucha lluvia, y a medida que se avanza más hacia el sur, esta división se comienza a borrar nuevamente hasta llegar un clima donde llueve la mayor parte del año [2]. Es por esto por lo que, debido a la gran irregularidad del clima y temperaturas, sumado al efecto del cambio climático, el cual ha potenciado esta característica, es fundamental la utilización de equipos de climatización en los hogares y edificaciones en general.

La climatización en recintos cerrados se puede llevar a cabo de diferentes maneras, como lo pueden ser un aire acondicionado, un calefactor eléctrico o mediante la utilización de estufas ya sean a gas, leña o eléctrica, entre otras. Cada uno de los métodos de climatización tiene un costo asociado a su adquisición, pero más importante aún, a su funcionamiento. Este costo de funcionamiento es el valor del combustible que se utiliza, el cual puede llegar a ser muy alto dependiendo de las condiciones de funcionamiento o el recinto en el que sea utilizado. Es por esto que para familias de escasos recursos o de clase media puede resultar complejo calefaccionar su hogar en situaciones de baja temperatura y así poder habitar de manera cómoda sus viviendas. Por otra parte, también existe un efecto medioambiental negativo asociado a la generación y uso de los diferentes tipos de energías para calefaccionar los hogares. En Chile, según el último balance nacional de energía, el sector residencial representa el 17% del consumo total de energía en el país [3] y, además, se tiene que este sector es el responsable de aproximadamente el 90% de las emisiones de material particulado que contaminan el aire del Chile [4].

Por todo lo mencionado previamente es por lo que, en el año 2012, el gobierno a través del Ministerio de Vivienda y Urbanismo o Minvu, junto al Ministerio de Energía decidieron abordar estos problemas. La conclusión a la que se llegó fue que la mejor forma de lidiar con los 2 problemas al mismo tiempo era mejorando la eficiencia energética de las viviendas.

La eficiencia energética de un inmueble puede ser mejorada ya sea a través de una estrategia pasiva o de una activa. Mejoras a los sistemas de calefacción, ventilación y aire acondicionado (HVAC por sus nombres en inglés) o a la iluminación eléctrica pueden ser clasificados como estrategia activa. Por otra parte, las mejoras a los elementos de la envolvente térmica están dentro de la categoría de estrategia pasiva [5]. Como la envolvente térmica es el elemento que separa el interior y el exterior de

la vivienda, es el factor clave que determina la calidad y que controla las condiciones al interior a pesar de las condiciones exteriores. Esto, sumado al hecho de los altos costos asociados a la mejora de los sistemas HVAC, es que se considera que la aplicación de una estrategia pasiva es lo mejor.

Con respecto a la eficiencia energética, se tiene que las viviendas pueden perder o ganar energía en forma de calor por transmisión y por infiltración. Transmisión se refiere al calor que se transfiere por conducción y convección a través de la envolvente y también a la radiación que se transmite a través de las ventanas, por otra parte, infiltración se refiere al intercambio de aire entre el exterior e interior que ocurre en la vivienda [6]. Para estudiar las pérdidas o ganancias de calor, se debe analizar la envolvente del lugar en cuestión. Las principales áreas donde ocurren estas pérdidas de energía son el techo, las paredes, las puertas, ventanas y el suelo. Las cantidades que se pierden por cada una de estas partes va a depender de sus coeficientes de transferencia de calor, del material, de la aislación, del clima, de la estructura de la edificación, etc.

Al estudiar la eficiencia energética de las viviendas y buscar disminuir las pérdidas, se puede obtener un confort térmico de manera más fácil, por lo que se requeriría menor cantidad de energía para calefaccionar el lugar, lo que se traduciría en un menor gasto económico y en un menor impacto ambiental. Además, también se considera la adición de fuentes de energía renovable para disminuir aún más el consumo energético y mejorar la sustentabilidad.

En base a todo esto, se creó la Calificación Energética de Viviendas (CEV), la que es una herramienta de cálculo que informa de manera objetiva el desempeño energético de las viviendas en Chile. Esta herramienta busca mejorar y ayudar a las constructoras e inmobiliarias para que puedan proveer nuevas casas y edificios que cumplan estos estándares de calidad, y a la vez busca mejorar la vida de las personas, al estos contar con la información necesaria sobre la eficiencia energética de las casas o departamentos que podrían habitar [7].

La primera versión del CEV presentada el año 2012 hace énfasis en el aislamiento de las viviendas para mejorar su rendimiento energético a través de la disminución de la energía ocupada en climatización al mejorar el aislamiento térmico de las superficies. En este proyecto se llevará a cabo un estudio en el cual se realizarán simulaciones mediante el software TRNSYS y el método de cálculo de la CEV con el propósito de comparar las demandas de calefacción obtenidas en diferentes casos, para luego hacer un análisis y de esta manera ver si se está de acuerdo con los requerimientos actuales de la CEV y proponer posibles mejoras, lo cual se realiza en el marco de un convenio con la Ditec del MINVU que son los que administran la CEV.

1.2 Objetivos

Objetivo General

- Evaluar el efecto de la inercia térmica de los elementos de la envolvente térmica de múltiples viviendas bajo diferentes condiciones y ver cómo esta influye en la eficiencia energética de las viviendas, comparar los resultados de la CEV con los de TRNSYS y proponer mejoras al método de la CEV.

Objetivos Específicos

- Realizar un análisis bibliográfico con relación a la calificación energética de viviendas (CEV) y al software TRNSYS para aprender su funcionamiento.
- Definir las tipologías y los climas para el estudio a realizar.
- Simular en software TRNSYS y en el programa de cálculo de la CEV para todas las condiciones y casos previamente establecidas.
- Proponer mejoras al programa de cálculo de la calificación energética de viviendas basados en los resultados obtenidos.
- Analizar los resultados del estudio y presentar las conclusiones obtenidas.

1.3 Metodología de trabajo

Para realizar el trabajo, primero se realizará un análisis bibliográfico, donde se estudiará en detalle el método de la calificación energética de viviendas a través de los manuales que dispone el MINVU. Además, se revisarán temas relacionados en la literatura como lo son la eficiencia energética de viviendas, pérdidas de calor en recintos, etc. Al mismo tiempo se estudiará la utilización del software TRNSYS, para posteriormente utilizarlo en las simulaciones correspondientes. A continuación, se deben definir la ubicación y el tipo de viviendas a estudiar, para luego realizar las simulaciones. Finalmente, se compararán los resultados obtenidos de dichas simulaciones, con los resultados del modelo CEV para posteriormente analizar sus diferencias, similitudes y proponer mejoras.

2 CAPITULO 2: Marco Teórico

En este capítulo se mencionará qué es la inercia térmica y además se ahondará en los programas que serán utilizados para realizar las simulaciones. Estos son la herramienta de la Calificación Energética de Viviendas (CEV) y el programa Transient System Simulation Tool (TRNSYS). Se comentará que son, para qué sirven y cómo funcionan.

2.1 Inercia térmica

La inercia térmica es un concepto fundamental en el diseño y en el comportamiento de las viviendas en relación con la eficiencia energética y la comodidad interior. En un sistema transiente, la masa térmica de una vivienda tiene la capacidad para absorber, almacenar y progresivamente liberar calor dependiendo de la diferencia de temperatura entre esta y sus alrededores. La cantidad de calor almacenada depende de la densidad y del calor específico del material, mientras que el ritmo de intercambio de calor está influenciado por el coeficiente convectivo y la emisividad y absorción de la superficie. Edificaciones con una alta cantidad de masa térmica en su envolvente presentarían una reacción amortiguada y retrasada a un estímulo inicial como lo podría ser un aumento repentino en la temperatura externa. A este comportamiento se le refiere como inercia térmica de una edificación [8]. Los materiales con alta inercia térmica almacenan calor y lo liberan paulatinamente cuando la temperatura exterior baja, esto es lo que contribuye a estabilizar la temperatura en los recintos, lo que permite disminuir el consumo de energía para calefaccionar el interior de una vivienda, haciéndola más eficiente.

Métodos de construcción donde se utiliza una alta cantidad de masa térmica, generalmente obtenida gracias al uso de grandes cantidades de ladrillos o concreto, han probado ser beneficiosos al momento de disminuir el riesgo de sobrecalentamiento. Sin embargo, una alta masa térmica no siempre es beneficiosa para el confort y eficiencia energética de una vivienda en invierno, esto ya que edificaciones con una gran cantidad de masa térmica necesitan más tiempo para alcanzar el punto deseado en casos de uso intermitente, ya sea enfriando o calentando. Esto puede causar incomodidad en los ocupantes y resultar en un elevado consumo energético debido a prolongados periodos de precalentamiento o preenfriamiento. Es por esto por lo que continuamente se realizan estudios sobre el tema para comprender mejor el fenómeno y así poder obtener los mejores resultados.

2.2 Calificación Energética de Viviendas (CEV)

La calificación energética de viviendas es una herramienta desarrollada en conjunto por el Ministerio de Vivienda y Urbanismo y el Ministerio de Energía, con el objetivo de poder determinar la eficiencia energética de una vivienda a través de un informe de calificación y una etiqueta de eficiencia. Esto se hace a través de una estimación teórica de la demanda de energía para calefacción, enfriamiento, agua caliente sanitaria e iluminación, elementos que dependen de las ganancias solares, nivel de aislamiento

térmico de la envolvente, inercia térmica, puentes térmicos, tipo de ventilación, nivel de infiltraciones y la zona térmica donde se ubique la vivienda [7].

Su primera versión fue presentada en el año 2012 y su segunda y actual versión fue lanzada en el año 2019. La versión por utilizar es la 2.2 del programa, el cual consiste en 3 planillas de Microsoft Excel, las cuales trabajan en conjunto a través del uso de macros. Los archivos reciben los siguientes nombres:

- 0.1 PBDT Datos de Arquitectura
- 0.2 PBDT Motor de Calculo
- 0.3 PBDT Datos de Equipo y Resultados

Donde PBDT significa planilla de balance dinámico térmico. Estas planillas se encuentran disponibles en la página web de la calificación energética del MINVU.

Es importante resaltar que la planilla de balance térmico realiza un balance térmico cada 60 segundos, y luego determina un promedio de dichos balances para presentar resultados horarios para un día representativo para cada mes.

Por otra parte, dicho balance térmico se calcula evaluando la temperatura interior del recinto en base a los distintos flujos presentes. El flujo está dando por el siguiente balance.

$$\phi[W] = \sum (\phi_{cargas\ internas} + \phi_{radiacion} \pm \phi_{envolvente} \pm \phi_{infiltraciones} \pm \phi_{ventilacion} \pm \phi_{puentes\ termicos} \pm \phi_{inercia\ termica} \pm \phi_{climatizacion})$$

Donde

ϕ : Potencia que afecta el cambio de temperatura.

Cargas internas: dependen del uso del espacio y corresponden a las potencias tabuladas según normativa internacional y/o manuales de buenas prácticas nacionales.

Radiación: datos climáticos de la zona, donde se utiliza un ingreso de datos horario. Dichos datos serán reducidos con base a obstrucciones cercanas, así como lejanas.

Envolvente: corresponde a la transferencia de calor asociada a la envolvente particular de cada caso.

Infiltraciones: corresponden a renovaciones de aire por infiltraciones (RAH) tabuladas asociadas a distintas tipologías de viviendas.

Ventilación: renovaciones de aire o tasa de ventilación asociadas a distintas condiciones de uso de la vivienda.

Puentes térmicos: corresponden a coeficientes de transmitancia (U) asociado a distintos puentes térmicos.

Inercia térmica: corresponden a valores tabulados para distintos materiales.

Climatización: calor aportado por un sistema de climatización. Se entiende en esta lógica de cálculo como el calor necesario para llevar la temperatura interior a los límites de la banda de confort cuando la temperatura del recinto se encuentra fuera de ella.

A partir de este balance se obtiene la variación de temperatura en el aire al interior del recinto de la siguiente manera

$$T_{i+1}[\text{°C}] = T_i + \frac{\sum E_i}{m \cdot C_p}$$

Donde

T_i : corresponde a la temperatura interior del aire en el instante i .

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

$\sum E_i = \sum \Phi[W] * \Delta t$: corresponde a la sumatoria de flujo de energía intercambiados al interior de un recinto, durante un intervalo de tiempo Δt , que debe ser absorbida por el aire interior.

m : corresponde a la masa de aire al interior del recinto.

C_p : corresponde al calor específico del aire, el cual es $1000[J/KgK]$.

Estas ecuaciones son las principales y son la base de la herramienta de cálculo de la calificación energética de viviendas.

Por otra parte, para hacer uso de las planillas Excel que conforman la calificación energética de viviendas, se debe en el primer archivo del programa definir las variables con las características geográficas, también las características de la vivienda como lo son el número de habitaciones, las dimensiones de las superficies (techos, paredes, ventanas, pisos, etc.) y además las propiedades de los materiales, como lo son las transmitancias térmicas y la densidad. Luego, a partir de la información proporcionada al primer archivo, el segundo documento es el encargado de realizar los cálculos principales. Finalmente, en el tercer y último archivo es en donde se pueden definir los datos de los equipos presentes en la vivienda y es también el encargado de entregar los resultados.

Después de haber utilizado las planillas Excel, se obtienen una serie de resultados, siendo uno de los más relevantes una estimación de la demanda de energía para calefacción al interior de la vivienda, la cual puede o no ser comparada con una vivienda de referencia. Al realizar la comparación entre el requerimiento energético de demanda de la vivienda en estudio con la demanda de la vivienda de referencia es que se obtiene la calificación energética de la vivienda. La escala de clasificación está compuesta por 8 niveles que van desde la letra G, que es el nivel más bajo, hasta la calificación A+, la cual indica el nivel más alto de eficiencia.

Por otra parte, este método también permite determinar cuánto tiempo la vivienda pasa fuera de la zona de confort térmico. Se suele definir como la sensación de satisfacción y comodidad en el ambiente térmico de un espacio. La CEV define diferentes rangos de confort para las diferentes zonas térmicas del país, valores que además varían mes a mes. A continuación, se presentan los rangos de confort térmico para las ciudades de Concepción y Santiago.

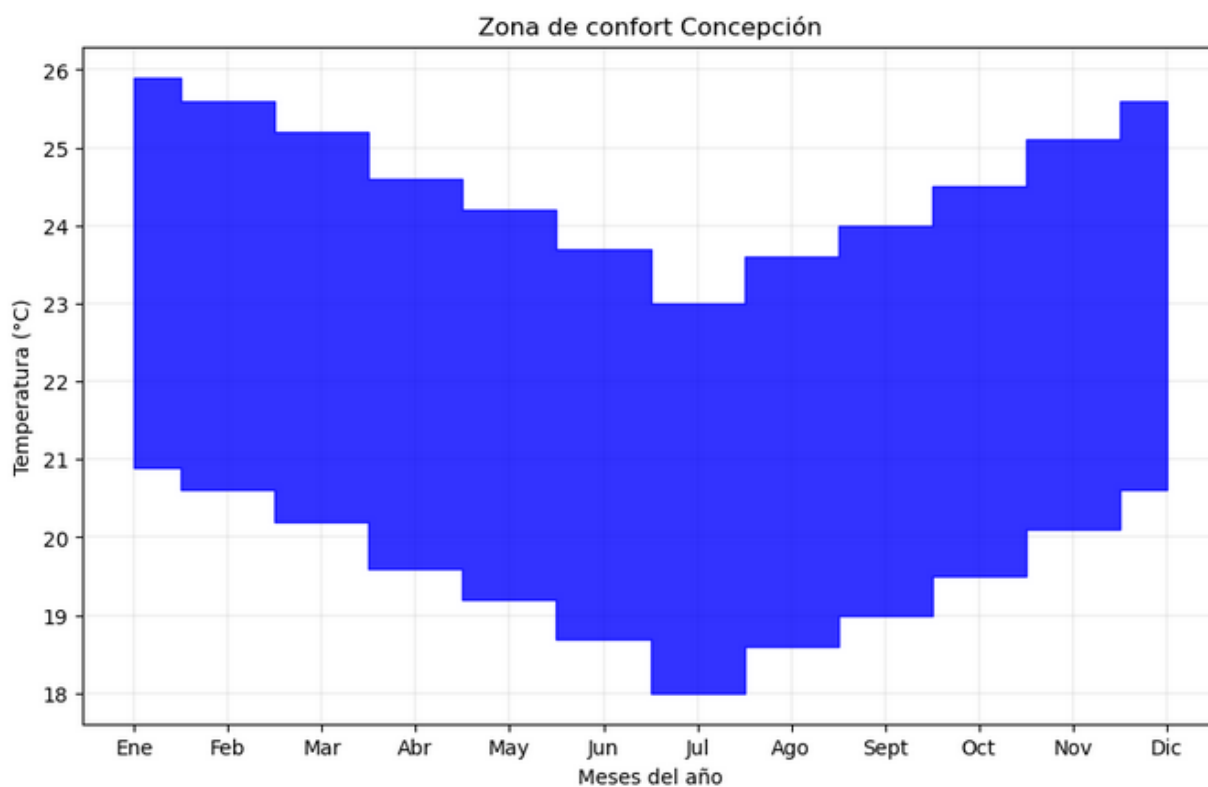


Figura 2.1: Rango de confort térmico anual definido por la CEV para la ciudad de Concepción. Fuente: Elaboración propia.

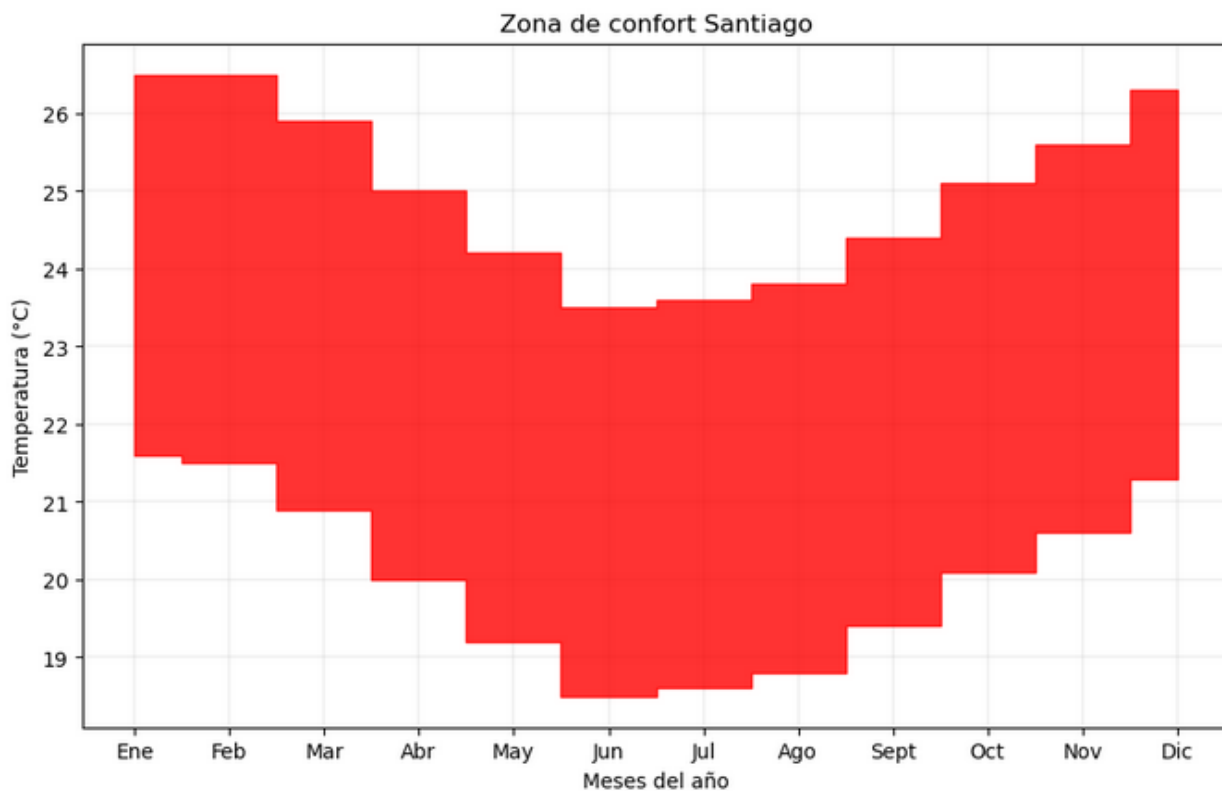


Figura 2.2: Rango de confort térmico anual definido por la CEV para la ciudad de Santiago. Fuente: Elaboración propia.

Por último, en la Tabla 2.1 se pueden ver los rangos de confort térmico previamente presentados en los gráficos, de una manera más exacta en forma de tabla.

Tabla 2.1: Rangos de confort térmico definidos por la CEV para las ciudades de Concepción y Santiago.

Ciudad	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
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
	20,9	20,6	20,2	19,6	19,2	18,7	18,0	18,6	19,0	19,5	20,1	20,6
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
	21,6	21,5	20,9	20,0	19,2	18,5	18,6	18,8	19,4	20,1	20,6	21,3

En la Figura 2.3 se pueden observar múltiples herramientas, las cuales son [11]:

- **Type 9a:** estas permiten importar archivos con datos externos para que el programa pueda analizar. En este caso, este elemento contiene los datos climáticos de las ciudades de Santiago y Concepción.
- **Type 9a-2:** Este elemento, al igual que el anterior, contiene un archivo de datos externos, el cual en este caso corresponde a un archivo binario de datos que regula el periodo de calefacción, de modo que se encuentre encendida en invierno y apagada en verano.
- **Type 16i:** esta herramienta recibe los datos horarios de radiación solar horizontal y a través de diferentes algoritmos estima la radiación inclinada.
- **Type 65d:** es una herramienta para graficar que permite visualizar las variables durante el proceso de simulación.
- **Type 25c:** este elemento permite registrar los valores de las variables seleccionadas en intervalos de tiempo especificados.
- **Type 56a:** es el componente que permite modelar el comportamiento térmico de los edificios que presentan múltiples zonas térmicas. En este se definen los muros, techos, pisos y ventanas, con sus respectivas transmitancias térmicas.
- **Equa:** este elemento corresponde a ecuaciones definidas por el usuario para realizar cálculos que no vienen por defecto en el programa o para definir constantes o condiciones.

3 CAPITULO 3: Selección de ciudades y tipología de viviendas

3.1 Selección de ciudades

Para la realización de esta investigación se seleccionan 2 ciudades de Chile que presenten condiciones climáticas diferentes para contrastar los resultados obtenidos bajo distintas condiciones ambientales.

Se decidió que se utilizaran las ciudades de Santiago en la región metropolitana y de Concepción en la región del Bio Bío. Santiago presenta un clima mediterráneo, de estación seca prolongada y un invierno bien marcado con temperaturas extremas, además de que en algunos sectores tiene climas más áridos y con mayores fluctuaciones térmicas, que reflejan la penetración del clima de estepa, lo que ocurre debido a la presencia de la cordillera de la costa que actúa como una pantalla dificultando la influencia de las condiciones climáticas marítimas [12]. Por otra parte, la región del Bio Bío se define como una zona transición entre el clima templado mediterráneo cálido y un clima húmedo templado o lluvioso, y más específicamente, la ciudad de Concepción presenta un clima costero lluvioso con temperaturas menos extremas y alcanzando una alta cantidad de precipitación [13].

Las diferencias en sus condiciones climáticas, sumado al hecho de que ambas son de las ciudades más importantes del país, con las mayores densidades poblacionales, lo que implica una alta demanda de viviendas y a la vez altos niveles de gasto energético y contaminación, son los motivos por lo que fueron seleccionadas para el estudio.

3.2 Tipología de viviendas

En Chile existen diferentes tipos de agrupamiento de viviendas los cuales están definidos por la Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones (OGUC) [14]. Los tipos de agrupamiento de viviendas más destacados son los siguientes

- **Vivienda o edificación aislada:** se encuentra separada de los deslindes, emplazada por lo menos a las distancias resultantes de la aplicación de normas sobre rasantes y distanciamientos que se determinen en el instrumento de planificación territorial o en su defecto, las que establece la OGUC.
- **Vivienda o edificación pareada:** corresponde a dos edificaciones emplazadas a partir de un deslinde en común, manteniendo una misma línea de fachada, altura y longitud de pareo.
- **Vivienda o edificación en línea:** se encuentra emplazada a partir de los deslindes laterales opuestos o concurrente de un mismo predio y ocupando todo el frente de este, manteniendo el mismo plano de fachada con la edificación colindante y con la altura que establece el instrumento de planeación territorial correspondiente.
- **Departamento o unidad funcional independiente:** vivienda que, formando parte de una edificación colectiva, permite su utilización en forma independiente del resto, sin tomar en consideración que se acceda a ella a través de espacios de uso común.

A partir de los datos obtenidos en el Censo del año 2017, en Chile se censaron aproximadamente seis millones y medio de viviendas [15]. Dentro de esta cantidad, la mayor parte fueron casas alcanzando el 80% del total. El 17% corresponde a departamentos en edificios y el otro 3% son otro tipo de viviendas como lo pueden ser viviendas tradicionales indígenas, mediaguas, casas rodantes, etc.

Por otra parte, en el mismo censo se obtuvieron también datos de la materialidad de las viviendas del país. De esta información se puede extraer que los materiales más utilizados para construcción en Chile son la albañilería, categoría que engloba construcciones en base a bloque de cemento, ladrillo o piedra, el hormigón y la madera. Existe un 3% que considera las viviendas que están construidas con otros materiales que en la actualidad son menos utilizados como lo son el adobe u otro material artesanal, además de las construcciones de materiales precarios como pueden ser latas o cartón.

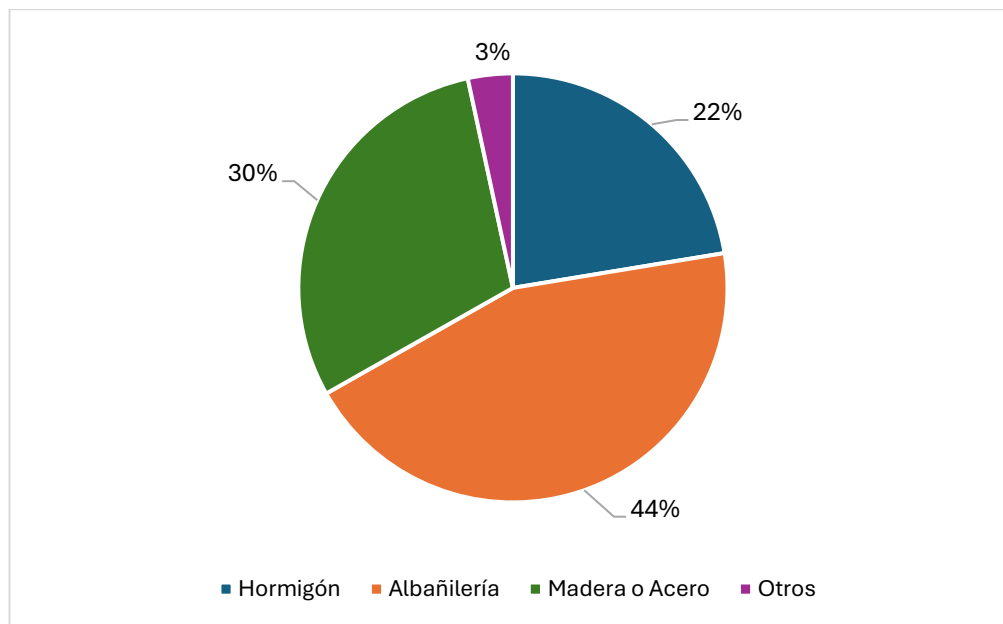


Figura 3.1: Distribución de materiales en viviendas. Fuente: Elaboración propia.

A partir de los datos presentados en la Figura 3.1, para efectos de este proyecto, se considerarán como caso de estudio una casa y un departamento, debido a que son los tipos de viviendas comunes en el país. Además, para la casa, específicamente vivienda aislada, se estudiará el comportamiento de la madera y el ladrillo, y para el departamento se considerará que está construido con hormigón. De esta manera se tienen los materiales más utilizados en construcciones inmobiliarias los cuales además presentan diferentes masas térmicas, lo que es lo principal para analizar el efecto de la inercia térmica en las viviendas. En la Tabla 3.1 se presentan los tipos de vivienda y materiales correspondientes a manera de resumen.

Tabla 3.1: Tipos de vivienda seleccionados con sus respectivas materialidades.

Tipo de vivienda	Material
Vivienda aislada	Madera
	Ladrillo
Departamento	Hormigón

3.2.1 Tipología de vivienda aislada de madera

Para la vivienda aislada de madera se seleccionó un modelo de una empresa de la región del Bio Bío. Este corresponde a una casa de un piso, con 3 dormitorios y un baño, cocina, living y comedor, todo esto en un área de $50,4 m^2$, siendo sus dimensiones 9 metros por 5,6 metros aproximadamente.

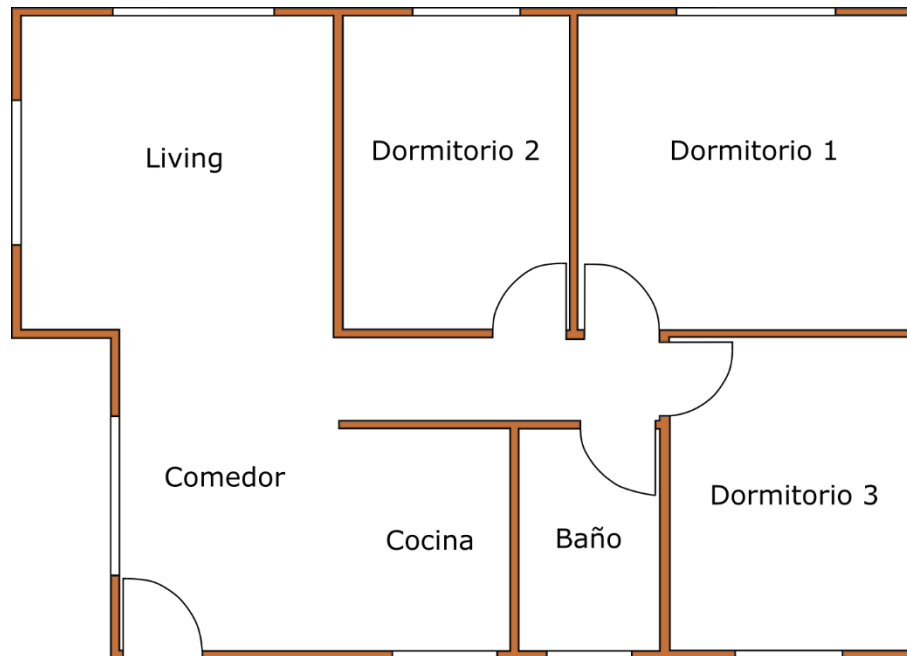


Figura 3.2: Tipología vivienda aislada de madera. Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 3.2 se presenta una vista en planta de un esquema de la vivienda, donde se puede observar que esta tiene una puerta de entrada, además de un total de 8 ventanas, una en cada dormitorio, una en el baño y el resto en las áreas comunes. El interior de la vivienda tiene una altura de $2,4 m$ y las paredes presentan aislamiento térmico en su interior.

Tabla 3.2: Características de la envolvente de la vivienda aislada de madera.

Área útil total	50,4 m²
Altura cielo	2,4 m
Área paredes norte/sur	21,6 m²
Área paredes este/oeste	13,44 m²
Área pared norte sin vanos	16,91 m²
Área pared sur sin vanos	17,8 m²
Área pared oeste sin vanos	10,52 m²

3.2.2 Tipología de vivienda aislada de ladrillo

Para el caso de la vivienda aislada construida con ladrillo se seleccionó un modelo de una casa de un piso de una empresa de la región del Bio Bío, la cual cuenta con 2 dormitorios y un baño, cocina, living y comedor, sumando un área total de 80 m².

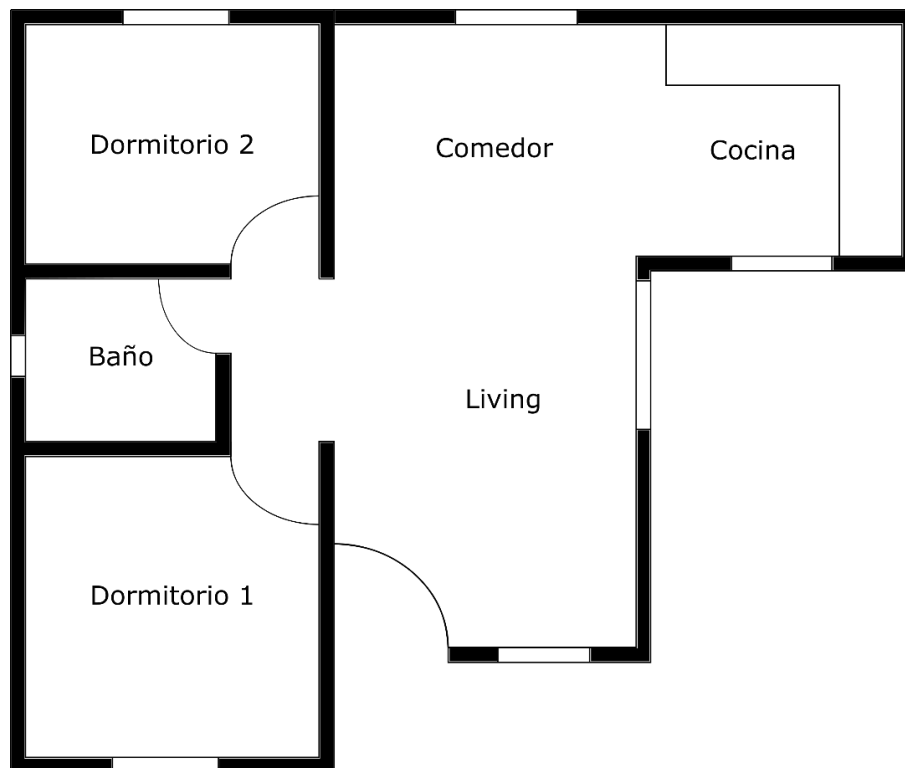


Figura 3.3: Tipología vivienda aislada de ladrillo. Fuente: Elaboración propia.

La casa además cuenta con un total de 6 ventanas, una en cada dormitorio, 2 en el living comedor, además de unas pequeñas ventanas en el baño y en la cocina. Posee además un ventanal en el living y una puerta principal.

Tabla 3.3: Características de la envolvente de la vivienda aislada de ladrillo.

Área útil total	80 m^2
Altura cielo	$2,4 \text{ m}$
Área pared norte/sur	$24,72 \text{ m}^2$
Área pared oeste	$21,6 \text{ m}^2$
Área pared este	$18,24 \text{ m}^2$
Área pared norte sin vanos	$20,22 \text{ m}^2$
Área pared sur sin vanos	$17,66 \text{ m}^2$
Área pared este sin vanos	$15,04 \text{ m}^2$
Área pared oeste sin vanos	$21,36 \text{ m}^2$

3.2.3 Tipología de departamento

Para el caso del departamento de hormigón, se seleccionó un modelo de departamento en la región del Bio Bío en el centro de la ciudad del Concepción. Este se compone por 2 dormitorios, 2 baños, cocina, living, comedor e incluye un balcón. Cada dormitorio posee una ventana y el living presenta un ventanal por el cual se accede al balcón. En la Figura 3.4 se presenta la vista en planta del lugar.

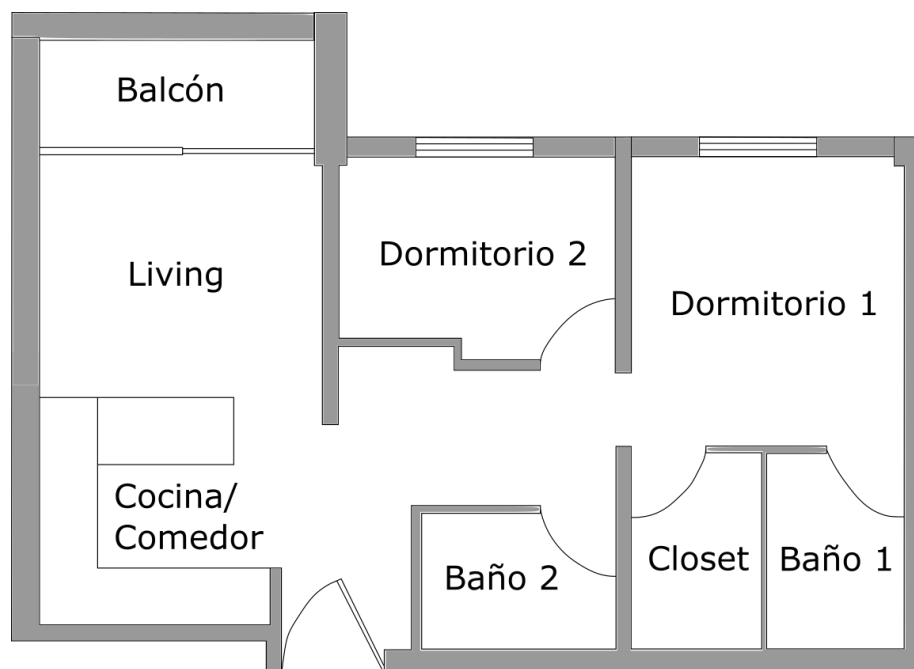


Figura 3.4: Tipología de departamento. Fuente: Elaboración propia.

En la Tabla 3.4 se presentan además las dimensiones de la vivienda, área total, área de las paredes de la envolvente y sus áreas sin considerar las ventanas y puertas.

Tabla 3.4: Características tipología departamento.

Superficie total	54,07 m ²
Superficie interior	50,04 m ²
Superficie terraza	4,03 m ²
Altura cielo	2,3 m
Área pared norte/sur	20,7 m ²
Área pared este/oeste	12,88 m ²
Área pared norte sin vano	13,0 m ²
Área pared sur sin vano	19,1 m ²

4 CAPITULO 4: Simulaciones mediante método CEV

En este capítulo se presentará el desarrollo y resultados obtenidos al utilizar el método de la calificación energética de viviendas para realizar las simulaciones. Esto se llevará a cabo para los tipos de inmuebles que se presentan en la Tabla 3.1, tanto para la ciudad de Santiago como para la ciudad de Concepción. Además, para realizar un análisis aun mayor del efecto de la inercia térmica, se analizarán los efectos de la utilización de aislamiento térmico tanto dentro como fuera de los muros de la envolvente, para los casos de construcciones de ladrillos y hormigón. Para la casa de madera solo se considerará aislación al medio de la pared. Por otra parte, se considera la presencia de calefacción, lo que permite determinar la demanda de calefacción de la vivienda.

Tabla 4.1: Total de casos a estudiar.

	Concepción		Santiago	
Tipo de vivienda	Posición aislamiento térmico			
Vivienda aislada de madera	Entre elementos		Entre elementos	
Vivienda aislada de ladrillo	Exterior	Interior	Exterior	Interior
Departamento de hormigón	Exterior	Interior	Exterior	Interior

Así, como se puede observar en la Tabla 4.1, se tienen un total de 10 casos a estudiar.

Por otra parte, la planilla de cálculo de la calificación permite seleccionar si se desea realizar la simulación para el caso específico a estudiar o si también se desea obtener los datos del caso base propuesto y así obtener una comparación en las condiciones de funcionamiento. Para fines de esta investigación, se obtendrán solo los datos de los casos planteados anteriormente, para comparar los resultados entre ellos, sin importar la casa base presentada por el modelo.

Además, para llevar a cabo las simulaciones se deben definir los valores de las transmitancias térmicas de los elementos de la envolvente de las viviendas. Para esto, se utilizarán los valores presentados por la ordenanza general de urbanismo y construcciones (OGUC) en su versión del 2024 [16] los cuales se presentan a continuación.

Tabla 4.2: Valores de transmitancia térmica según la OGUC (2024) para la ciudad de Concepción.

Concepción (Zona E)	
Elemento	$U [W/m^2K]$
Techo	0,33
Muro	0,6
Piso	0,6
Puertas	1,7

Tabla 4.3: Valores de transmitancia térmica según la OGUC (2024) para la ciudad de Santiago.

Santiago (Zona D)	
Elemento	$U [W/m^2K]$
Techo	0,38
Muro	0,8
Piso	0,6
Puertas	1,7

Por otra parte, para las simulaciones de todos los casos se definieron las mismas características para las puertas y para las ventanas. Se seleccionó una puerta de 2 m de alto por 0,8 de ancho, de madera solida sin vidrio en su superficie.

Tabla 4.4: Características de puertas para simulaciones.

Elemento	Material	$U [W/m^2K]$	Porcentaje de vidrio	Dimensiones [m]	Área [m²]
Puerta	Madera solida	1,7	0%	2 alto x 0,8 ancho	1,6

Para las ventanas, se tiene que son de diferentes tamaños dependiendo de la vivienda, sin embargo, se definieron ciertas características en común. Se considera que las ventanas son de vidrio monolítico con un valor de transmitancia térmica de $5,8 [W/m^2K]$, que es el valor común utilizado en los diseños actuales en estas ciudades. Se considerará que todos los cierres de las ventanas son del tipo corredera y, por otra parte, se definió que la posición de las ventanas es centrada con respecto al muro. Por último, se considera que los marcos de las ventanas son de aluminio.

Tabla 4.5: Características de ventanas para simulaciones.

Elemento	Material	$U [W/m^2K]$	Tipo de cierre	Tipo de marco
Ventanas	Vidrio monolítico	5,8	Corredera	Aluminio

Finalmente, se tiene que para la realización de las simulaciones a través de las planillas de cálculo del método CEV, no se tomara en consideración el efecto de los puentes térmicos en el interior de las viviendas.

4.1 Vivienda aislada de madera

Para caracterizar la vivienda aislada de madera es necesario definir las características de la envolvente, materialidad y dimensiones de esta. Se utilizaron las transmitancias térmicas presentadas en la Tabla 4.2 y Tabla 4.3 para todos los elementos, en cada ciudad respectivamente. Para los muros se estableció la materialidad para madera y luego se decidió utilizar un espesor de material de 8 cm y un espesor de aislante de 6 cm . Por otra parte, para el techo se definió un espesor de techo sólido de 2 cm y se mantuvo el espesor del aislante de 6 cm . Para el suelo se decidió no considerar la presencia de aislante. En el caso de la puerta principal se utilizó la presentada en la Tabla 4.4. Para las ventanas y sus marcos, se utilizaron las características predefinidas por la CEV, las cuales se encuentran en la Tabla 4.5. Por último, se tiene que el techo no presenta cámara de aire y que tanto para el techo como para los muros el aislante se encuentra entre los elementos. En el Anexo A: Parámetros de arquitectura vivienda aislada de madera para método CEV. se presentan con mayor detalle los parámetros utilizados en el programa de cálculo.

En la siguiente tabla se presenta un resumen de los resultados obtenidos para las simulaciones realizadas tanto para la ciudad de Concepción como para la ciudad de Santiago. Como se mencionó anteriormente, para la vivienda de madera solo se considerará la condición donde el aislante se encuentra entre el material, es por esto por lo que solo son 2 los resultados.

Tabla 4.6: Resultados obtenidos con la CEV para el caso de vivienda aislada de madera.

Ciudad	Demanda de calefacción [kWh/m²año]	Porcentaje de disconfort (+)	Porcentaje de disconfort (-)
Concepción	67,1	8%	47%
Santiago	77,3	17%	43%

En la tabla se pueden ver los porcentajes de disconfort, lo que se traduce en la cantidad de tiempo que pasa la vivienda fuera de este rango. La distinción entre paréntesis es para diferenciar el tiempo que la temperatura se encuentra sobre el rango de confort (+) y bajo el rango de confort (-). Como se mencionó anteriormente el método de la CEV utiliza un día típico por mes para determinar esta variable, es decir, considera las condiciones de un solo día, de manera horaria, y luego lo multiplica por los 12 meses del año. De esta manera solo analiza un total de 288 horas, el cual considera el 100% y es con respecto a este valor que determina el porcentaje de tiempo fuera del rango de confort.

4.2 Vivienda aislada de ladrillo

Para este caso, al igual que en el caso anterior, se utilizaron los valores de las transmitancias térmicas para las superficies presentadas por la OGUC el año 2024 correspondiente para cada ciudad. Las paredes de ladrillo de la envolvente de la casa poseen un espesor de 18 cm de material sólido y 5 cm de aislante, el cual se ubicará en un caso por dentro y en otro por fuera. Las características de puertas y ventanas son las mismas que en el caso anterior, aunque las dimensiones de las ventanas varían según el modelo de vivienda. En este caso el espesor del techo es de 2 cm de material sólido y 5 cm de aislante ubicado por el exterior y no se tiene cámara de aire. Por otra parte, en el caso del piso se mantiene que no presenta aislación. Por último, para la materialidad, en la planilla se especificó que este poseía una densidad intermedia. Mas información se presenta en el Anexo B: Parámetros de arquitectura vivienda aislada de ladrillo para método CEV..

Tabla 4.7: Resultados obtenidos con la CEV para el caso vivienda aislada de ladrillo.

Ciudad	Aislación	Demanda de calefacción [kWh/m²año]	Porcentaje de disconfort (+)	Porcentaje de disconfort (-)
Concepción	Exterior	63,2	0%	51%
	Interior	63,0	7%	51%
Santiago	Exterior	65,2	13%	43%
	Interior	65,8	16%	43%

4.3 Departamento de hormigón

Para el tercer caso, el del departamento de hormigón, una vez más se utilizaron para todos los elementos de la envolvente las transmitancias definidas por la ordenanza general de urbanismo y construcciones. Para los muros y para el techo se consideró un espesor de material sólido de 20 cm con un espesor de aislante de 5 cm. Para la materialidad de los muros, se definió como material pesado. El resto de los elementos, puertas, ventanas, piso, etc., comparten las mismas características que las presentadas en ambos casos anteriores. Mas detalles en el

Anexo C: Parámetros de arquitectura departamento de hormigón para método CEV..

Tabla 4.8: Resultados obtenidos con la CEV para el caso departamento de hormigón.

Ciudad	Aislación	Demanda de calefacción [kWh/m ² año]	Porcentaje de discomfort (+)	Porcentaje de discomfort (-)
Concepción	Exterior	58,1	3%	46%
	Interior	55,8	9%	45%
Santiago	Exterior	65,5	17%	41%
	Interior	63,8	20%	41%

4.4 Resultados CEV

Habiendo realizado las 10 simulaciones con el método de la calificación energética de viviendas se obtuvieron múltiples resultados. En la Tabla 4.9 se presentan los resultados de manera resumida para los 3 tipos de vivienda y para las 2 ciudades. Se pueden ver la ubicación de la aislación, la demanda total anual de calefacción en kWh/m²año y el porcentaje de tiempo en el que la vivienda se encuentra fuera del rango de temperatura de confort. Con respecto al porcentaje de discomfort, se considerará para el análisis solo el tiempo que las viviendas se encuentran por debajo del rango de confort, es decir, cuando requieren calefacción. Esto debido a que el consumo producto del uso de aire

acondicionado no es crítico para el consumo de energía total de la vivienda, lo cual se puede observar en la Tabla 4.6, Tabla 4.7 y Tabla 4.8, donde los porcentajes de desconfort por sobre el rango de confort son bajos.

Tabla 4.9: Resumen de resultados simulaciones método CEV.

Tipología	Ciudad	Aislación	Demanda de calefacción [kWh/m²año]	Porcentaje de desconfort
Vivienda aislada de madera	Concepción	Inter elementos	67,1	47%
	Santiago	Inter elementos	77,3	43%
Vivienda aislada de ladrillo.	Concepción	Exterior	63,2	51%
		Interior	64,9	51%
	Santiago	Exterior	65,2	43%
		Interior	65,8	43%
Departamento de hormigón	Concepción	Exterior	58,1	46%
		Interior	55,8	45%
	Santiago	Exterior	65,5	41%
		Interior	63,8	41%

A continuación, se realizará un análisis detallado a los resultados obtenidos, abordando cada caso por separado y luego realizando una comparativa entre todos los casos.

De manera general, para los 3 tipos de viviendas, se tiene que la demanda de energía anual es mayor para la ciudad de Santiago que para la ciudad de Concepción. Esto se debe a los tipos de climas presentes, ya que el clima de Concepción presenta una menor amplitud dentro de las temperaturas en comparación con la ciudad de Santiago, lo que en otras palabras se traduce en que Santiago posee temperaturas máximas mayores y temperaturas mínimas menores, por lo que se requiere mayor energía para mantener el confort que en la ciudad de Concepción. Otro factor que influye en esta disminución son las transmitancias térmicas para cada ciudad, ya que en la ciudad de Concepción el valor definido por la OGUC es menor que en Santiago, lo que se traduce en una mejor aislación y en una menor demanda de energía para calefaccionar el interior de la vivienda.

Luego, para comentar cada caso por separado, se tiene primero el caso de la vivienda aislada de madera, donde se puede observar que se obtuvo que la ciudad de Concepción se encuentra un 47% del tiempo fuera del rango de confort térmico definido por la CEV y que la ciudad de Santiago se encuentra un 43% fuera. Además, se presenta que en la ciudad de Concepción la demanda es de

10,2 kWh/m²año menor que en Santiago, lo que se puede atribuir a las condiciones mencionadas previamente.

Después, para el caso de la vivienda aislada de ladrillo se tiene que la demanda de energía en la ciudad de Concepción, tanto en el caso de aislación externa como interna, es menor que en la ciudad de Santiago. Mas específicamente en Concepción se puede ver que al ubicar la aislación por el exterior existe un ahorro de 1,7 kWh/m²año en comparación con colocarla en el interior del muro. Por otro lado, en la ciudad de Santiago se presenta una disminución de 0,6 kWh/m²año de consumo al cambiar la posición del aislante. También se puede observar que los valores del porcentaje de discomfort fluctúan entre el 43% y 51%, siendo el caso que presenta una menor demanda energética el que pasa más tiempo fuera del rango de comodidad, y el caso que presenta una mayor demanda, el que pasa menos tiempo fuera de dicho rango.

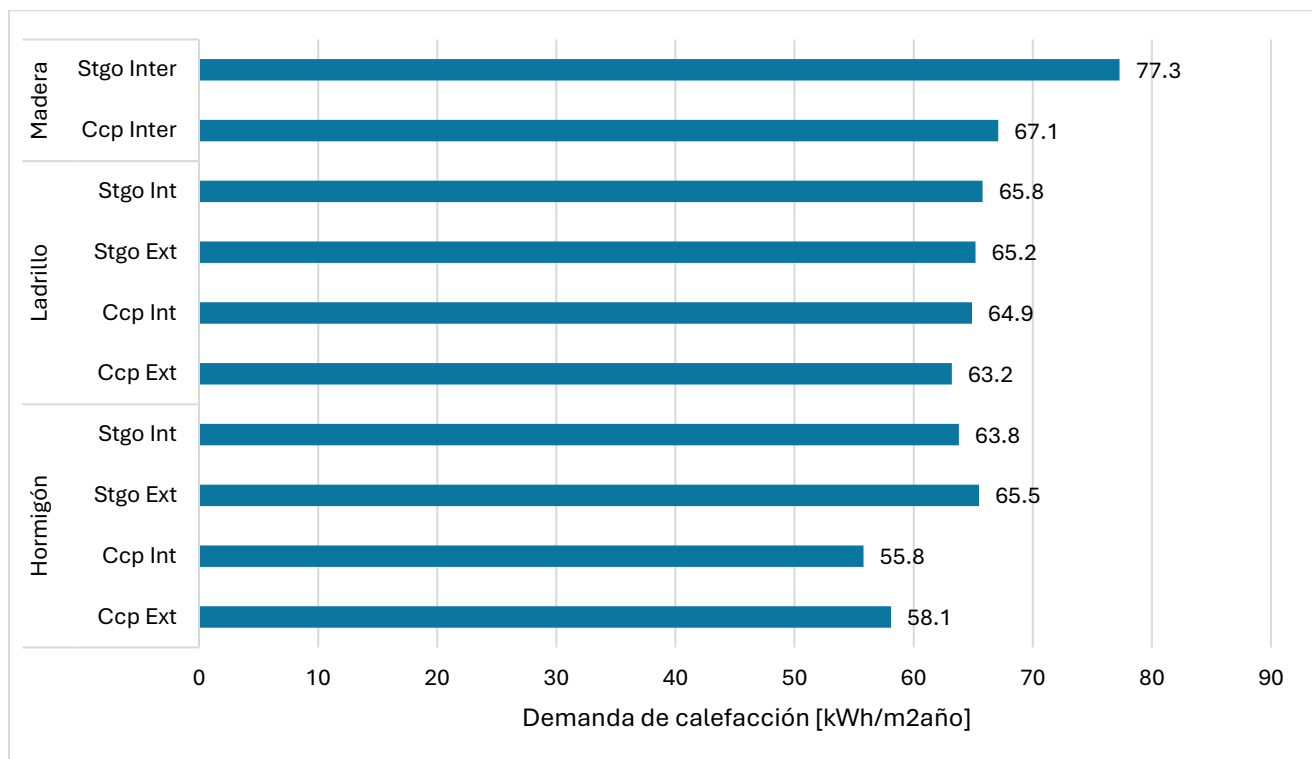


Figura 4.1: Demanda de calefacción total anual para cada caso y tipo de vivienda en [kWh/m²año] determinado con la CEV. Fuente: Elaboración propia.

Por último, para el caso del departamento de hormigón se mantiene el comportamiento que muestra que la demanda en la ciudad de Santiago es mayor que en la ciudad de Concepción, sin embargo, el comportamiento con respecto a la posición de la aislación es lo contrario que en el caso anterior. Acá para ambas ciudades se tiene ahora que cuando la aislación térmica se ubica por fuera del muro la demanda es mayor, por lo tanto, con el aislante al interior en la ciudad de Concepción la demanda disminuye 2,3 kWh/m²año y en la ciudad de Santiago 1,7 kWh/m²año. En este caso, los porcentajes

de tiempo fuera del rango de confort se mueven entre el 41% y 46% y en esta ocasión, al igual que en la vivienda anterior, el caso con menor demanda es el que presenta más tiempo fuera del rango de confort y el caso con mayor demanda, el que presenta mayor porcentaje de discomfort.

5 CAPITULO 5: Simulaciones mediante software TRNSYS

Para realizar las simulaciones en el software TRNSYS, se mantuvieron las condiciones utilizadas en el programa de la CEV, con el objetivo de replicar las condiciones de la mejor manera posible para efecto de comparaciones. No obstante, existen numerosos parámetros que no pueden ser homologados, y sumado al hecho de que la estructura interna de ambos programas es fundamentalmente diferente, es que los resultados no son directamente comparables en sus valores. Por este motivo, es que la comparación que se desea realizar es en las tendencias de los resultados.

Cabe mencionar que el programa de cálculo de la CEV presenta mayores restricciones a la hora de modificar variables e ingresar parámetros, es por esto por lo que se realizaron primero las simulaciones con dicho programa y posteriormente se realizaran con TRNSYS, el cual si permite una mayor capacidad de modificación.

De esta manera, se utilizan las siguientes condiciones para las simulaciones

- Se utilizan los mismos espesores definidos para cada estructura en el modelo de la CEV, tanto para las paredes como para los aislantes.
- Para las infiltraciones se considera un valor de una renovación de aire por hora.
- Los valores de las transmitancias térmicas son los mismos que los utilizados con el método CEV para los muros, techos, y puertas, según lo presentado en la Tabla 4.2 y Tabla 4.3.
- Para las ventanas, se utilizó el mismo valor de transmitancia que en el caso anterior, el cual corresponde al valor de las ventanas comúnmente utilizadas en este tipo de construcciones.
- No se consideraron los muros interiores al definir las características de las viviendas.
- Se considera una temperatura inicial de la zona de 20°C y una humedad relativa inicial del 50%.
- Para las ganancias internas se considera el mismo cálculo de la CEV, el cual presenta que los habitantes corresponden al número de habitaciones más uno.
- El caso del departamento, para efectos de la simulación, no se consideró el piso. Para las viviendas de madera y ladrillo si se consideró como parte del terreno.
- En TRNSYS, tanto los pisos como techos fueron definidos como Boundary, es decir, como límites, pero que no se encuentran expuestos a la radiación solar. El resto de las superficies fueron definidas como External, ya que si se encuentran en contacto con el exterior.

Así, teniendo en cuenta todas las condiciones mencionadas previamente, se realizarán en TRNSYS simulaciones para los 10 casos establecidos, solo que en esta ocasión se harán bajo 2 condiciones diferentes. Una será manteniendo la calefacción durante el mismo periodo del año, lo que permitirá obtener la demanda de calefacción y luego, para la otra condición se eliminará el efecto de la calefacción, lo que permitirá observar de manera más precisa las temperaturas interiores de las viviendas y determinar los tiempos que se encuentran dentro y fuera del rango de comodidad térmica.

5.1 Vivienda aislada de madera

En el Anexo D: Gráficos de resultados de simulaciones en TRNSYS para vivienda aislada de madera. se presentan primero los valores de las temperaturas externas y las temperaturas internas para la vivienda de madera ubicada tanto en la ciudad de Concepción como en la ciudad de Santiago en la ausencia de calefacción al interior de la vivienda. La curva roja representa la temperatura al interior de la vivienda y la curva azul la temperatura en Concepción. Esta información es presentada dividida en 3 periodos, donde el primero va desde el 1 de enero al 30 de abril, el segundo va desde el 1 de mayo al 31 de agosto y el tercero desde el 1 de septiembre al 31 de diciembre, todo esto de manera horaria para completar una muestra de un año.

Por otra parte, en el mismo anexo también se puede ver nuevamente las temperaturas anuales tanto al exterior como al interior, sin embargo, solo para el caso de la vivienda de Concepción y además en este caso en la condición donde si hay presencia de calefacción al interior de la vivienda. Para esto, se establece un periodo de uso de calefacción entre comienzos de abril y hasta a mediados de octubre. Además, para dicho periodo se establece que la temperatura de calefacción es de 21°C , valor que se encuentra dentro del rango de confort definido por la CEV.

Tabla 5.1: Resultados obtenidos con TRNSYS para el caso de vivienda aislada de madera.

Ciudad	Demanda de calefacción [kWh/m²año]	Porcentaje de disconfort (+)	Porcentaje de disconfort (-)
Concepción	135,0	4,98%	74,41%
Santiago	155,2	12,36%	64,77%

En la **Tabla 5.1** se presentan los resultados de demanda energética para calefacción al interior de la vivienda y los porcentajes de disconfort tanto para para temperaturas sobre el rango de confort como temperaturas bajo este. A diferencia del método de la CEV, para estas simulaciones TRNSYS utiliza todas las horas del año para realizar los cálculos, es decir, 8760 valores.

Por último, en la Tabla 5.2 se presentan cuantas horas del año las viviendas se encuentran por sobre el rango de confort, que son las horas de calor, y las horas de frío, que es cuando se encuentra bajo el rango de confort.

Tabla 5.2: Distribución de horas fuera del rango de confort para vivienda aislada de madera.

Ciudad	Aislación	Horas de calor	Horas de frío
Concepción	Inter elementos	436	6518
Santiago	Inter elementos	1083	5674

5.2 Vivienda aislada de ladrillo

En esta sección se presentan los resultados obtenidos en las simulaciones realizadas en TRNSYS a la vivienda aislada de ladrillo, para la ciudad de Santiago y para la de Concepción, revisando su comportamiento al ubicar el aislante en el interior y en el exterior para cada ciudad. Para los 4 casos se podrán ver en el Anexo E: Gráficos de resultados de simulaciones en TRNSYS para vivienda aislada de ladrillo. los gráficos de temperatura externa e interna de manera anual, al igual que en el caso de la vivienda de madera, sin embargo, de ahora en adelante, no se presentarán gráficos de temperaturas con uso de calefacción, ya que en todos los casos y el comportamiento es el mismo que el que se pudo ver para el caso de la madera. De manera adicional, también en el Anexo E: Gráficos de resultados de simulaciones en TRNSYS para vivienda aislada de ladrillo., se presentan gráficos con los promedios mensuales de las temperaturas al interior de la vivienda para la condición sin calefacción.

Tabla 5.3: Resultados obtenidos con TRNSYS para el caso de vivienda aislada de ladrillo.

Ciudad	Aislación	Demanda de calefacción [kWh/m²año]	Porcentaje de disconfort (+)	Porcentaje de disconfort (-)
Concepción	Exterior	116,8	0,08%	77,93%
	Interior	117,3	0,56%	77,83%
Santiago	Exterior	118,5	6,45%	62,87%
	Interior	119,6	8,05%	63,28%

La Tabla 5.3 presenta los principales resultados obtenidos para esta tipología en específico. Luego, la Tabla 5.4 muestra la distribución de las horas que se encuentra la vivienda fuera del rango de confort.

Tabla 5.4: Distribución de horas fuera del rango de confort para vivienda aislada de ladrillo.

Ciudad	Aislación	Horas de calor	Horas de frio
Concepción	Exterior	7	6827
	Interior	49	6818
Santiago	Exterior	565	5507
	Interior	705	5543

5.3 Departamento de hormigón

Para el departamento de hormigón, se presentan sus respectivos gráficos de temperatura interior y exterior a lo largo del año en el Anexo F: Gráficos de resultados de simulaciones en TRNSYS para departamento de hormigón.. La Tabla 5.5 entrega, al igual que en los casos anteriores, la demanda de calefacción en kWh/m²año y los porcentajes de desconfort térmico de frio y de calor al interior de la vivienda.

Tabla 5.5: Resultados obtenidos con TRNSYS para el caso de departamento de hormigón.

Ciudad	Aislación	Demanda de calefacción [kWh/m ² año]	Porcentaje de desconfort (+)	Porcentaje de desconfort (-)
Concepción	Exterior	45,9	5,66%	51,66%
	Interior	49,9	9,62%	52,47%
Santiago	Exterior	47,5	22,35%	44,17%
	Interior	51,7	23,07%	44,34%

Por último, la Tabla 5.6 presenta en horas el tiempo que la vivienda se encuentra fuera del rango de confort, tanto por sobre dicho rango, que como bajo.

Tabla 5.6: Distribución de horas fuera del rango de confort para departamento de hormigón.

Ciudad	Aislación	Horas de calor	Horas de frio
Concepción	Exterior	496	4525
	Interior	843	4596
Santiago	Exterior	1958	3869
	Interior	2016	3884

5.4 Resultados TRNSYS

En esta sección presentaran los resultados para todos los resultados obtenidos mediante las simulaciones con TRNSYS para cada uno de los casos, de manera resumida y realizando algunas aclaraciones y comentarios.

En la Tabla 5.7 se presenta un resumen de todos los resultados obtenidos con TRNSYS. Al igual que para los resultados del método CEV, se considera solo el tiempo que las viviendas se encuentran por bajo del rango de confort, por lo que ese es el valor que se presenta como porcentaje de desconfort. Con respecto a la demanda de calefacción, TRNSYS entrega este valor en kWh/año, por lo que se le ha realizado la conversión correspondiente a kWh/m²año en cada caso, para presentar los resultados en el mismo formato que los obtenidos con la CEV y así facilitar el análisis.

Tabla 5.7: Resumen de resultados simulaciones método TRNSYS.

Tipología	Ciudad	Aislación	Demanda de calefacción [kWh/m²año]	Porcentaje de desconfort
Vivienda aislada de madera	Concepción	Inter elementos	135,0	74,41%
	Santiago	Inter elementos	155,2	64,77%
Vivienda aislada de ladrillo.	Concepción	Exterior	116,8	77,93%
		Interior	117,3	77,83%
	Santiago	Exterior	118,5	62,87%
		Interior	119,6	63,28%
Departamento de hormigón	Concepción	Exterior	45,9	51,66%
		Interior	49,9	52,47%
	Santiago	Exterior	47,5	44,17%
		Interior	51,7	44,34%

Se puede ver que, en el caso de la vivienda aislada de madera, la ciudad de Concepción presenta un porcentaje de desconfort de 74,41%, lo que es un 10% mayor que en la ciudad de Santiago que tiene un 64,77%. Sin embargo, la demanda de calefacción es menor Concepción que en Santiago, presentando un ahorro de energía de 20 kWh/m²año.

Luego, tanto para el caso de la vivienda aislada de ladrillo como el departamento de hormigón se puede ver que los porcentajes de desconfort van más asociados a la ciudad que a la posición del aislante, ya que el porcentaje varia muy poco entre colocar el aislante al interior o al exterior, pero cambia alrededor de un 10% al pasar de Concepción a Santiago, siendo Santiago la que siempre presenta un menor desconfort térmico. Con respecto a la demanda de calefacción, se observa que ambas tipologías también se comportan de la misma manera, presentando en Concepción menor

demanda que en Santiago, y a su vez, se puede ver que son los casos donde el aislante se encuentra en el exterior los cuales presentan los mejores resultados.

En la Figura 5.1: **Demanda de calefacción total anual para cada caso y tipo de vivienda en [kWh/m2año] determinado con TRNSYS. Fuente: Elaboración propia.** se presenta un gráfico donde se muestran los valores de las demandas de calefacción obtenidas con las simulaciones en TRNSYS para cada uno de los casos de estudio planteados.

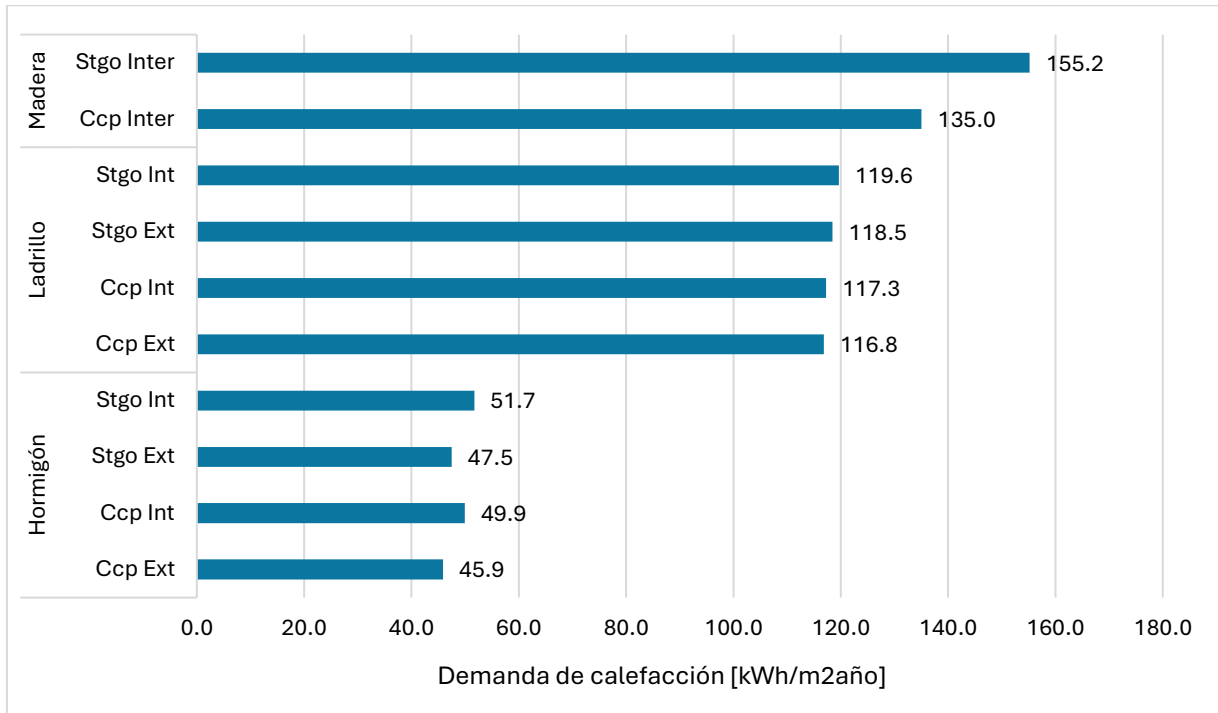


Figura 5.1: Demanda de calefacción total anual para cada caso y tipo de vivienda en [kWh/m2año] determinado con TRNSYS. Fuente: Elaboración propia.

Por último, en la Figura 5.2 y Figura 5.3 se presentan gráficos donde se puede ver una comparativa en las temperaturas promedio mensuales al interior de las 3 viviendas bajo la condición de ausencia de calefacción, tanto para la ciudad de Santiago como para Concepción. De estos, se puede observar que, para ambas ciudades, el departamento del hormigón es el que presenta temperaturas mayores a lo largo del año, estando mas tiempo dentro del periodo de confort.

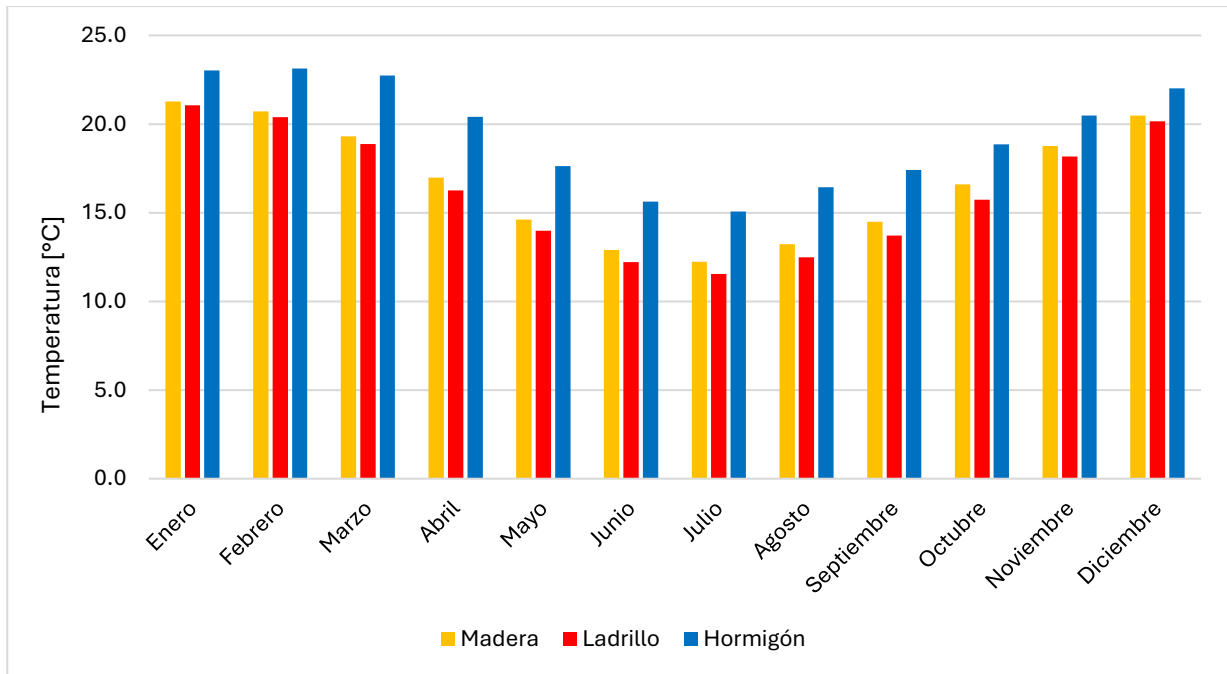


Figura 5.2: Comparativa de temperaturas promedio mensuales al interior de las diferentes viviendas en el caso sin calefacción en Concepción (TRNSYS). Fuente: Elaboración propia.

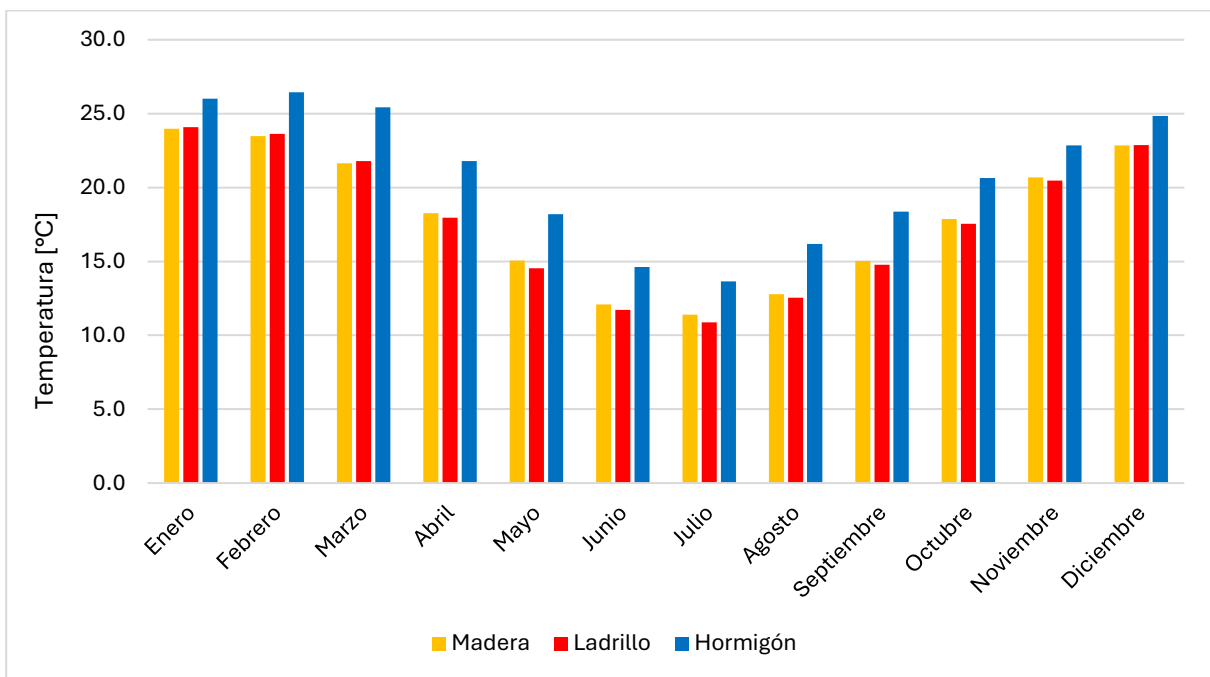


Figura 5.3: Comparativa de temperaturas promedio mensuales al interior de las diferentes viviendas en el caso sin calefacción en Santiago (TRNSYS). Fuente: Elaboración propia.

6 Discusión de resultados

En este capítulo se realizará la discusión de los resultados obtenidos. En los capítulos anteriores se presentaron los resultados para cada método de simulación, donde fueron comentados brevemente y sin mayor comparación entre cada método, por lo que en esta ocasión si se llevaran a cabo comparaciones. Sin embargo, a pesar de la intención de homologar las condiciones para las simulaciones en ambos programas, existen múltiples diferencias en diferentes niveles, por lo que más allá de concentrarse en los valores de los resultados, los cuales son claramente distintos, se analizarán las tendencias de estos junto con sus diferencias y similitudes.

En la Tabla 6.1 se pueden ver los resultados del porcentaje de discomfort obtenidos a través de los 2 métodos utilizados, para cada caso de estudio, uno al lado del otro para poder comparar directamente. Se debe recordar que estos porcentajes son los porcentajes de tiempo que las viviendas se encuentran fuera del rango de confort, estando por debajo de este, es decir, porcentaje de frío. Esto ya que, se considera que el efecto del aire acondicionado en la demanda energética no es muy influyente, por lo que el análisis se centra en la demanda de calefacción.

Tabla 6.1: Tabla comparativa de resultados de tiempo fuera del rango de confort obtenidos para las simulaciones realizadas con TRNSYS y con la CEV.

Tipología	Ciudad	Aislación	Porcentaje de discomfort	
			CEV	TRNSYS
Vivienda aislada de madera	Concepción	Inter elementos	47%	74%
	Santiago	Inter elementos	43%	65%
Vivienda aislada de ladrillo.	Concepción	Exterior	51%	78%
		Interior	51%	78%
	Santiago	Exterior	43%	63%
		Interior	43%	63%
Departamento de hormigón	Concepción	Exterior	46%	52%
		Interior	45%	53%
	Santiago	Exterior	41%	44%
		Interior	41%	44%

Al analizar la información de la tabla anterior, se puede ver que como se esperaba, los valores son distintos entre cada método, presentando una diferencia de alrededor del 20% para los casos de las viviendas de madera y de ladrillo y una diferencia del aproximadamente un 5% en el caso del departamento, siendo los resultados en TRNSYS mayores que los de la CEV. Estas diferencias se deben a como plantea el cálculo del porcentaje de discomfort el modelo CEV, ya que este utiliza un día típico para cada mes, es decir, representa el comportamiento de cada mes a través de solo un día, lo que posteriormente multiplica por los 12 meses y obtiene un total de 288 datos de temperatura, con

los cuales realiza el cálculo de porcentaje dentro del rango de confort. Por otra parte, el programa TRNSYS realiza todos sus cálculos de manera horaria, es decir, considera las temperaturas de cada hora del año, teniendo así un total de 8760 datos, por lo que, con esta inmensa desigualdad en la cantidad de datos, es esperable que haya diferencias en los resultados. Además, se tiene que la cantidad de datos que utiliza la CEV es equivalente al 3,28% del año, por lo que es lógico que los porcentajes obtenidos en TRNSYS sean mayores, ya que de por sí hay más valores que pueden estar fuera de dichos rangos.

No obstante, a pesar de estas diferencias, también se puede ver que, en general, ambos métodos presentan una tendencia similar en sus resultados. Primero, se tiene que el departamento de hormigón presenta los menores porcentajes de desconfort. El hecho de que el caso del departamento sea el que presenta menor tiempo de desconfort no es una coincidencia, ya que el hormigón al ser el material con mayor inercia térmica tiene la mayor capacidad de almacenar el calor para luego irlo liberando paulatinamente. Esto permite que, aunque la temperatura exterior baje, al interior de la vivienda gracias al calor almacenado, se mantenga a una temperatura mayor permitiendo extender el periodo de tiempo dentro del rango de confort.

Con respecto a los casos de la vivienda de madera y ladrillo, lo que se esperaba era que el porcentaje de desconfort fuera mayor para la vivienda de madera que para la de ladrillo, ya que el ladrillo presenta más masa térmica, lo que se traduce en más inercia térmica. Para la ciudad de Santiago si se presenta este comportamiento, aunque la disminución es muy baja, siendo del 2% en TRNSYS y en la CEV se mantiene el mismo porcentaje. Para la ciudad de Concepción, se presenta en ambos métodos un aumento en el desconfort térmico de un 4%. Estos comportamientos no son los que se esperaban, sin embargo, como en ambos métodos se obtienen estos resultados, se considera que se pueden atribuir a que el aumento en la inercia térmica no fue suficiente o también a las diferencias climatológicas entre las ciudades o a que las diferencias en las tipologías. Habiendo acotado a estos motivos, se atribuye esta diferencia a que la vivienda de ladrillo presenta mayor cantidad de ventanas e incluso un ventanal, por lo que, aunque las paredes sean de un material con mayor inercia térmica, los muros presentan un menor porcentaje de dicho material, por lo que la mejora a causa del aumento de la inercia se amortigua.

Por otra parte, se tiene que los porcentajes de desconfort determinados con el método de la CEV presentan una baja dispersión en sus valores, ya que el valor máximo obtenidos es del 51% y el menor es del 41% y, por otra parte, en el caso de las simulaciones en TRNSYS, el menor es del 44% y el mayor del 74%. Se ve claramente que la dispersión en los resultados de la CEV es baja, y esto se explica nuevamente por la poca cantidad de datos que utiliza este método.

En la Tabla 6.2 se tienen los valores de las demandas de calefacción que se obtuvieron con cada método, para cada uno de los casos. Para esta variable se tiene que para los casos de la vivienda de madera y de ladrillo, la demanda determinada con TRNSYS es casi el doble que la determinada con la CEV, al contrario que para el departamento donde los valores son cercanos entre ambos métodos, aunque siendo los de TRNSYS un poco menores.

Tabla 6.2: Tabla comparativa de resultados de demanda de energía de calefacción obtenidos para las simulaciones realizadas con TRNSYS y con la CEV.

Tipología	Ciudad	Aislación	Demanda de calefacción [kWh/m ² año]	
			CEV	TRNSYS
Vivienda aislada de madera	Concepción	Inter elementos	67,1	135,0
	Santiago	Inter elementos	77,3	155,2
Vivienda aislada de ladrillo.	Concepción	Exterior	63,2	116,8
		Interior	64,9	117,3
	Santiago	Exterior	65,2	118,5
		Interior	65,8	119,6
Departamento de hormigón	Concepción	Exterior	58,1	45,9
		Interior	55,8	49,9
	Santiago	Exterior	65,5	47,5
		Interior	63,8	51,7

Se puede ver que al igual que para el porcentaje de discomfort, la demanda obtenida con la CEV tiene una dispersión menor que la obtenida con TRNSYS.

Comentando las demandas de calefacción de manera más específica se tiene que esta variable va directamente ligada a la temperatura interior de la vivienda y, por ende, a la inercia térmica. Los resultados en TRNSYS presentan una clara tendencia en la cual la demanda disminuye al pasar de madera a ladrillo y luego a hormigón, lo cual era lo esperado al aumentar la inercia térmica de los materiales de los muros de la envolvente. Esto también se puede observar en los gráficos de temperaturas interiores y exteriores presentadas en los anexos D, E y F, donde las curvas rojas representan a la temperatura interior y se puede apreciar que, en el caso de la vivienda de madera, las variaciones de las temperaturas interiores son muy marcadas y varían en conjunto con la temperatura exterior, ya que, debido a la baja inercia de la madera, se dificulta la estabilización de la temperatura. Luego, a medida que se cambia el material, la variación va cada vez siendo menos drástica, al aumentar la inercia, hasta llegar al hormigón, donde presenta una variación baja y, además, cuando la temperatura exterior cambia, la temperatura interior se mantiene por más tiempo, esto debido a que como la inercia es alta, la capacidad de almacenar y liberar calor incluso después de que la temperatura exterior baje, es mayor. Este aumento en la inercia y en la estabilización de la temperatura, es la responsable de la disminución de la demanda de calefacción, ya que, si la vivienda puede retener mejor el calor del exterior y por más tiempo, el uso de calefacción va a ser menor.

Se puede ver en los resultados obtenidos con TRNSYS que, para la ciudad de Concepción, el departamento de hormigón presenta una disminución en la demanda de calefacción de alrededor de 90 kWh/m²año en comparación con la vivienda de madera y 70 kWh/m²año con respecto a la de ladrillo. En Santiago, el ahorro es de 100 kWh/m²año entre el departamento y la casa de madera y entre el departamento y la vivienda de ladrillo es de 70 kWh/m²año.

En los resultados de la CEV se ve que para la ciudad de Concepción el departamento disminuye su demanda $10 \text{ kWh/m}^2\text{año}$ con respecto a la vivienda de madera y $6 \text{ kWh/m}^2\text{año}$ con respecto a la de ladrillo. Por otro lado, en Santiago el departamento tiene un consumo $12 \text{ kWh/m}^2\text{año}$ menos que la casa de madera y presenta la misma demanda que la vivienda de ladrillo.

Por otra parte, se tiene, para las 3 tipologías y ambos métodos, que la demanda de calefacción es mayor en la ciudad de Santiago que en la ciudad de Concepción. Esto debido a que el clima en Santiago presenta temperaturas máximas mayores y mínimas menores, por lo que el rango de temperaturas es más amplio, lo que hace que se requiera más calefacción para climatizar el interior de la vivienda.

Con respecto a la ubicación del aislante térmico, se puede ver que para el porcentaje de discomfort térmico, en los 2 métodos, la diferencia entre poner el aislante en el interior y en el exterior es mínima. Para la demanda de calefacción se tiene que al ubicar el aislante en el exterior se obtienen resultados levemente mejores. Esto se puede explicar al analizar la física del fenómeno, ya que la radiación incidente en la superficie debe pasar a través del muro para poder llegar al interior y por definición un aislante térmico tiene la capacidad de oponerse al paso del calor. Por otra parte, la inercia térmica es la capacidad del material de almacenar calor en él y luego liberarlo poco a poco. Si el aislante se encuentra por el interior, significa que la radiación le llega primero al material del muro, por lo que almacenara calor, el cual posteriormente debe pasar a través del aislante, tarea que puede ser difícil considerando sus características. Por el contrario, si el aislante se encuentra en el exterior, lo primero que deberá atravesar la radiación solar es el aislante, por lo que la energía que llegue al muro para ser almacenada será mucho mejor aprovechada, ya que podrá ser liberada al interior de manera más directa. No obstante, también ocurre que, si el aislante se encuentra por el interior, la radiación solar que pasa por las ventanas se absorbe en el aislante y eso ayuda a que se caliente el aire. Es por estas condiciones que la diferencia entre la posición del aislante no es tan grande, ya que las condiciones favorables y desfavorables en cierta medida se compensan. Aun así, en base a los resultados se considera que es menor la utilización de la aislación al exterior.

Finalmente, en la Figura 6.1 se presenta un gráfico de barras con las demandas de calefacción para los 10 casos, obtenidos tanto con TRNSYS como con la CEV.

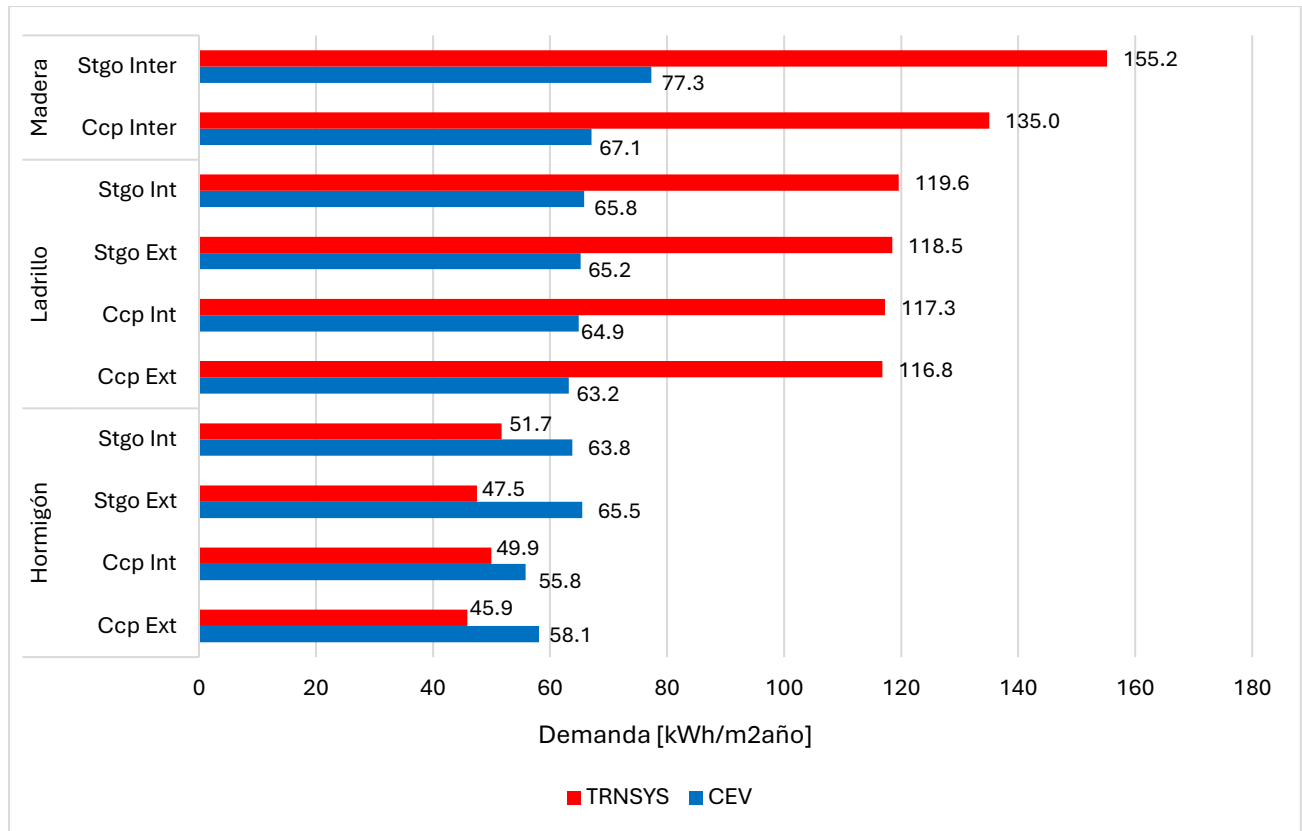


Figura 6.1: Gráfico comparativo de demandas de calefacción para cada caso obtenidas con TRNSYS y con la CEV. Fuente: Elaboración propia.

7 Conclusiones

Se realizó un estudio del efecto de la inercia térmica de los muros de la envolvente de una vivienda y como afecta en la eficiencia de estas. Para esto, se evaluaron 2 tipos de viviendas distintas (vivienda aislada y departamento), con diferentes tipos de materialidad en sus muros (madera, ladrillo y hormigón), en dos ciudades en distintas regiones del país, específicamente la ciudad de Concepción en la región del Bío Bío y la ciudad de Santiago en la región Metropolitana, para de esta manera poder evaluar el comportamiento bajo distintos climas y además analizar la eficiencia energética de estas. Se decidió, además, analizar el efecto de cambiar la posición del aislante térmico, variando entre el interior del muro y el exterior. Así, se realizaron simulaciones con el programa de cálculo de la CEV y con el software TRNSYS.

Luego de realizar las simulaciones, se obtuvieron datos de demanda de calefacción y porcentaje de tiempo fuera del rango de confort para cada caso, lo que permitió ver el efecto de la inercia térmica en la temperatura al interior de las viviendas. Se observó como al aumentar la inercia de los materiales disminuía la demanda energética, llegando a disminuir a casi un tercio de la demanda, al pasar de madera a hormigón en TRNSYS, y también como el efecto de la inercia se mantiene a pesar de haber condiciones climáticas diferentes. Además, al cambiar la posición del aislante se obtuvo que al ubicarlo en el exterior se tienen mejores resultados, aunque por un pequeño margen.

Por otra parte, al comparar los resultados de ambos métodos se pudo observar que la mayoría de los valores eran diferentes, lo cual se debe a las diferencias en los funcionamientos y planteamientos de los programas, siendo una de las diferencias más claras la gran diferencia en la cantidad de datos para realizar las simulaciones, ya que la CEV utiliza un día típico al mes. Sin embargo, en términos de tendencias de los resultados, estos siguen las mismas tendencias, por lo que se puede decir que la CEV si es capaz de predecir el comportamiento y las tendencias de la inercia de los muros de la envolvente de una vivienda. No obstante, existe una falta de precisión en las simulaciones con este método, por lo que se recomienda utilizar las temperaturas anuales de manera horaria para así poder representar el fenómeno de la inercia térmica de una manera más cercana a la realidad.

Por último, habiendo analizado los resultados obtenidos se puede ver que el efecto de la inercia térmica de los elementos de la envolvente es un factor a tener en consideración al momento de diseñar una vivienda y que no debe ser pasado por alto, ya que el hecho de elegir correctamente el material permite tener un porcentaje bajo de tiempo que la vivienda se encuentra fuera del rango de confort, lo que a su vez se traduce en una demanda energética menor, es decir, se requiere menos energía para llevar a la temperatura al interior de la vivienda a dicho rango. A su vez, el utilizar menos energía permite gastar menos dinero en climatización del hogar, lo que ayuda a todas las familias del país, pero sobre todo a las de escasos recursos.

En general, reducir el consumo de energía es beneficioso para todo el mundo, ya que actualmente con el efecto del calentamiento global y la sobre explotación de recursos naturales, el planeta se encuentra al límite y es por esto que es importante estudiar los efectos de fenómenos como la inercia térmica y así buscar formas de ser más eficientes y poder ayudar a la sociedad y al planeta.

Bibliografía

- [1] Gobierno de Chile, «Nuestro país,» [En línea]. Available: <https://www.gob.cl/nuestro-pais/>. [Último acceso: 2024].
- [2] P. Sarricolea, M. Herrera Osandon y Ó. Meseguer Ruiz, «Climatic regionalisation of continental Chile,» *Journal of maps*, vol. 13, n° 2, pp. 66-73, 2017.
- [3] Ministerio de Energía Gobierno de Chile, Informe Balance Nacional de Energía 2020, Primera ed., Santiago, 2022.
- [4] N. Álamos, N. Huneeus, M. Opazo, M. Osses, S. Puja, N. Pantoja, H. D. Van der Gon, A. Schueftan, R. Reyes y R. Calvo, «High-resolution inventory of atmospheric emissions from transport, industrial, energy, mining and residential activities in Chile.,» *Earth System Science Data*, 31 Enero 2022.
- [5] S. B. Sadineni, S. Madala y R. F. Boehm, «Passive building energy savings: A review of building envelope components,» *Renewable and Sustainable Energy Reviews*.
- [6] F. C. Vosper y B. J. Wiersma, «Residential Heat Loss,» *Cold Climate Housing Information Center*, 1998.
- [7] Ministerio de Vivienda y Urbanismo, Manual de Procedimientos Calificación Energética de Viviendas en Chile, M. División Técnica de Estudio y Fomento Habitacional - Ditec, Ed., Santiago, 2019.
- [8] S. Verbeke y A. Audenaert, «Thermal inertia in buildings: A review of impacts across climate and building use,» *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2017.
- [9] Solar Energy Laboratory, University of Wisconsin-Madison, «Getting Started,» Wisconsin, 2004.
- [10] Solar Energy Laboratory, University of Wisconsin-Madison, «Multizone Building Modeling with Type 56 and TRNBuild,» 2004.
- [11] Solar Energy Laboratory, University of Wisconsin-Madison, «Standard Component Library Overview,» 2006.
- [12] Biblioteca del Congreso Nacional de Chile, «Clima y Vegetación Región Metropolitana de Santiago,» [En línea]. Available: <https://www.bcn.cl/siit/nuestropais/region13/clima.htm>.
- [13] Biblioteca del Congreso Nacional de Chile, «Clima y Vegetación Región del Bio Bío,» [En línea]. Available: <https://www.bcn.cl/siit/nuestropais/region8/clima.htm>.

- [14] Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones, «Ministerio de Vivienda y Urbanismo,» 28 Septiembre 2023. [En línea]. Available: <https://www.minvu.gob.cl/wp-content/uploads/2019/05/OGUC-Sept-2023-D.S.-7-D.O.-28-09-2023-2.pdf>. [Último acceso: Abril 2024].
- [15] Instituto Nacional de Estadísticas, «Resultados Censo 2017,» 2017. [En línea]. Available: resultados.censo2017.cl.
- [16] Ministerio de gobierno y Urbanismo, «Modificaciones de ordenanza general de urbanismo y construcciones en el sentido de actualizar sus estándares y normas técnicas referidas al acondicionamiento térmico.,» *Diario Oficial de la República de Chile*, p. 4, 27 Mayo 2024.

Anexo A: Parámetros de arquitectura vivienda aislada de madera para método CEV.

Muros transmitancia						
Nombre	Abreviatura	Tipología/ materialidad	U [W/m ² K]	Espesor muro solido [cm]	Espesor aislante [cm]	Posición Aislación
Adiabático	Muro Adiabático	Pesado				Sin
Muro de madera Concepción	Madera_ccp	Madera	0,60	8	6	Inter Elementos
Muro de madera Santiago	Madera_stgo	Madera	0,80	8	6	Inter Elementos

Figura A.1: Transmitancia térmica muros vivienda aislada de madera.

En la tabla mostrada en la figura A.1 se definen las características de los muros de la envolvente. Uno corresponde a Concepción y otro a Santiago. Se puede observar que los valores de transmitancia térmica son los definidos por la ordenanza. Se muestra la materialidad, además de los espesores y la posición de la aislación.

Area [m ²]	Altura [m]	Volumen [m ³]
50,4	2,40	121,0
		-
		-
50,40		120,96

Figura A.2: Dimensiones vivienda aislada de madera.

En la primera columna de la tabla de la figura A.2 se selecciona uno de los muros definidos previamente en la tabla de la figura A.1. En la tabla se ve solo el caso con las características para la ciudad de Santiago, sin embargo, para el caso de la ciudad de Concepción, solo cambia el valor de las transmitancias. Las áreas utilizadas son las áreas sin considerar las puertas ni ventanas, es decir, las áreas sin vano. Para la orientación de los muros, se estableció que en la Figura 3.2, la pared superior corresponde con el norte y de ahí se desprenden las direcciones de las otras.

Muros	Ángulo Azimut	Orientación	Densidad Muro	Area (m ²)	U [W/m ² K]
Madera_stgo	0° ≤ Az < 22,5°	N	Madera	16,9	0,8
Madera_stgo	67,5° ≤ Az < 90°	E	Madera	13,4	0,8
Madera_stgo	-112,5° ≤ Az < -90°	O	Madera	10,5	0,8
Madera_stgo	157,5° ≤ Az < 180°	S	Madera	17,8	0,8

Figura A.3: Características de los muros vivienda aislada de madera.

Techos	Densidad Techo	Area (m ²)	U [W/m ² K]	Camaras de aire	Tipo de cubierta	Posición Aislación
Madera_stgo	Madera	50,40	0,38	Sin camara	Cubierta norm	nter Elementos

Figura A.4: Características techos vivienda aislada de madera.

Para el techo presentado en la figura A.4 se selecciona que no presenta cámara de aire y se supone que el área del techo es la misma que el área interior de la vivienda (sin la presencia de tragaluces o ventanas en el techo). Igual que el caso de los muros, se presenta solo el caso del techo para Santiago, pero para Concepción es lo mismo, solo cambia el valor del U .

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									Marco	
VM	$0^\circ \leq Az < 22,5^\circ$	N	Madera_stgo	Corredera	Centrada	Sin	1,50	1,50	Metalico	Sin RPT
VM	$0^\circ \leq Az < 22,5^\circ$	N	Madera_stgo	Corredera	Centrada	Sin	1,00	1,00	Metalico	Sin RPT
VM	$0^\circ \leq Az < 22,5^\circ$	N	Madera_stgo	Corredera	Centrada	Sin	1,20	1,20	Metalico	Sin RPT
VM	$-112,5^\circ \leq Az < -90^\circ$	O	Madera_stgo	Corredera	Centrada	Sin	1,20	1,20	Metalico	Sin RPT
VM	$-112,5^\circ \leq Az < -90^\circ$	O	Madera_stgo	Corredera	Centrada	Sin	1,20	1,20	Metalico	Sin RPT
VM	$157,5^\circ \leq Az < 180^\circ$	S	Madera_stgo	Corredera	Centrada	Sin	1,00	1,00	Metalico	Sin RPT
VM	$157,5^\circ \leq Az < 180^\circ$	S	Madera_stgo	Corredera	Centrada	Sin	0,80	1,20	Metalico	Sin RPT
VM	$157,5^\circ \leq Az < 180^\circ$	S	Madera_stgo	Corredera	Centrada	Sin	0,40	0,60	Metalico	Sin RPT

Figura A.5: Características ventanas vivienda aislada de madera.

En la tabla de la figura A.5; **Error! No se encuentra el origen de la referencia.** se presentan todas las ventanas de la vivienda y en que muro se encuentran ubicadas. Se puede ver que se seleccionó el tipo de cierre de ventana como corredera, ya que es el tipo más común presente en las viviendas. El marco metálico se definió por la misma razón. El tipo de marco “Sin RPT” significa sin retorno de puente térmico, que se estableció de esta manera ya que no se considera el efecto de los puentes térmicos en estas simulaciones. Las dimensiones son específicas para cada ventana.

Pisos	Densidad Piso	Area (m ²)	U [W/m ² K]	Perímetro contacto terreno [m]	Piso ventilado	Posición Aislación
Madera_ccp_stgo	Madera	50,40		29,20	No Ventilado	Sin

Figura A.6: Características piso vivienda aislada de madera.

En la figura A.6 se muestran las características del piso, el cual es el mismo para las dos ciudades. El perímetro es la suma de los largos de las paredes de la vivienda. Se considera que no tiene aislación.

Tipo Puerta	Azimet	Orientación	Alto [m]	Ancho [m]	Categoría para Infiltración
				(incluye marco)	
Madera_ccp_stg	157,5° ≤ Az < 180°	S	2,0	0,8	Madera Sol

Figura A.7: Características puerta vivienda aislada de madera.

Por último, para la puerta se presenta la tabla de la figura A.7. Estas características también son comunes para las 2 ciudades. La orientación corresponde a la de la pared en la que se encuentra.

Anexo B: Parámetros de arquitectura vivienda aislada de ladrillo para método CEV.

Muros transmitancia						
Nombre	Abreviatura	Tipología/materialidad	U [W/m2K]	Espesor muro solido [cm]	Espesor aislante [cm]	Posición Aislación
Adiabatico	Muro Adiabatico	Pesado				Sin
Muro de ladrillo aislación externa Concepción	Ladrillo_ext_ccp	Intermedio	0,60	18	5	Exterior
Muro de ladrillo aislación interna Concepción	Ladrillo_int_ccp	Intermedio	0,60	18	5	Interior
Muro de ladrillo aislación externa Santiago	Ladrillo_ext_stgo	Intermedio	0,80	18	5	Exterior
Muro de ladrillo aislación interna Santiago	Ladrillo_int_stgo	Intermedio	0,80	18	5	Interior

Figura B.1: Transmitancias térmicas muros vivienda aislada de ladrillo.

Para la vivienda aislada de ladrillo se definen los muros para los casos de aislación externa e interna, tanto para Concepción como para Santiago. La materialidad se define como intermedia, al ser un material de mayor densidad que la madera. El resto, con excepción de los espesores que son solo de esta vivienda, es igual que en el caso anterior.

Area [m ²]	Altura [m]	Volumen [m ³]
80,0	2,40	192,0

Figura B.2: Dimensiones vivienda aislada de ladrillo.

Muros	Ángulo Azimut	Orientación	Densidad Muro	Area (m ²)	U [W/m ² K]
Ladrillo_int_ccp	0° ≤ Az < 22,5°	N	Intermedio	20,2	0,6
Ladrillo_int_ccp	67,5° ≤ Az < 90°	E	Intermedio	15,0	0,6
Ladrillo_int_ccp	-112,5° ≤ Az < -90°	O	Intermedio	21,4	0,6
Ladrillo_int_ccp	157,5° ≤ Az < 180°	S	Intermedio	17,7	0,6

Figura B.3: Características de los muros vivienda aislada de ladrillo.

En la figura B.3 se ven los muros definidos y sus características. En este caso se presenta el caso con aislación interior en la Ciudad de Concepción. Los otros 3 casos son idénticos, a excepción del U que varía.

Techos	Densidad Techo	Area (m ²)	U [W/m ² K]	Camaras de aire	Tipo de cubierta	Posición Aislación
Techo_stgo	Intermedio	80,00	0,38	Sin camara	Cubierta norm	Exterior

Figura B.4: Características techo vivienda aislada de madera.

El techo mantiene casi todo igual que en el caso anterior, lo únicos cambios son que la densidad del techo cambia al cambiar el material y se modifica la posición de la aislación. Para este caso como para el del departamento, se considera que la aislación se encuentra al exterior de la superficie del techo.

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 Infil	Tipo
Ventana									Marco	
VM	$0^\circ \leq Az < 22,5^\circ$	N	Ladrillo_int_cc	Corredera	Centrada	Sin	1,50	1,50	Metalico	Sin RPT
VM	$0^\circ \leq Az < 22,5^\circ$	N	Ladrillo_int_cc	Corredera	Centrada	Sin	1,50	1,50	Metalico	Sin RPT
VM	$-90^\circ \leq Az < -67,5^\circ$	O	Ladrillo_int_cc	Corredera	Centrada	Sin	0,40	0,60	Metalico	Sin RPT
VM	$157,5^\circ \leq Az < 180^\circ$	S	Ladrillo_int_cc	Corredera	Centrada	Sin	1,50	1,50	Metalico	Sin RPT
VM	$157,5^\circ \leq Az < 180^\circ$	S	Ladrillo_int_cc	Corredera	Centrada	Sin	1,50	1,50	Metalico	Sin RPT
VM	$157,5^\circ \leq Az < 180^\circ$	S	Ladrillo_int_cc	Corredera	Centrada	Sin	0,80	1,20	Metalico	Sin RPT
VM	$67,5^\circ \leq Az < 90^\circ$	E	Ladrillo_int_cc	Corredera	Centrada	Sin	2,00	1,60	Metalico	Sin RPT

Figura B.5: Características ventanas vivienda aislada de ladrillo.

Las características de las ventanas son las mismas que en el caso anterior, solo cambian sus dimensiones de acuerdo con la tipología específica de la vivienda.

Pisos	Densidad Piso	Area (m ²)	U [W/m ² K]	Perímetro contacto terreno [m]	Piso ventilado	Posición Aislación
Piso_ccp_stgo	Intermedio	80,00		38,30	No Ventilado	Sin

Figura B.6: Características piso vivienda aislada de ladrillo.

Tipo Puerta	Azimut	Orientación	Categoría para Infiltración	Alto [m]	Ancho [m]
(incluye marco)					
Madera_ccp_stg	$157,5^\circ \leq Az < 180^\circ$	S	Madera Sol	2,0	0,8

Figura B.7: Características puerta vivienda aislada de ladrillo.

Anexo C: Parámetros de arquitectura departamento de hormigón para método CEV.

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
Hormigón aislación externa Concepcion	Hormigón_ext_cc p	Pesado	0,60	20	5	Exterior
Hormigón aislación interna Concepcion	Hormigón_int_cc p	Pesado	0,60	20	5	Interior
Hormigón aislación externa Santiago	Hormigón_ext_stg o	Pesado	0,80	20	5	Exterior
Hormigón aislación interna Santiago	Hormigón_int_stg o	Pesado	0,80	20	5	Interior

Figura C.1: Transmitancias térmicas muros departamento de hormigón.

Para el departamento, las tablas se completan de la misma manera que en los 2 anteriores, solo se cambian la materialidad, que en este caso corresponde a un material pesado. En esta ocasión también se presentan las tablas para un solo caso, sin embargo, para los otros 3 solo cambian los valores de la transmitancia según corresponda.

Area [m ²]	Altura [m]	Volumen [m ³]
50,0	2,30	115,1

Figura C.2: Dimensiones departamento de hormigón.

Muros	Ángulo Azimut	Orientación	Densidad Muro	Area (m ²)	U [W/m ² K]
Hormigón_int_stg	0° ≤ Az < 22,5°	N	Pesado	13,0	0,8
Hormigón_int_stg	157,5° ≤ Az < 180°	S	Pesado	19,1	0,8
Hormigón_int_stg	67,5° ≤ Az < 90°	E	Pesado	12,9	0,8
Hormigón_int_stg	-112,5° ≤ Az < -90°	O	Pesado	12,9	0,8

Figura C.3: Características muros departamento de hormigón.

Techos	Densidad Techo	Area (m ²)	U [W/m ² K]	Camaras de aire	Tipo de cubierta	Posición Aislación
Techo_stgo	Pesado	50,04	0,38	Sin camara	Cubierta norm	Exterior

Figura C.4: Características techo departamento de hormigón.

Tipo Ventana	Azimet	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 Infil	Tipo
Ventana									Marco	
VM	$0^\circ \leq Az < 22,5^\circ$	N	Hormigón_int_	Corredera	Centrada	Sin	1,50	1,50	Metalico	Sin RPT
VM	$0^\circ \leq Az < 22,5^\circ$	N	Hormigón_int_	Corredera	Centrada	Sin	1,50	1,50	Metalico	Sin RPT
VM	$0^\circ \leq Az < 22,5^\circ$	N	Hormigón_int_	Corredera	Centrada	Sin	2,00	1,60	Metalico	Sin RPT

Figura C.5: Características ventanas departamento de hormigón.

En la figura C.5, la tercera ventana es un ventanal, sin embargo, el comportamiento es el mismo.

Pisos	Densidad Piso	Area (m ²)	U [W/m ² K]	Perímetro contacto terreno [m]	Piso ventilado	Posición Aislación
Piso_ccp_stgo	Pesado	50,04		29,20	No Ventilado	Sin

Figura C.6: Características de piso departamento de hormigón.

Tipo Puerta	Azimet	Orientación	Categoría para Infiltración	Alto [m]	Ancho [m]
(incluye marco)					
Puerta_ccp_stgd	$157,5^\circ \leq Az < 180^\circ$	S	Madera Sol	2,0	0,8

Figura C.7: Características puerta departamento de hormigón.

Anexo D: Gráficos de resultados de simulaciones en TRNSYS para vivienda aislada de madera.

Concepción

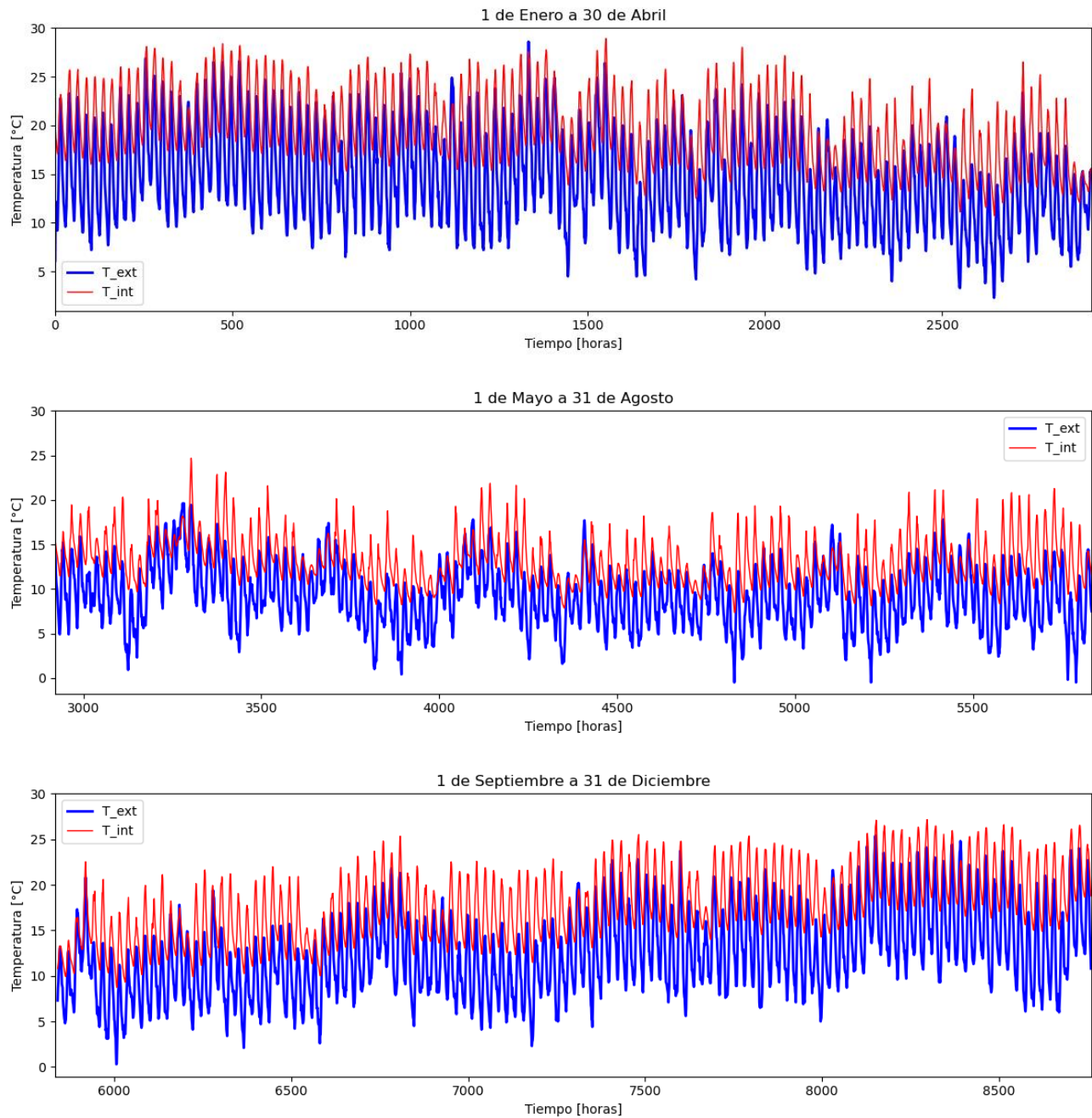


Figura D.1: Gráfico de temperatura interior y exterior de vivienda aislada de madera sin calefacción en la ciudad de Concepción. Fuente: Elaboración propia.

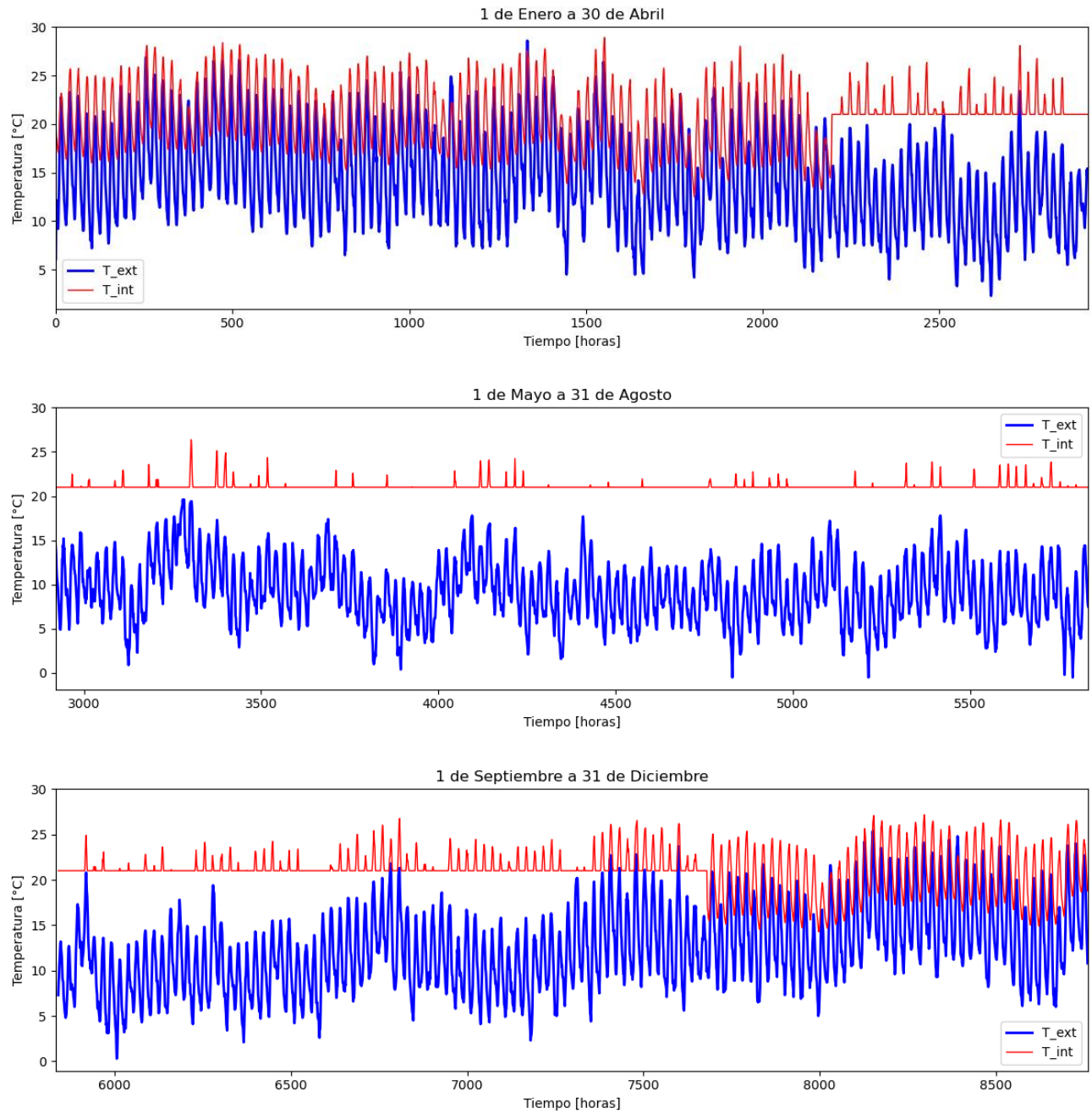


Figura D.2: Gráfico de temperatura interior y exterior de vivienda aislada de madera con calefacción en la ciudad de Concepción. Fuente: Elaboración propia.

Santiago

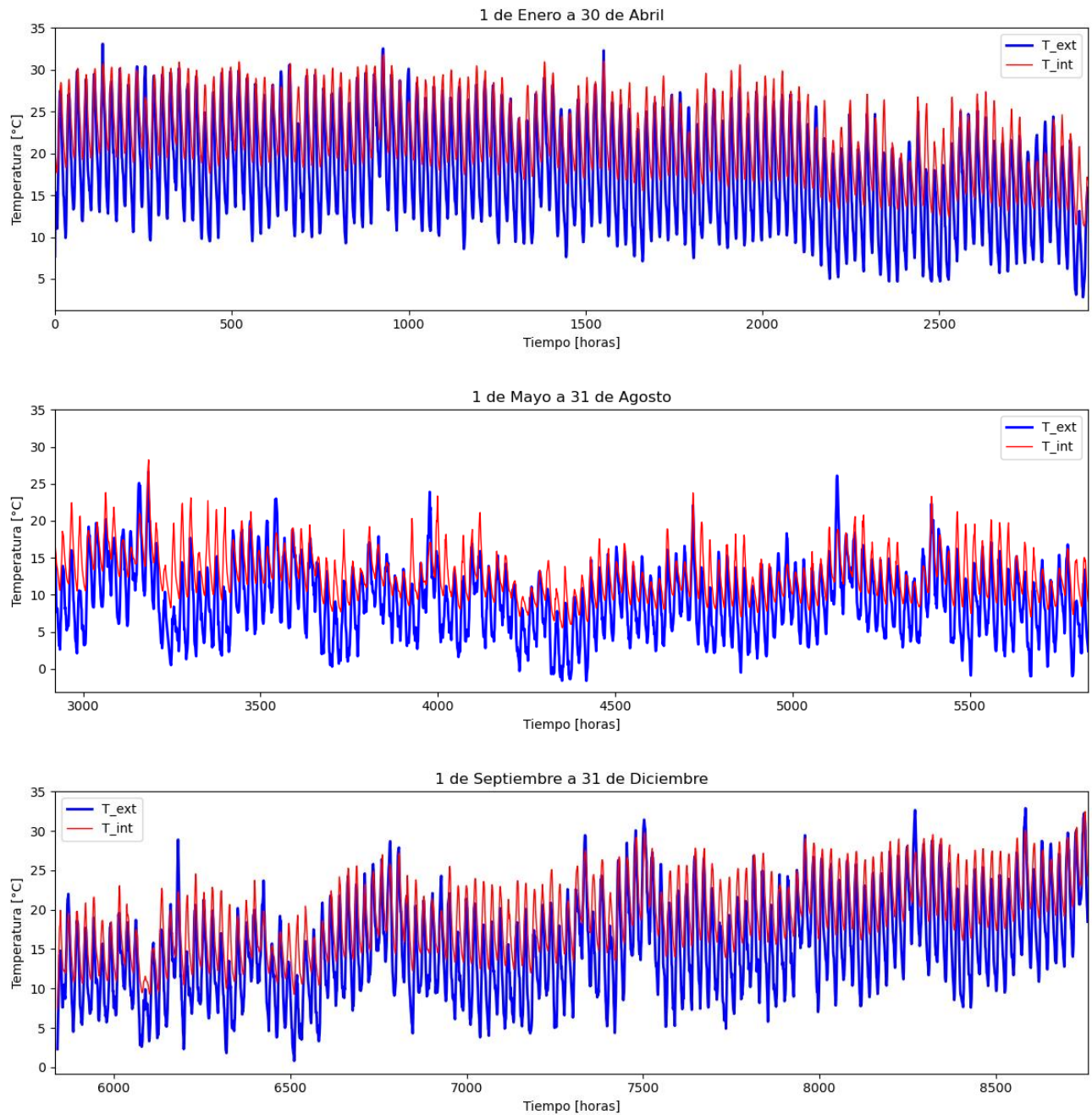


Figura D.3: Gráfico de temperatura interior y exterior de vivienda aislada de madera sin calefacción en la ciudad de Santiago. Fuente: Elaboración propia.

Anexo E: Gráficos de resultados de simulaciones en TRNSYS para vivienda aislada de ladrillo.

Concepción aislación interior

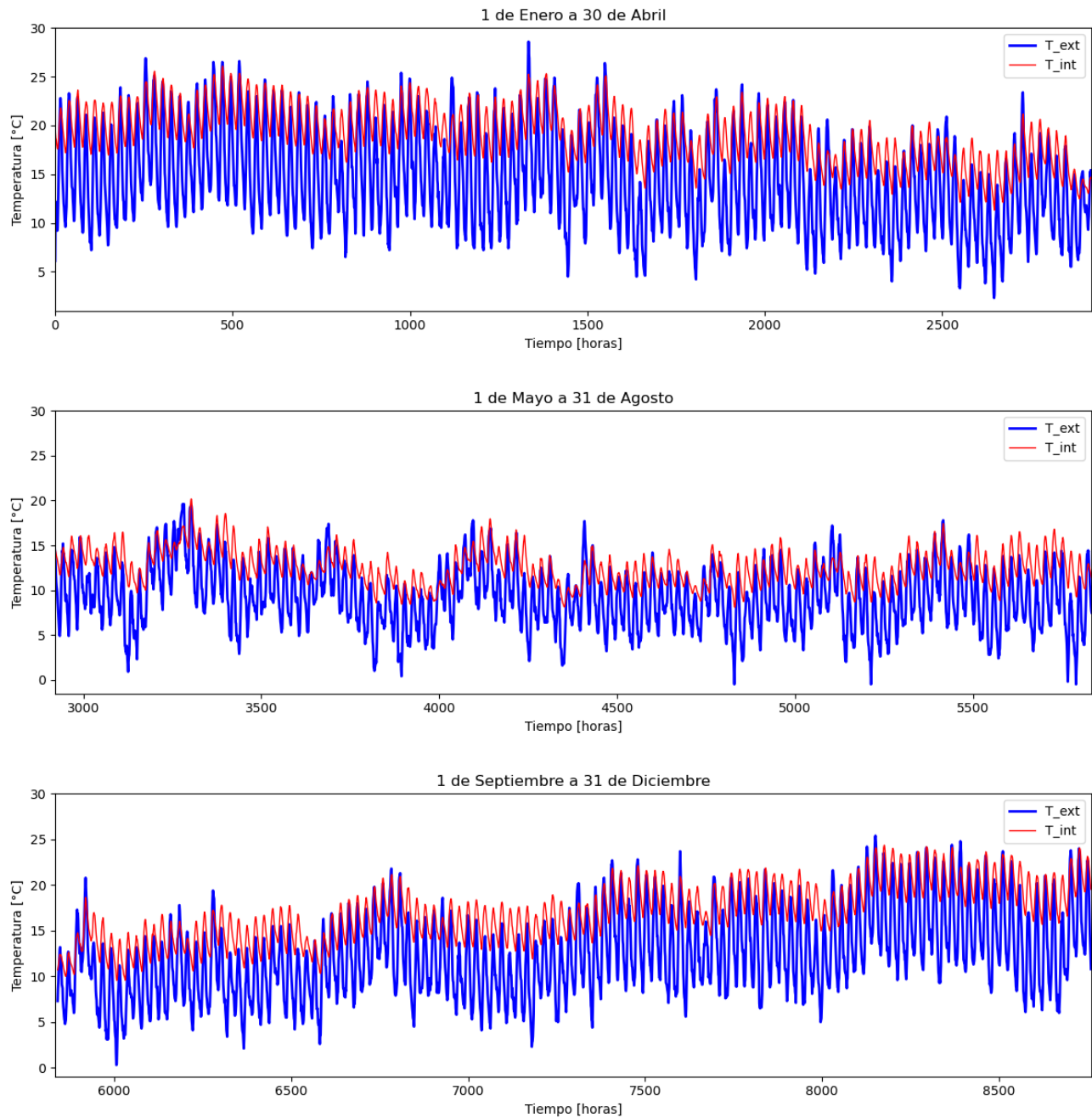


Figura E.1: Gráfico de temperatura interior y exterior de vivienda aislada de ladrillo sin calefacción en la ciudad de Concepción con aislación interior. Fuente: Elaboración propia.

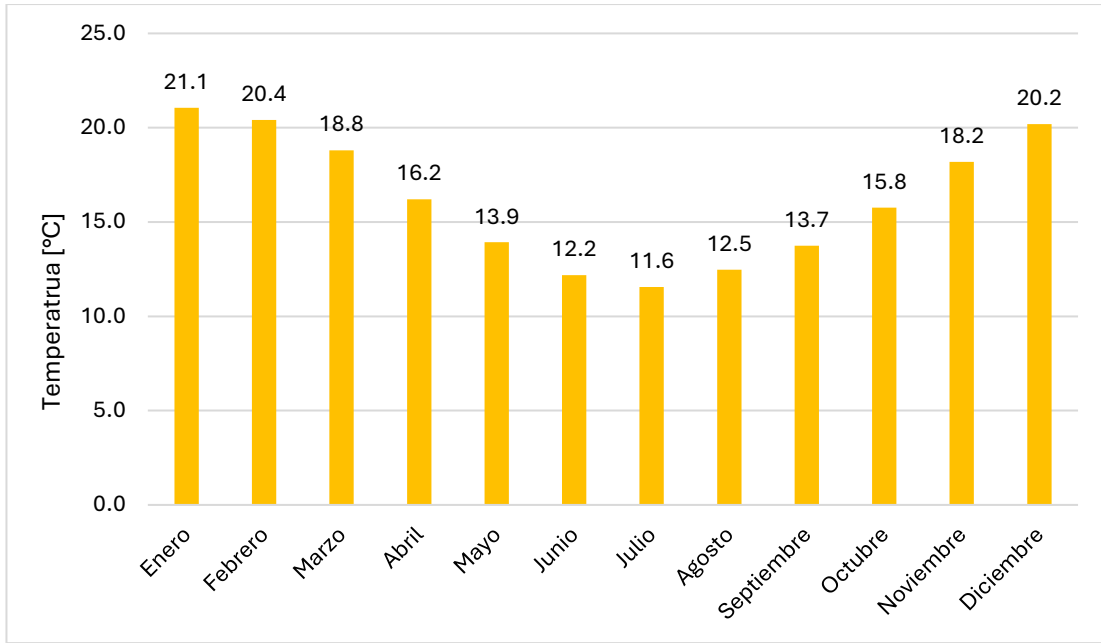
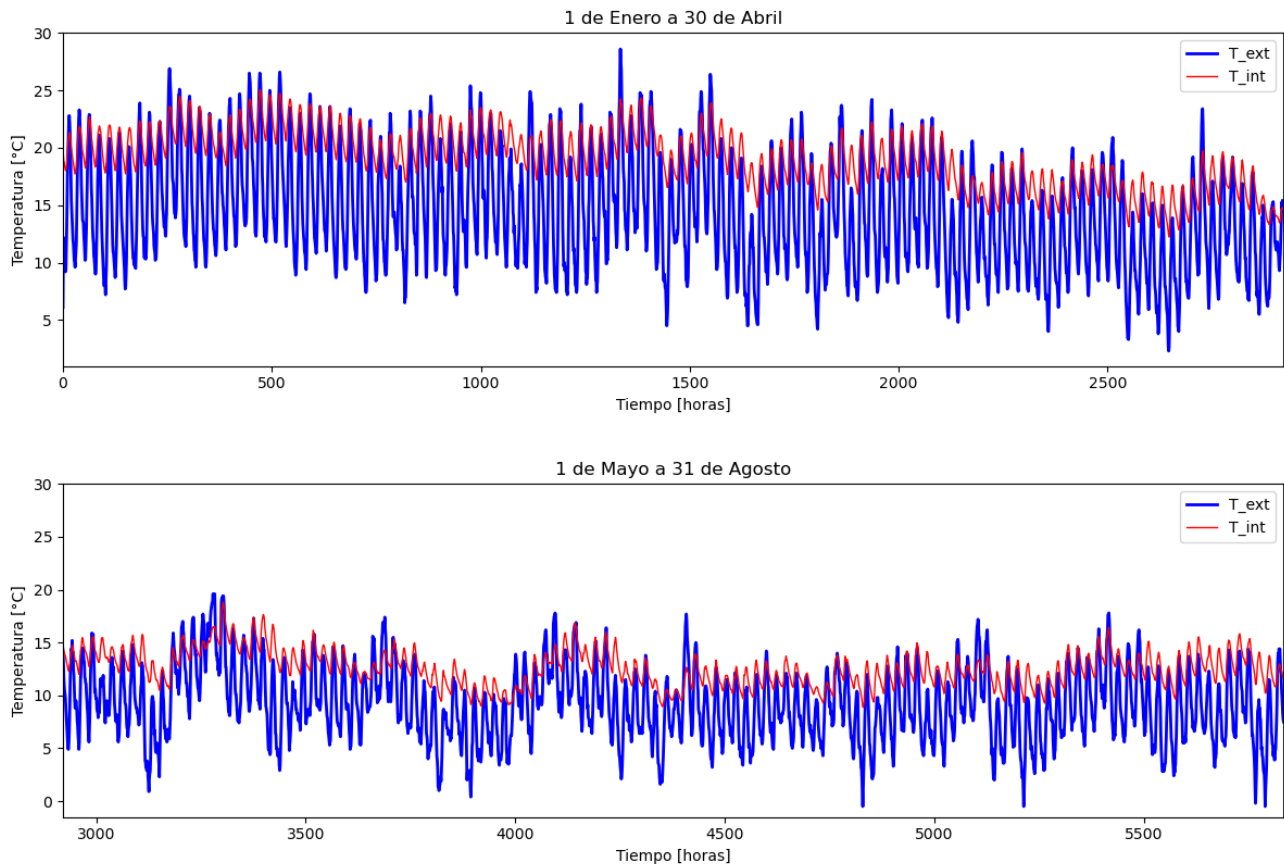


Figura E.2: Gráfico de temperaturas promedio mensuales de vivienda de ladrillo sin calefacción en Concepción con aislación interior. Fuente: Elaboración propia.

Concepción aislación exterior



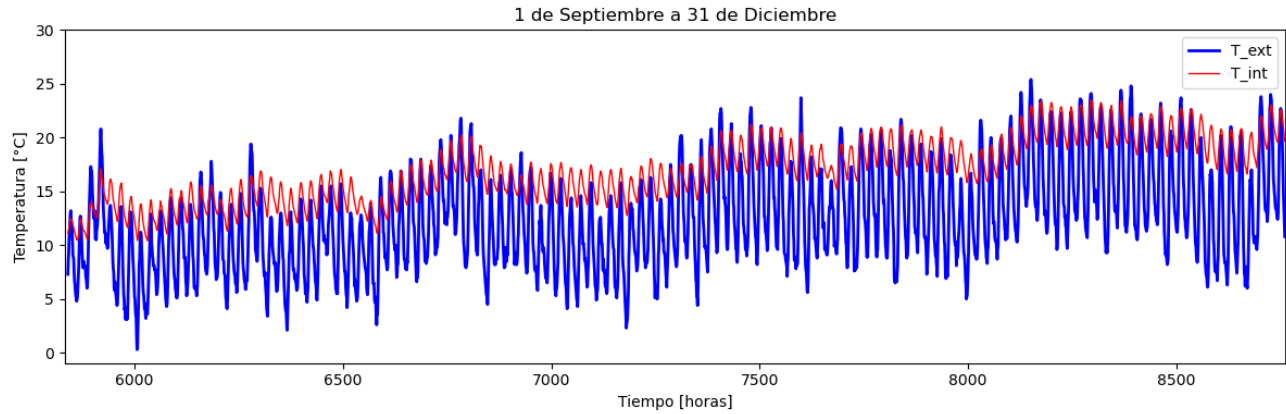


Figura E.3: Gráfico de temperatura interior y exterior de vivienda aislada de ladrillo sin calefacción en la ciudad de Concepción con aislación exterior. Fuente: Elaboración propia.

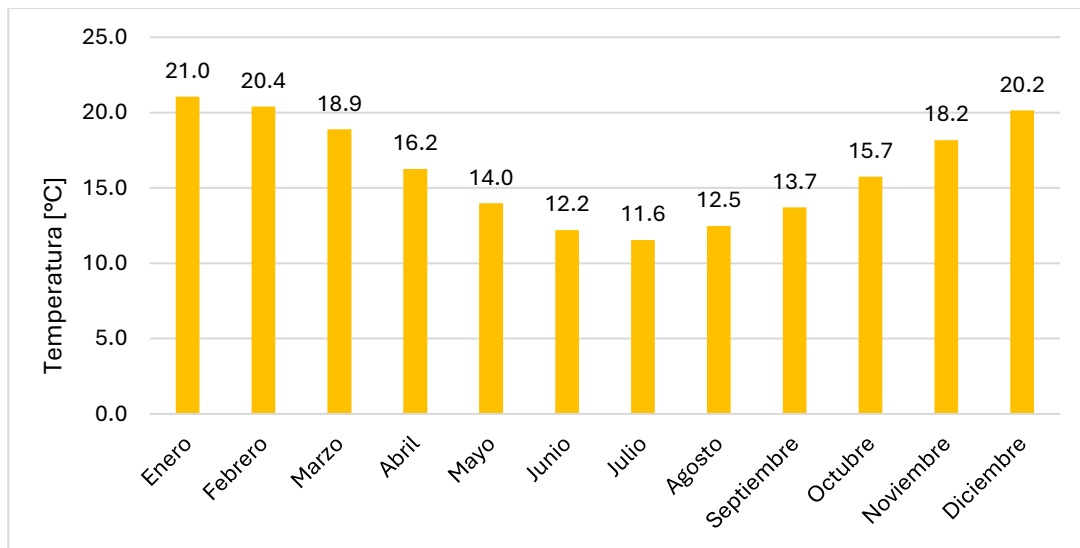
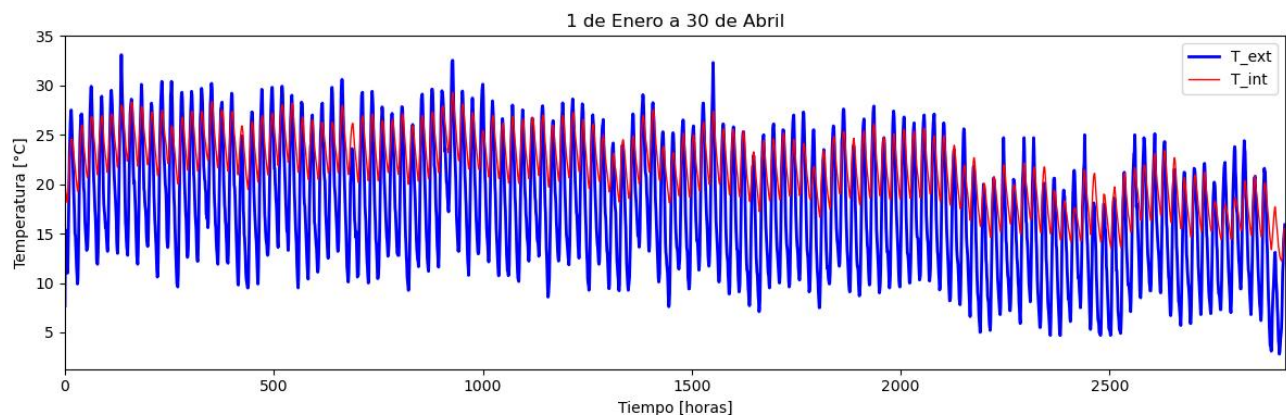


Figura E.4: Gráfico de temperaturas promedio mensuales de vivienda de ladrillo sin calefacción en Concepción con aislación exterior. Fuente: Elaboración propia.

Santiago aislación interior



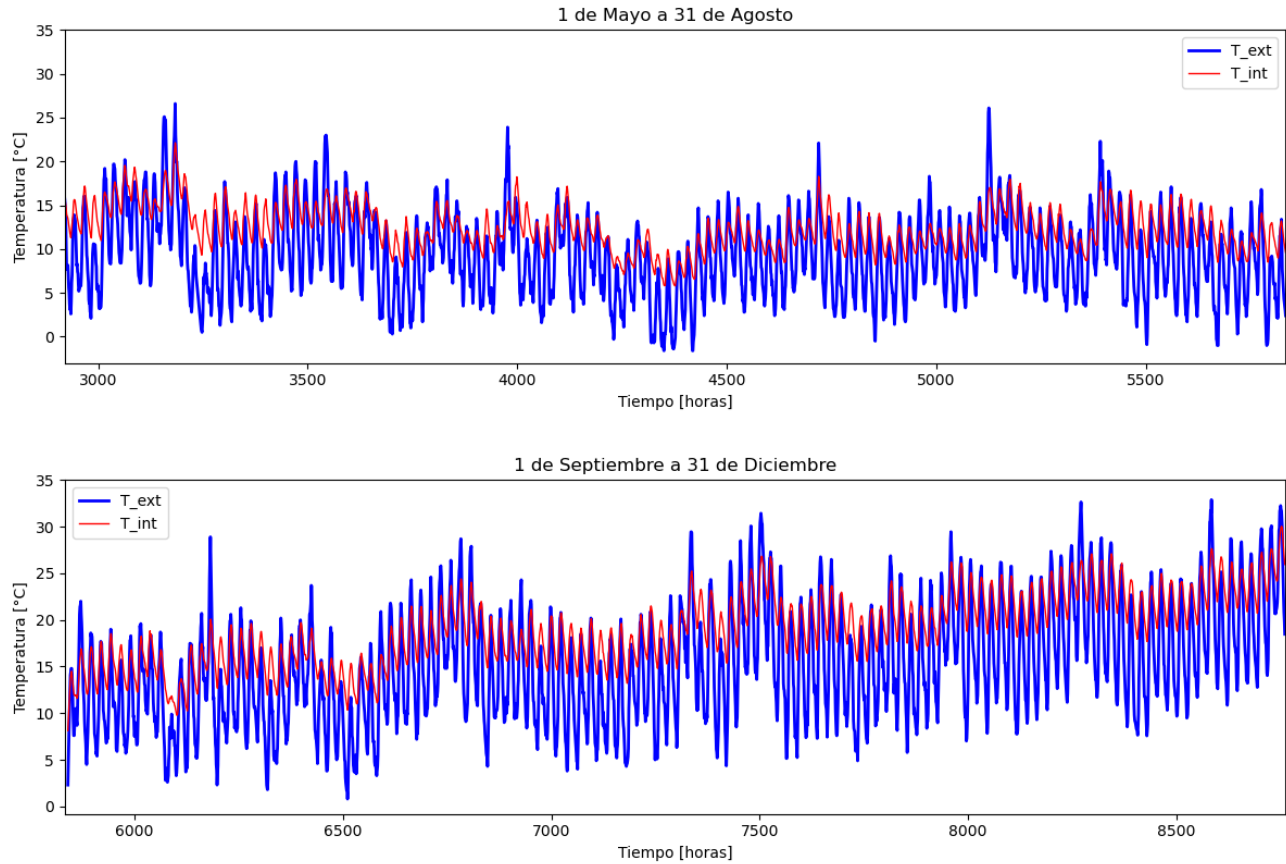


Figura E.5: Gráfico de temperatura interior y exterior de vivienda aislada de ladrillo sin calefacción para ciudad de Santiago con aislación interior. Fuente: Elaboración propia.

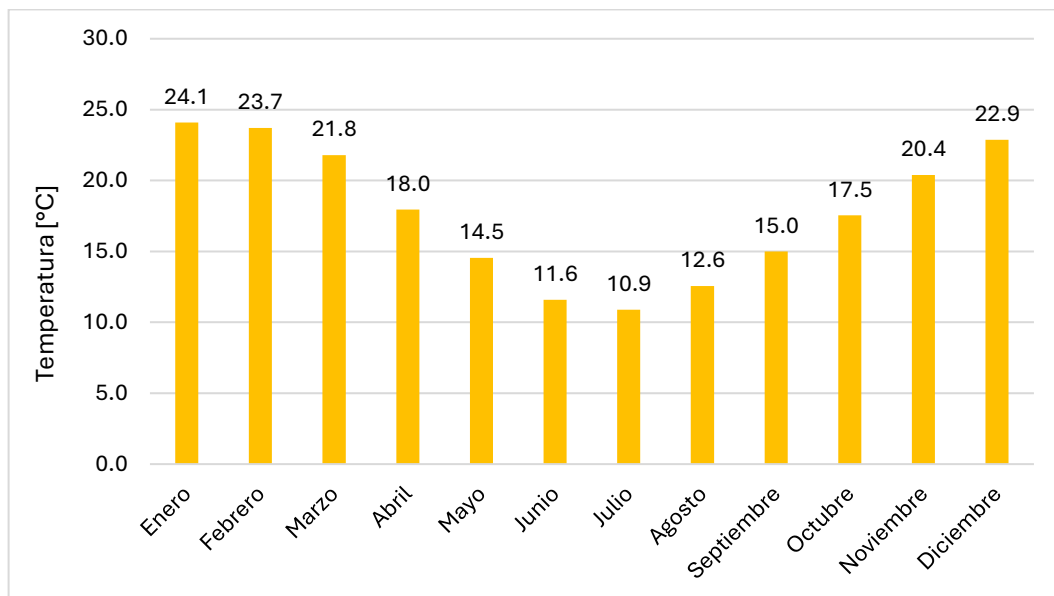


Figura E.6: Gráfico de temperaturas promedio mensuales de vivienda de ladrillo sin calefacción en Santiago con aislación interior. Fuente: Elaboración propia.

Santiago aislamiento exterior

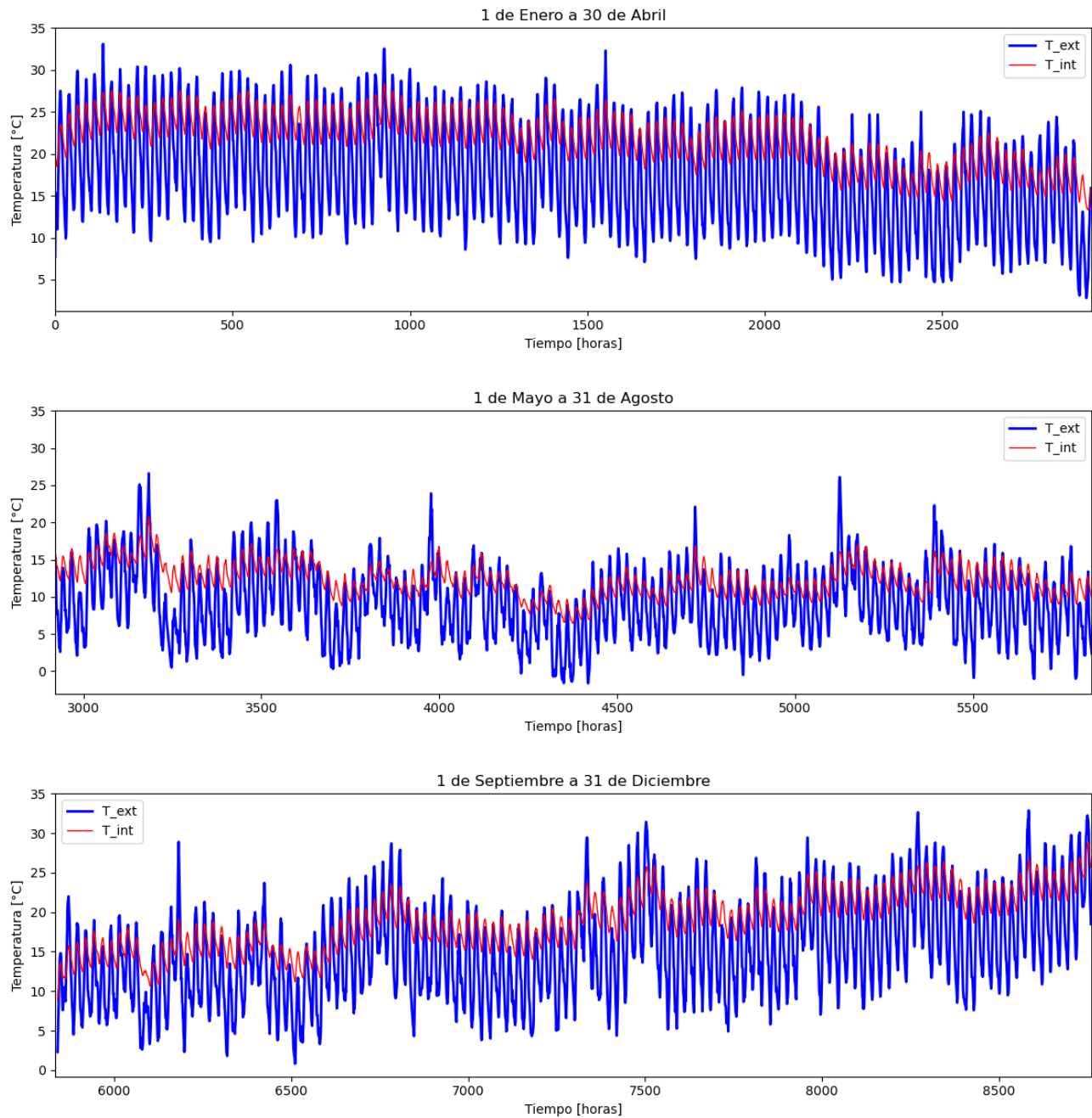


Figura E.7: Gráfico de temperatura interior y exterior de vivienda aislada de ladrillo sin calefacción para ciudad de Santiago con aislamiento exterior. Fuente: Elaboración propia.

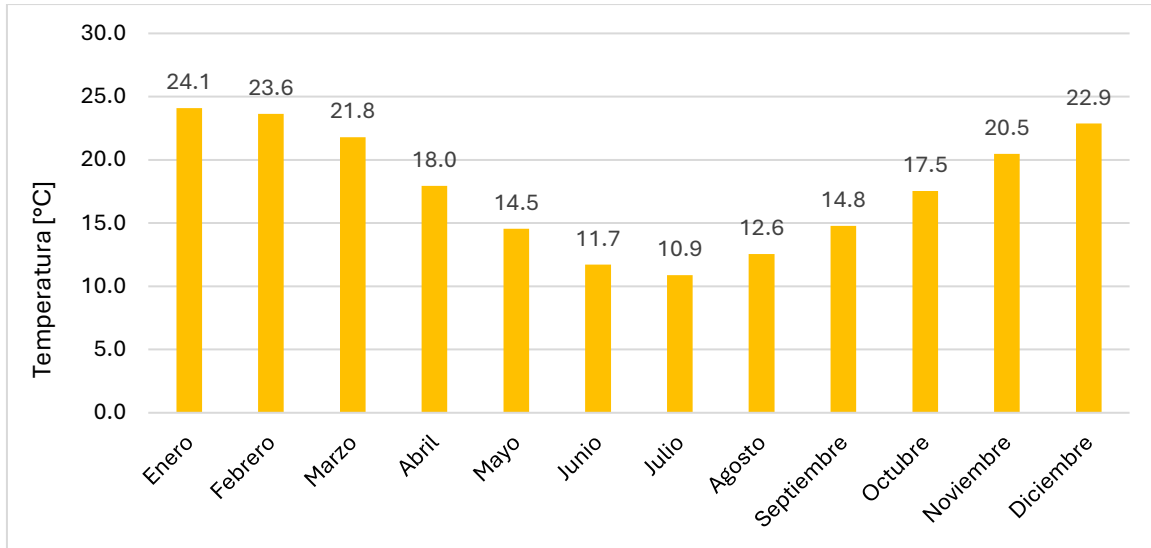


Figura E.8: Gráfico de temperaturas promedio mensuales de vivienda de ladrillo sin calefacción en Santiago con aislamiento exterior. Fuente: Elaboración propia.

Anexo F: Gráficos de resultados de simulaciones en TRNSYS para departamento de hormigón.

Concepción aislación interior

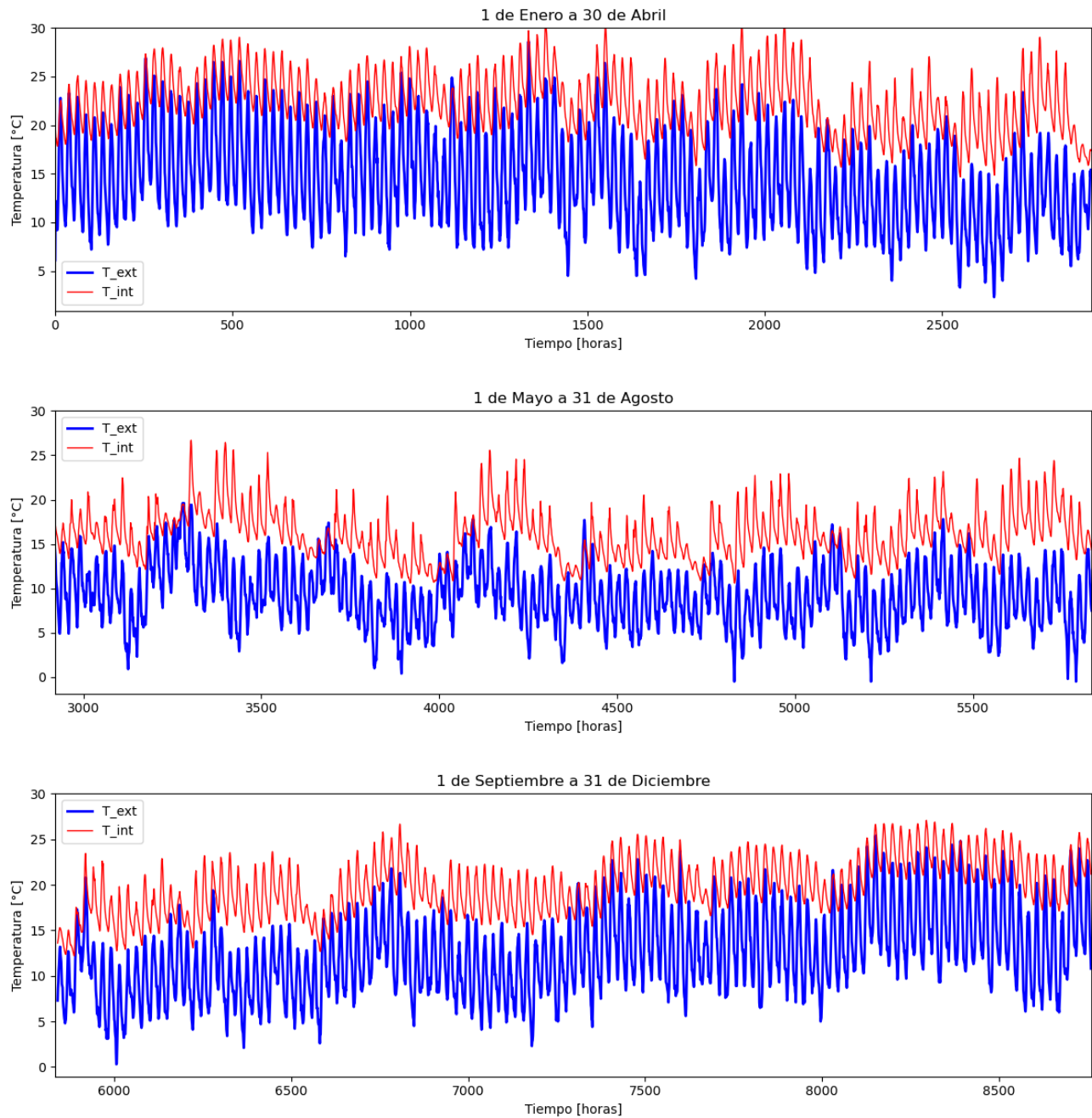


Figura F.1: Gráfico de temperatura interior y exterior de departamento de hormigón sin calefacción en la ciudad de Concepción con aislación interior. Fuente: Elaboración propia.

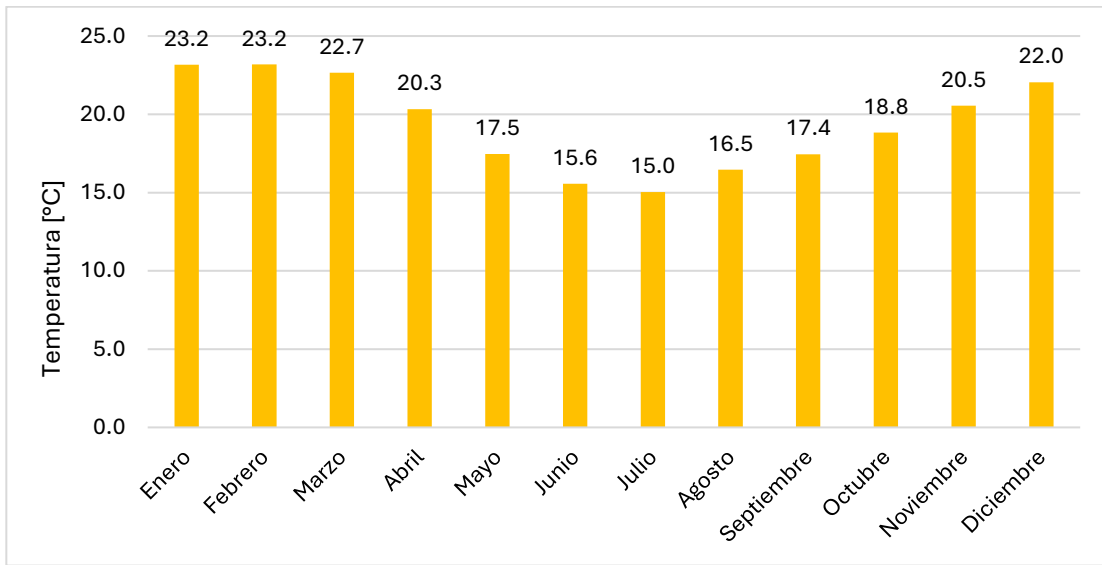
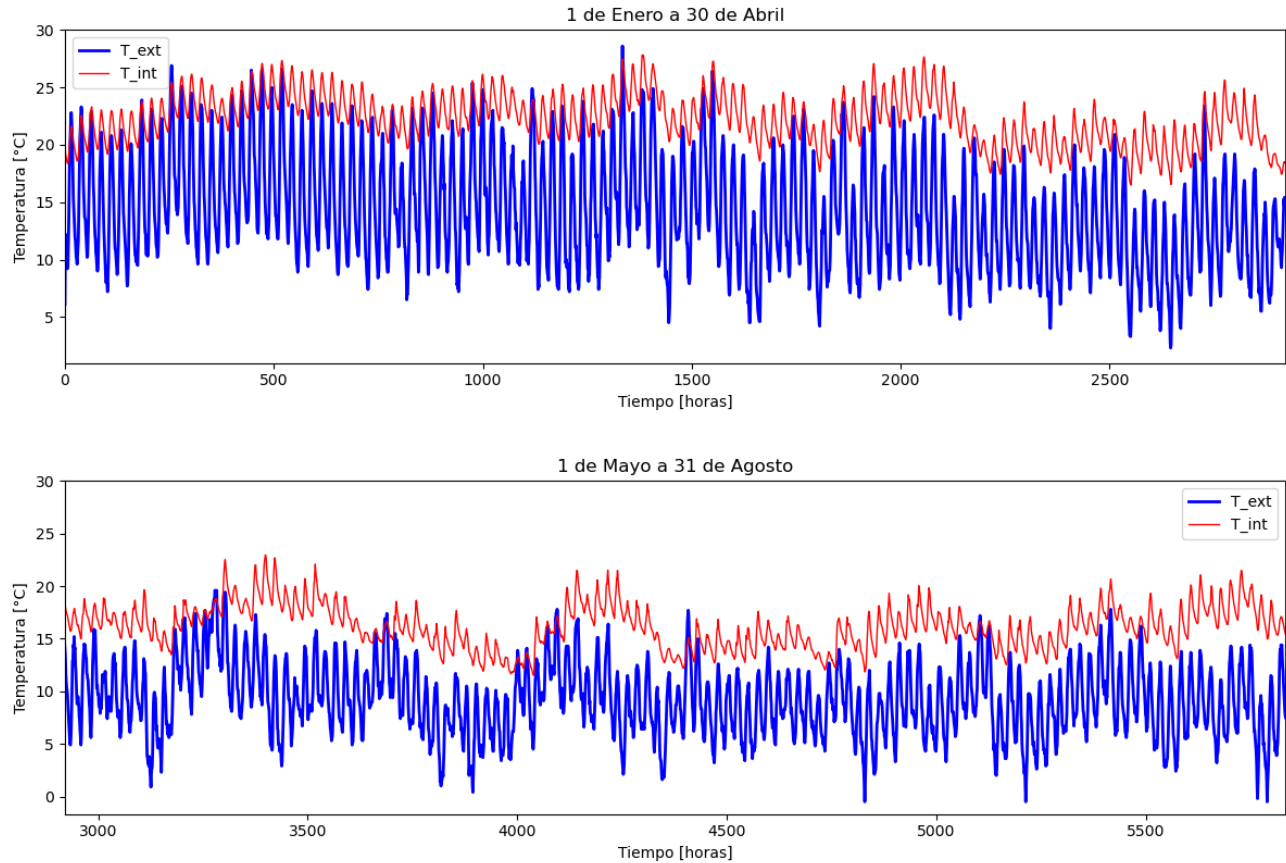


Figura F.2: Gráfico de temperaturas departamento de hormigón sin calefacción en la ciudad de Concepción con aislamiento interior. Fuente: Elaboración propia.

Concepción aislamiento exterior



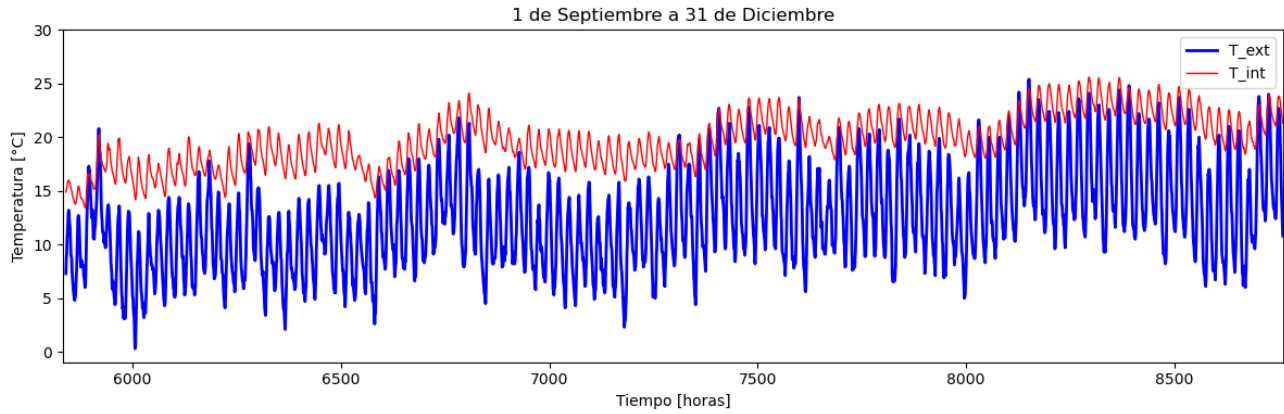


Figura F.3: Gráfico de temperatura interior y exterior de departamento de hormigón sin calefacción en la ciudad de Concepción con aislación exterior. Fuente: Elaboración propia.

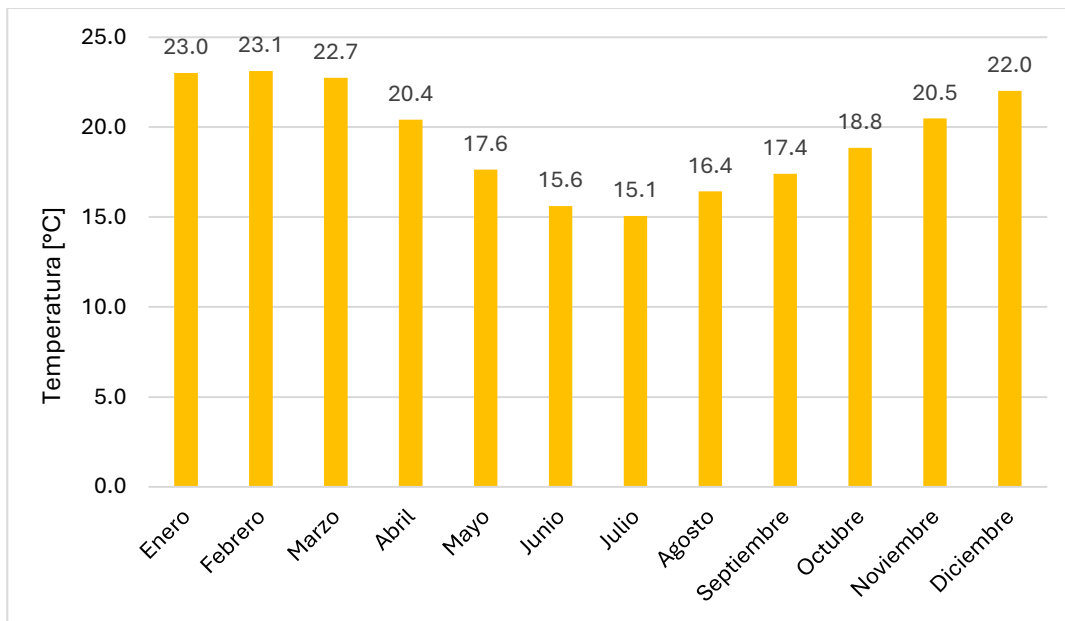
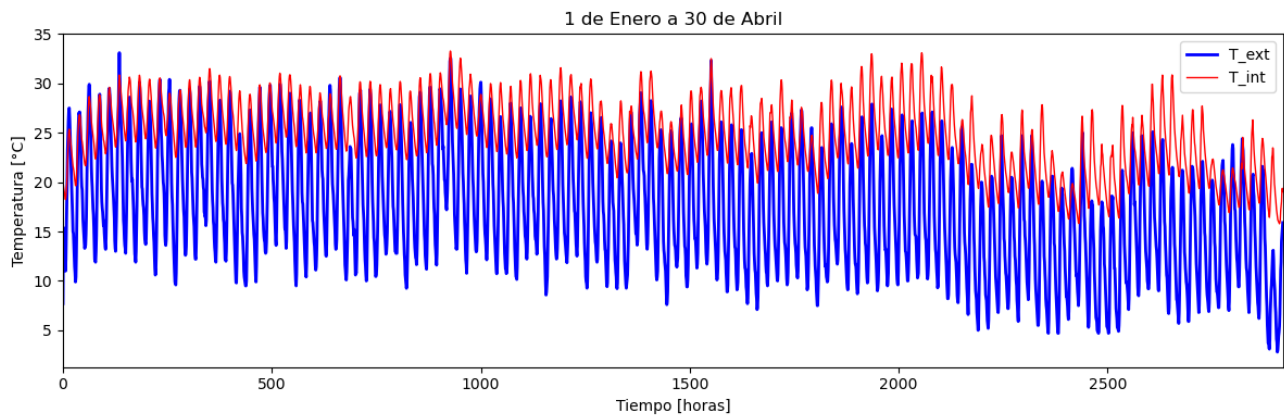


Figura F.4: Gráfico de temperaturas promedio mensuales de departamento de hormigón sin calefacción en Concepción con aislación exterior. Fuente: Elaboración propia.

Santiago aislación interior



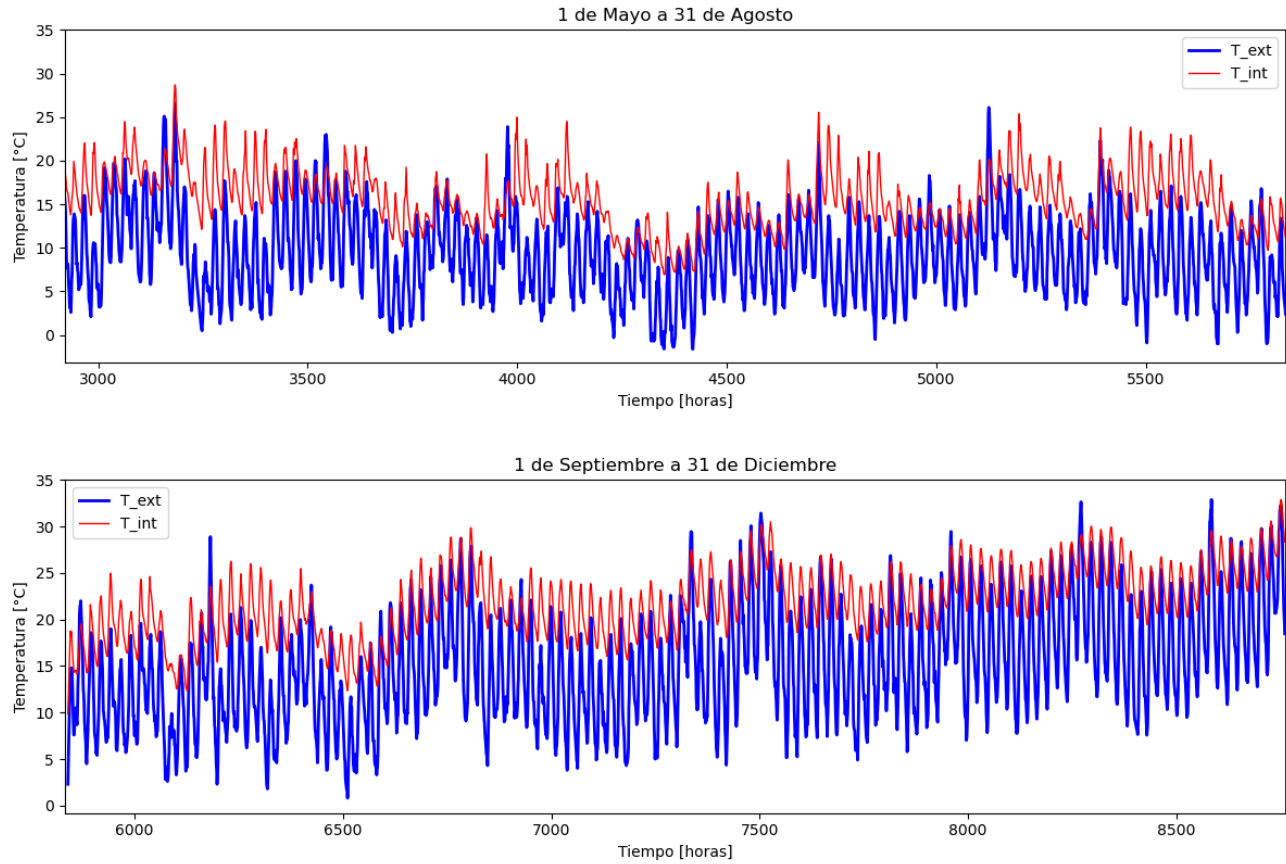


Figura F.5: Gráfico de temperatura interior y exterior de departamento de hormigón sin calefacción en la ciudad de Santiago con aislación interior. Fuente: Elaboración propia.

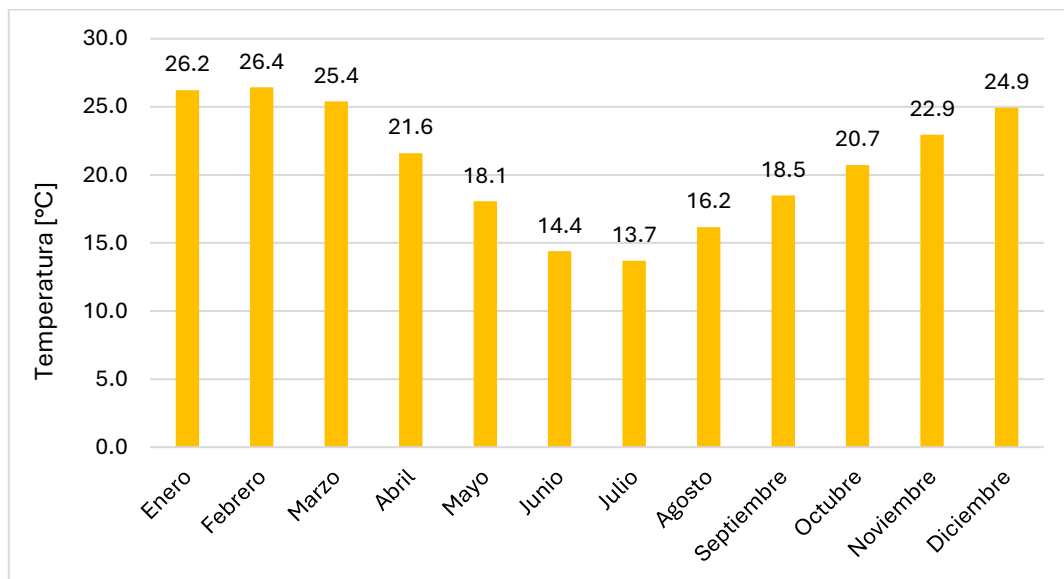


Figura F.6: Gráfico de temperaturas promedio mensuales de departamento de hormigón sin calefacción en Santiago con aislación interior. Fuente: Elaboración propia.

Santiago aislamiento exterior

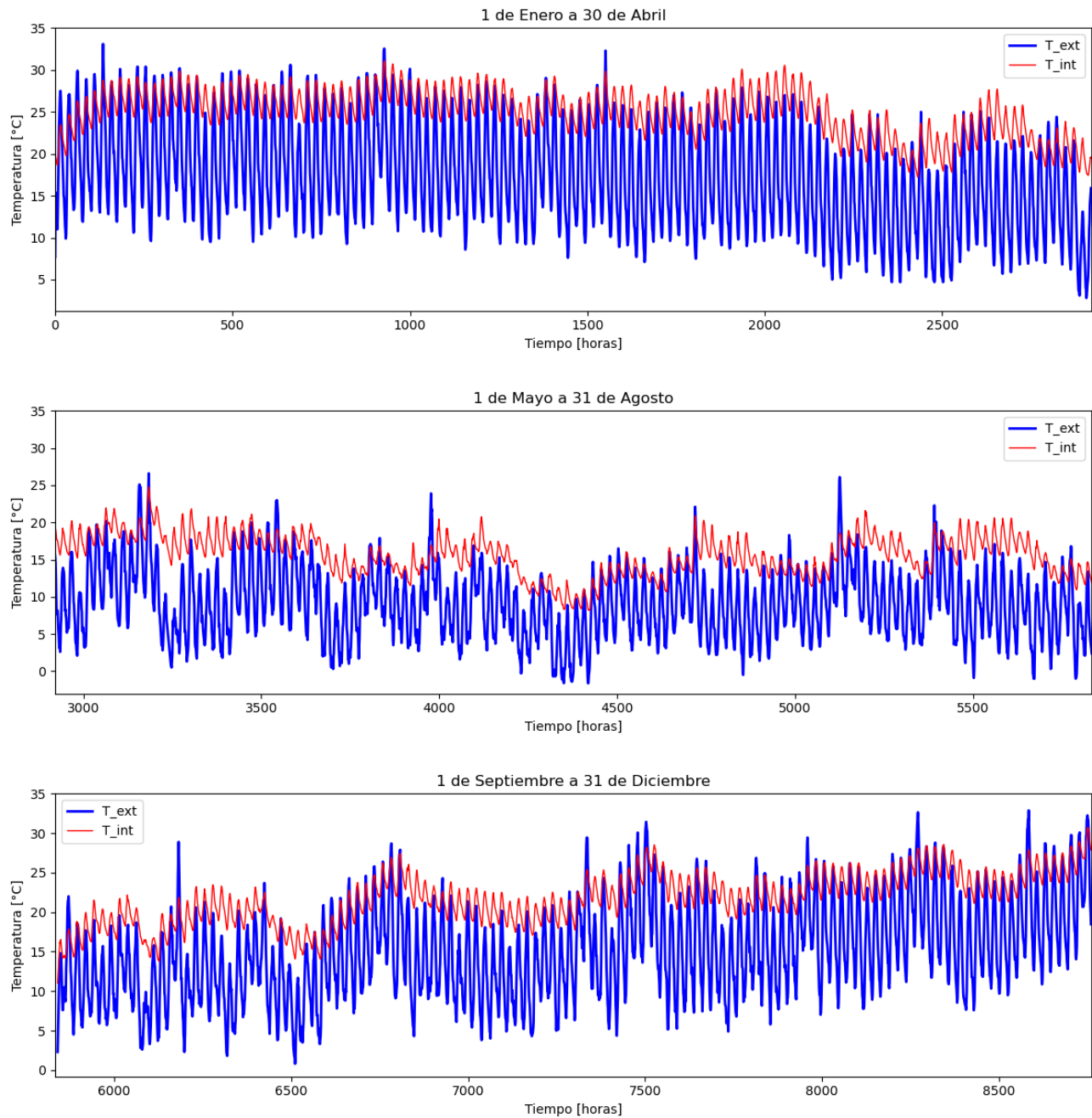


Figura F.7: Gráfico de temperatura interior y exterior de departamento de hormigón sin calefacción en la ciudad de Santiago con aislamiento exterior. Fuente: Elaboración propia.

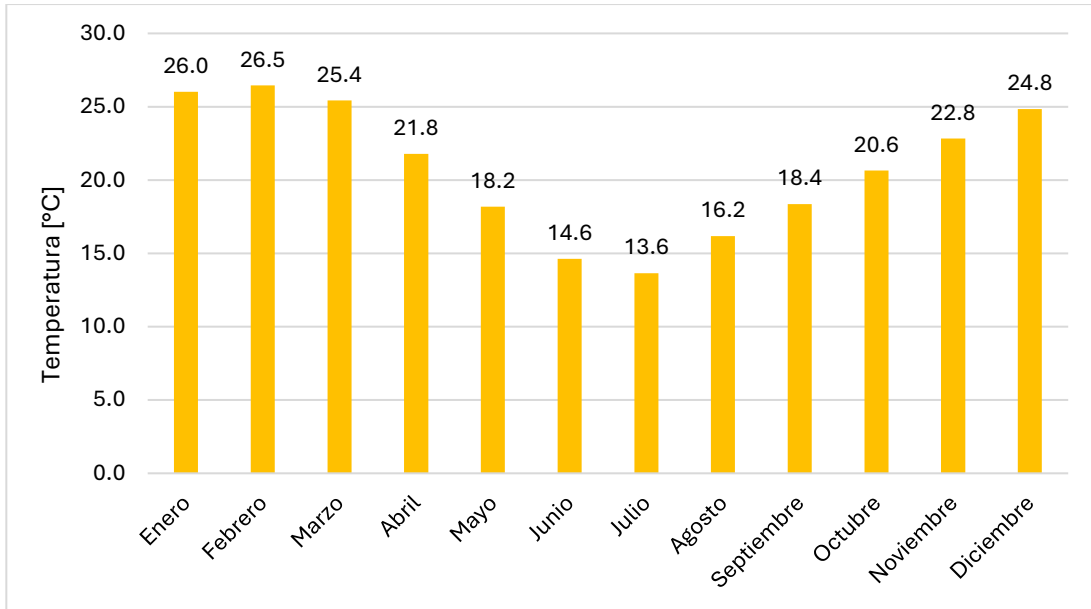


Figura F.8: Gráfico de temperaturas promedio mensuales de departamento de hormigón sin calefacción en Santiago con aislación exterior. Fuente: Elaboración propia.