



Determinación de perfiles de demanda de energía térmica y energía eléctrica de viviendas y edificios bajo diferentes condiciones climáticas

Nicolás Andrés Riquelme Vidal

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. Cristian Cuevas Barraza

Julio 2026
Concepción, Chile

©2026 Nicolás Riquelme Vidal

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

Agradecimientos

A mi familia, a mis padres y a mi hermana por su amor y apoyo incondicional. A mis amigos por su compañía en el día a día.

Este trabajo fue financiado por ANID FONDECYT Regular 1251412.

Resumen

La demanda energética del sector residencial ha ido en aumento con el paso de los años convirtiéndose en una preocupación desde el punto de vista político, económico y científico, bajo este contexto surgen distintas alternativas para mejorar la eficiencia energética de los hogares desde medidas de aislación hasta equipos generadores, en cualquier caso, para la comparación o instalación de estos sistemas es necesario conocer la demanda a satisfacer, la que varía según el tipo de vivienda y de los materiales que la componen.

En esta investigación se estudian los perfiles de consumo energético (térmico y eléctrico) de distintas tipologías de vivienda según nivel socioeconómico y, en el caso de edificios, considerando para estos su ubicación y la orientación de los departamentos que lo componen.

Se definen en primer lugar las características físicas de las viviendas y los materiales y tecnologías de aislación térmica involucradas en ellas, asociando estas según nivel socioeconómico, luego, se plantean los perfiles de ocupación, iluminación, calefacción y de consumo de agua caliente sanitaria (ACS) y eléctrica. Para los departamentos se analiza su comportamiento bajo un único material de aislación térmica.

Luego, los modelos son simulados utilizando el software TRNSYS y condiciones climáticas para las zonas de Concepción, Santiago y Valparaíso generados por el software Meteonorm.

Para el consumo térmico por ACS se realiza el cálculo mediante perfiles de consumo y valores referenciales de manuales técnicos. Para el consumo de equipos eléctricos se utilizan datos provenientes de encuestas a nivel nacional y perfiles de consumo encontrados en la literatura.

Los resultados indican que, si bien la demanda térmica se ve afectada por el nivel de aislación para soluciones dentro de las propuestas en la normativa vigente la variación de consumo se mueve dentro de un rango acotado, así, para las viviendas, desde las tipologías C1 hasta E, los consumos por calefacción y consumo de agua caliente sanitaria son de 95.96, 118.12, 97.85, 100.27 y 100.42 [kWh/m²] para Concepción, 54.33, 55.79, 56.42, 59.03 y 59.84 [kWh/m²] para Santiago y 34.00, 35.38, 36.21, 38.28 y 38.85 [kWh/m²] para Valparaíso. En cuanto a los departamentos se demuestra que las orientaciones Sur y Este lideran el consumo térmico respecto al resto de ubicaciones.

Los valores obtenidos desde esta investigación tienen el potencial de convertirse en datos de entrada para estudios futuros sobre tecnologías de eficiencia energética entregando perfiles de demanda energética aplicables en escenarios similares a los presentados.

Abstract

Building energy demand has been increasing over the years, becoming a concern from political, economic and scientific perspectives. Consequently, various alternatives have emerged to improve the energy efficiency of homes including insulation measures and power generation equipment. However, in order to compare or install these systems, it is necessary to know the energy demand to be met, which varies depending on the type of home and the materials used in its construction.

This study examines the energy consumption profiles (thermal and electrical) for different types of housing, according to socioeconomic status, and for buildings, taking into account their location and the orientation of the apartments within them.

First, the physical characteristics of the dwellings and the thermal insulation materials and technologies used in them are defined, and these are categorized by socioeconomic status. Next, the occupancy, lighting, heating, and consumption of domestic hot water (DHW) and electricity patterns are examined. For apartments, their performance is analyzed using a single type of thermal insulation material.

The models are then simulated using TRNSYS software and climate conditions for the Concepción, Santiago and Valparaíso areas are generated by Meteonorm software.

For thermal consumption related to hot water supply, calculations are based on consumption profiles and reference values from technical manuals. For the consumption of electrical appliances, data from nationwide surveys and consumption profiles found in the literature are used.

The results indicate that, although heating demand is affected by the level of insulation, for homes that comply the parameters set by current regulations, the variation in consumption remains within a limited range; thus, for residential units, from types C1 through E, consumption for heating and domestic hot water use are 95.96, 118.12, 97.85, 100.27 y 100.42 [kWh/m²] for Concepción, 54.33, 55.79, 56.42, 59.03 y 59.84 [kWh/m²] for Santiago and 34.00, 35.38, 36.21, 38.28 y 38.85 [kWh/m²] for Valparaíso. Regarding to apartments, the data shows that South and East facing units have the highest heating consumption compared to other orientations.

The results obtained from this research have the potential to serve as input data for future studies on energy-efficient technologies, providing energy demand profiles applicable to scenarios similar to those presented.

Contenido

Lista de Figuras	1
Lista de Tablas.....	2
Nomenclatura	3
Introducción	4
1.1 Contexto	4
1.2 Estado del arte.....	5
1.3 Alcances	7
1.4 Objetivos.....	8
1.4.1 Objetivo general	8
1.4.2 Objetivos específicos	8
1.5 Descripción del trabajo	8
2 Metodología.....	10
2.1 Marco teórico	11
2.1.1 Modelado energético de edificios.....	11
2.1.2 Tipologías de edificios	11
2.1.3 Simulación energética dinámica	11
2.1.4 Resistencia térmica y transmitancia	12
2.1.5 Perfiles de ocupación	13
2.1.6 Zonas térmicas.....	14
2.1.7 Nivel socioeconómico	15
2.2 Descripción de las condiciones meteorológicas de las ciudades consideradas	16
2.3 Descripción de tipologías de viviendas y edificios	17
2.3.1 Descripción de las viviendas unifamiliares.....	17
2.3.2 Definición de edificios de departamentos	25
2.4 Ganancias internas y consumo de ACS.....	29
2.4.1 Perfiles de ocupación	30
2.4.2 Equipos considerados en la vivienda	31
2.4.3 Consumo de agua caliente sanitaria.....	32
2.4.4 Ventilación e infiltraciones	35
2.4.5 Ganancias por iluminación y personas	36
2.5 Consumo eléctrico.....	37
2.6 Implementación en TRNSYS.....	37
3 Resultados.....	39

3.1	Perfiles de energía térmica	39
3.2	Demanda de energía térmica para ACS	52
3.3	Demanda de energía eléctrica.....	53
3.4	Consumos totales	54
4	<i>Discusión</i>	58
5	<i>Conclusiones</i>	60
6	<i>Referencias</i>	61
7	<i>Anexos</i>	64
	<i>Anexo A: Perfiles de consumo térmico y eléctrico</i>	64
	<i>Anexo B: Descripción y definición de viviendas</i>	76
	<i>Anexo C: Descripción de perfiles y suposiciones utilizadas</i>	90

Lista de Figuras

Figura 1. Representación de zonas térmicas en Chile	15
Figura 2. Esquema de la vivienda	19
Figura 3. Configuración de un piso del departamento (Madrid, 2010)	25
Figura 4. Detalle de un muro exterior del departamento (Madrid, 2010)	26
Figura 5. Plano de la figura X01 (Madrid, 2010)	27
Figura 6. Plano del departamento X03	27
Figura 7. Plano del departamento X05 (Madrid, 2010)	28
Figura 8. Perfiles de consumo de ACS para distintos países (Fuentes et al., 2018)	33
Figura 9. Consumos térmicos de las tipologías de vivienda para Concepción	39
Figura 10. Consumos térmicos de las tipologías de vivienda para Santiago	40
Figura 11. Consumos térmicos de las tipologías de vivienda para Valparaíso	41
Figura 12. Consumos por unidad de superficie	42
Figura 13. Consumos térmicos para el piso 1 en Concepción	43
Figura 14. Consumos térmicos para el piso 1 en Santiago	44
Figura 15. Consumos térmicos para el piso 1 en Valparaíso	45
Figura 16. Consumos térmicos piso intermedio en Concepción	46
Figura 17. Consumos térmicos piso intermedio en Santiago	47
Figura 18. Consumos térmicos piso intermedio en Valparaíso	48
Figura 19. Consumos térmicos piso superior en Concepción	49
Figura 20. Consumos térmicos piso superior en Santiago	50
Figura 21. Consumos térmicos piso superior en Valparaíso	51
Figura 22. Consumo de energía para ACS	52
Figura 23. Perfil de consumo eléctrico para viviendas	53

Lista de Tablas

Tabla 1. Valores de resistencias superficiales según dirección de flujo de calor.....	13
Tabla 2. Zonas térmicas en Chile	14
Tabla 3. Zonas térmicas escogidas	16
Tabla 4. Propiedades térmicas que cumplir por zona térmica	16
Tabla 5. Distribución de los materiales de muros exteriores según CENSO 2024	18
Tabla 6. Distribución de muros exteriores según GSE (Caracterización Residencial 2018)	18
Tabla 7. Superficie de viviendas por GSE	19
Tabla 8. Número de dormitorios por vivienda según Censo	19
Tabla 9. Superficie de las tipologías de vivienda propuestas.....	20
Tabla 10. Costos de materiales de aislación	20
Tabla 11. Configuraciones de muros exteriores.....	21
Tabla 12. Detalle muros	21
Tabla 13. Configuración de techos	22
Tabla 14. Detalle espesores.....	22
Tabla 15. Solución aislante piso.....	23
Tabla 16. Configuración muros interiores	23
Tabla 17. Porcentaje de área máxima de la ventana en el muro según su transmitancia.	23
Tabla 18. Solución de ventana	24
Tabla 19. Área de ventana máxima por área de muro y orientación.....	24
Tabla 20. Configuración para las aguas del techo.....	25
Tabla 21. Configuración de los muros exteriores de los departamentos.....	26
Tabla 22. Datos departamento X01	27
Tabla 23. Datos departamento X03.....	28
Tabla 24. Datos departamento X05.....	28
Tabla 25. Ventanas de los departamentos	29
Tabla 26. Tiempos de traslado promedio.....	30
Tabla 27. Horarios de ocupación de la vivienda	31
Tabla 28. Equipos considerados para el cálculo de ganancias internas	31
Tabla 29. Factores de consumo horario de ACS	34
Tabla 30. Temperatura promedio mensual de la red de agua en °C	35
Tabla 31. Perfil de uso de iluminación.....	36
Tabla 32. Consumos térmicos para las tipologías de viviendas.....	42
Tabla 33. Consumo eléctrico por tipología	53
Tabla 34. Consumos por calefacción y uso de ACS por unidad de superficie para viviendas según tipología	54
Tabla 35. Consumos por calefacción y uso de ACS para edificios según ubicación	55
Tabla 36. Consumo por calefacción y uso de ACS de departamentos por unidad de superficie	56

Nomenclatura

$A_{superficie}$:	Área de superficie interior de recinto [m^2]
$A_{original}$:	Área inicial [m^2]
A_{nueva} :	Área final [m^2]
$C_{p,agua}$:	Calor específico del agua [$J/(kgK)$]
λ :	Conductividad [$W/(mK)$]
ρ_{agua} :	Densidad del agua [kg/m^3]
e :	Espesor [m]
k :	Factor de homotecia [-]
$\dot{V}_{total}$:	Flujo de infiltración total [m^3/s]
f_a :	Fracción de área sección A [-]
f_b :	Fracción de área sección B [-]
N°_{hab} :	Número de habitaciones
R_{se} :	Resistencia térmica de superficie exterior [m^2K/W]
R_{si} :	Resistencia térmica de superficie interior [m^2K/W]
T_{red} :	Temperatura de agua de la red [$^{\circ}C$]
$T_{consumo}$:	Temperatura de consumo de agua [$^{\circ}C$]
U :	Transmitancia térmica [$W/(m^2K)$]
U_a :	Transmitancia térmica a través de sección A [$W/(m^2K)$]
U_b :	Transmitancia térmica a través de sección B [$W/(m^2K)$]
V_{ACS} :	Volumen de agua caliente sanitaria [m^3]

Introducción

1.1 Contexto

El sector residencial representa una gran parte del consumo energético global y de emisiones de CO₂ correspondiendo al 36% y 40% respectivamente (Shen & Wang, 2024), mientras que, a nivel nacional, el consumo del sector residencial corresponde al 18% del consumo total al año 2024 (Energía abierta, 2024).

Considerando los números anteriores, gobiernos e investigadores han enfocado su atención en la búsqueda de mejorar la eficiencia energética de los hogares, permitiendo reducir su nivel de consumo y buscando además la integración de fuentes renovables como métodos activos de alivio energético.

En este escenario, las viviendas de energía neta cero se convierten en una medida de interés para resolver los problemas anteriormente mencionados. La definición de lo que es una vivienda de energía neta cero suele variar según el autor, un estudio encargado por el ministerio de energía de Chile la define como *“Edificio de alto rendimiento energético, cuya energía anual consumida es cubierta por fuentes de energía renovable generadas en el sitio o cercano a este”* (Espinoza et al., 2021).

Para implementar viviendas de energía neta cero u otras medidas de eficiencia energética se necesita conocer el desempeño base de la vivienda en términos de consumo eléctrico y térmico, identificando de ser posible patrones de consumo en estos perfiles. Para ello, se pueden utilizar métodos como el monitoreo en terreno, aunque este requiere que la vivienda considerada sea hasta cierto punto representativa dentro del stock de viviendas del país o una cantidad numerosa de datos si lo que se busca es obtener perfiles de consumo generalizados.

Ante estas dificultades la simulación computacional del comportamiento de las viviendas es un método apropiado, puesto que a partir del estudio y definición de tipologías de viviendas típicas dentro de un sector socioeconómico es posible distinguir los resultados de las simulaciones, permitiendo tomar distintas decisiones de mejoramiento energético dependiendo de cuál sea el contexto en el que se encuentra el caso de estudio.

Respecto del uso de simulaciones para estimar el consumo de viviendas se encuentran numerosos estudios al respecto, destacando aquellos que presentan resultados y los que proponen metodologías.

En México, Espino-Reyes et al. (2025) realizó un estudio a través del desarrollo de un edificio de referencia para comprender el consumo energético de edificios multifamiliares a lo largo de distintas zonas climáticas mediante simulación, luego, compara los resultados obtenidos con los arrojados por encuestas a nivel nacional, obteniendo conclusiones relevantes respecto a la variación del consumo por zona geográfica. Por otro lado, Mutani et al. (2024) desarrolló un modelo basado en 8 arquetipos para representar los tipos de edificios más comunes en Chile en combinación con sistemas QGIS para analizar la demanda energética debida al calentamiento de espacios y evaluar así el potencial de ahorro energético si se toman distintas medidas de eficiencia en bloques de edificios

residenciales. En cuanto a tipología de edificios Molina et al. (2017) propone una metodología para identificar arquetipos de edificios que representen el stock nacional, cuyos resultados arrojan un punto de entrada importante para estudios de simulación energética, de calidad del aire y de contaminantes.

En cuanto a estudios desarrollados a nivel nacional no existe ninguno que realice la tarea de modelar energéticamente arquetipos de edificios cuyas características representen distintas configuraciones según nivel socioeconómico. De esta forma, el presente proyecto pretende modelar el consumo energético y térmico de distintas tipologías de viviendas, cuyos materiales de construcción y envolvente térmica dependan del nivel socioeconómico al que representan.

La realización exitosa de la investigación terminará por entregar una base de datos, sólida y actualizada, con el potencial de convertirse en un punto de referencia para el inicio y discusión de proyectos de modelación de energía con enfoque en la implementación de medidas de eficiencia energética, como lo son las viviendas de energía neta cero.

1.2 Estado del arte

Como se mencionó anteriormente, los estudios existentes en el ámbito de la modelación energética por lo general se pueden diferenciar entre aquellos que presentan los resultados de simulaciones llevadas a cabo sobre tipologías de edificios y aquellos que entregan información respecto a metodologías y enfoques utilizados comúnmente en este campo de estudio.

En cuanto a investigaciones sobre el consumo energético se tiene el caso de Chang et al. (2024), el cual identifica los factores que afectan en mayor medida al consumo eléctrico en viviendas británicas a partir de datos obtenidos desde fuentes sociotécnicas y medidores inteligentes, permitiendo con los resultados ayudar al desarrollo de estrategias de ahorro de energía y obteniendo correlaciones entre distintas variables como la existente entre el nivel de consumo y el nivel socioeconómico. Espino-Reyes et al. (2025) define un edificio de referencia para el contexto mexicano y simula su consumo energético con la finalidad de evaluar su desempeño bajo diferentes condiciones climáticas y así adaptar la toma de decisiones de la mejor manera según la localización de la vivienda, demostrando el potencial de este tipo de análisis. Mutani et al. (2024) realiza modelación energética urbana al combinar el uso de 8 tipologías de viviendas en la zona de Santiago de Chile y sistemas QGIS para analizar la demanda energética y el potencial ahorro luego de intervenciones de renovación, haciendo un análisis económico del proyecto propuesto, gracias a este estudio se concluye que medida de renovación es la más eficaz.

En cuanto a información metodológica, Kansal & Rajasekar, (2025) abordan los desafíos computacionales y en términos de recursos y datos disponibles que conllevan las simulaciones de edificios, de esta forma, realiza una revisión exhaustiva de enfoques de modelación con modelos de orden reducido (simplificaciones de la realidad) destacando los métodos Top-Down y Bottom-Up, donde el primero considera una serie de construcciones como una unidad única generando estimaciones a nivel sectorial mientras que el segundo se enfoca en el consumo individual de las viviendas. El trabajo realizado por Guo et al. (2023) utiliza modelos de orden reducido para simulación energética y presenta un marco

de trabajo que permite tomar decisiones respecto al enfoque de modelación a utilizar en función de los datos disponibles, demostrando un error porcentual absoluto medio inferior al 2% en la predicción de la demanda energética de toda una ciudad al utilizar datos públicos. Por otro lado, Ang et al. (2020) introduce un marco de trabajo para el modelado urbano de edificios explicando en profundidad los alcances del enfoque Bottom Up y destacando el potencial que presentan las modelaciones sobre el nivel de consumo de edificios como herramientas de toma de decisiones en política energética. Finalmente, Shen & Wang, (2024) entregan información metodológica para la construcción de arquetipos mediante una revisión y comparación entre los distintos enfoques popularmente usados para modelación, entregando directrices respecto a la elección del enfoque apropiado dependiendo del contexto de la investigación y de la calidad y disponibilidad de datos.

La mayoría de las investigaciones revisadas utiliza un flujo de trabajo que ha sido ampliamente descrito dentro de la literatura, conocido como Bottom-up. Por ejemplo, Kang et al. (2023) analiza la situación actual y desafíos futuros de los modelos de perfiles eléctricos de los edificios, distinguiendo entre modelos de consumo y de predicción, centrándose en enfoques estadísticos y Bottom up con el fin de informar a investigadores futuros, destaca el hecho de que los métodos estadísticos son aplicables en presencia de grandes bases de datos mientras que el método Bottom up permite construir los perfiles a partir de principios físicos y por componentes, además añade la discusión sobre métricas de validación.

En lo que respecta a perfiles de consumo se tiene el estudio de Verdejo et al. (2024) el cual propone los perfiles de un set de hogares situados en Santiago de Chile mediante el monitoreo del consumo minuto a minuto de distintos artefactos en combinación con medidores inteligentes, permitiendo entregar patrones de consumo en forma empírica además de explicar los factores que influyen en este gracias a técnicas econométricas, sus resultados confirman el alto grado de variabilidad del consumo según los hábitos de los ocupantes de las viviendas.

Los datos para la generación de perfiles de consumo son de gran impacto en los resultados, así queda en evidencia en la investigación de Bhowmik et al. (2024) donde los investigadores generaron un algoritmo de fusión de datos permitiendo la combinación de información proveniente de dos fuentes distintas, resultando en un set de datos que permite la realización de un modelo de uso de energía, el cual al validarlo demuestra una clara mejora respecto a investigaciones que utilizaron las mismas fuentes sin fusión. Por otro lado, ante la ausencia de datos, la modelación de perfiles de consumo se puede aproximar mediante el uso de asunciones proporcionadas por códigos o estándares de construcción, Ferrari et al. (2023), sigue un marco de trabajo sustentado en la modelación de pisos típicos asumiendo datos provenientes de distintos estándares de construcción con el fin de comparar los impactos de cada uno a fin de ayudar a investigadores a elegir el estándar más adecuado según el contexto del estudio.

En cuanto a enfoques que utilizan tipologías de viviendas, se tienen estudios aplicados al contexto chileno e internacional que mencionan procesos de trabajo para generar arquetipos de viviendas y resultados respecto a la representatividad de estos dentro del stock nacional. Se tiene el estudio de Santa María et al. (2017) donde se realiza una

caracterización de tipologías de vivienda con el propósito de realizar un modelo de exposición ante catástrofes naturales en Chile, permitiendo dimensionar el costo de reposición de las estructuras afectadas. La metodología considera el conteo de viviendas, materiales de construcción y ubicación a partir de diferentes fuentes de datos como el Censo de población y vivienda y los permisos de edificación, con esto se definen reglas de clasificación y se procede a asignar tipologías y costos. Mutani et al. (2024) modela el consumo de viviendas mediante la definición previa de tipologías con el fin de evaluar las medidas más apropiadas para planeamiento urbano sustentable, el estudio concluye en 18 tipologías estructurales y el costo de renovación asociado.

En el estudio de Molina et al. (2017) selecciona estadísticamente una lista de arquetipos representativos del stock de edificios chilenos buscando generar los datos de entrada para modelación y simulación de calidad del aire en interiores. En forma similar, Molina et al. (2020) utiliza datos provenientes desde el Censo y permisos de construcción para desarrollar arquetipos de casas chilenas utilizando valores representativos estadísticamente, enfatizando en aquellos parámetros que impactan en su desempeño energético y calidad del aire, concluye que 496 arquetipos pueden representar al 100% del stock nacional y 90 arquetipos al 95%.

1.3 Alcances

Se busca la obtención de los perfiles de consumo energético (eléctrico y térmico) de cinco tipologías de viviendas caracterizadas por nivel socio económico y para edificios de pequeña y mediana altura. La caracterización incluye la definición de materiales de muros, techos, pisos y ventanas para cada una de las tipologías.

Se incluyen los efectos climáticos dentro de la realización del proyecto para lo cual se consideran tres zonas térmicas diferentes dentro de Chile, elegidas por número de habitantes.

El proyecto se sustenta en información proporcionada por encuestas, códigos y normas de construcción tales como, el Censo nacional de vivienda, normas de construcción chilenas definidas por el Ministerio de Vivienda y Urbanismo, la encuesta de uso del tiempo, el listado oficial de soluciones constructivas y trabajos de caracterización residencial a nivel país.

Las tipologías de vivienda se definen respetando las normativas básicas de construcción y aislamiento térmico además de datos estadísticos.

La generación de perfiles de consumo eléctrico y térmico es realizada utilizando software de simulación, utilizando como datos de entrada patrones de ocupación definidos en forma determinística en base a encuestas, estudios del uso del tiempo e investigaciones académicas.

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo general

- Determinar perfiles de demanda de energía térmica y eléctrica para tipologías de viviendas clasificadas por grupos socioeconómicos y para edificio de departamentos bajo diferentes condiciones climáticas.

1.4.2 Objetivos específicos

- Definir en forma conceptual distintas tipologías de vivienda que representen las configuraciones más típicas según nivel socio económico en el contexto nacional clasificándolas según materialidad y superficie.
- Modelar las características físicas y geométricas de las tipologías de vivienda definidas previamente.
- Generar los perfiles de consumo eléctrico y térmico en forma horaria para cada tipología de vivienda bajo distintas condiciones climáticas.

1.5 Descripción del trabajo

La descripción del trabajo puede llevarse a cabo a través de la descomposición de los objetivos específicos en actividades necesarias para completarlos.

Actividad 1: Revisión bibliográfica del estado del arte (OE1)

Con el objetivo de recopilar información respecto a la materialidad de las construcciones, sus dimensiones y la forma en que estas varían según nivel socio económico se realiza una revisión bibliográfica en normas de construcción, censos e investigaciones recientes. Además, se recopila información respecto al comportamiento humano a partir de encuestas del uso del tiempo y sobre las metodologías comúnmente utilizadas para la obtención de los perfiles de consumo eléctrico y de agua sanitaria.

Actividad 2: Identificar materiales a través de códigos y encuestas (OE1)

A partir de la información recopilada en la actividad 1 se realiza el análisis respecto a la frecuencia de uso de distintos materiales de construcción en las viviendas chilenas caracterizando su presencia según nivel socioeconómico, con el fin de asociar distintos materiales a distintas tipologías en el proceso de definición.

Actividad 3: Obtener planos de tipologías a través de proyectos de investigación (OE1)

Utilizando fuentes abiertas de información se recopilan planos de proyectos inmobiliarios o de investigación que permitan entregar directrices en cuanto a la geometría externa e interna de edificios residenciales.

Actividad 4: Definición de las tipologías de vivienda y localización de estudio (OE1)

A partir de los datos obtenidos se realiza la construcción en forma conceptual de las viviendas permitiendo una primera aproximación de la estructura final de las mismas.

Las tipologías se definen por grupo socioeconómico a través de la asociación de la información proporcionada por estudios y encuestas respecto de la relación existente entre materialidad y superficie de las construcciones y el poder adquisitivo de los ocupantes.

La localización del estudio corresponde a tres zonas térmicas distintas escogidas por número de habitantes.

Actividad 5: Generación de archivos meteorológicos (OE1)

Se elaboran los archivos meteorológicos basados en un año tipo de cada localización propuesta para el estudio.

Los archivos meteorológicos corresponden a las características climáticas de las distintas zonas de estudio a lo largo de un año típico completo. Para la formulación de los archivos se considera la utilización del software Meteonorm.

Actividad 6: Implementación de las viviendas en el software TRNBuild (OE2)

Utilizando el software TRNBuild se procede a la modelación de las viviendas respetando los materiales y características de construcción definidas.

Como datos de entrada para los modelos se proporcionan los materiales y las características físicas de los elementos de la envolvente térmica, como lo son los muros perimetrales, techo, piso y los mecanismos de aislación considerados. Además, se consideran las ganancias internas de la vivienda producto del uso de equipos, la presencia de personas y la iluminación.

Actividad 7: Generación de perfiles de ocupación para cada vivienda (OE2)

Además de información material de las viviendas es necesario representar el comportamiento de sus ocupantes puesto que impacta en los perfiles de consumo energético. Para ello se realiza la generación de los perfiles de ocupación de las viviendas en forma horaria, representando los patrones de comportamiento de los habitantes, se utilizan principalmente datos provenientes de encuestas gubernamentales y literatura especializada para formular los patrones de ocupación en forma determinística.

Actividad 8: Generación de los perfiles de consumo bajo las condiciones de las tipologías de vivienda propuesta. (OE3)

Con los perfiles de ocupación horaria, los datos climatológicos y las tipologías de viviendas modeladas se procede a la generación de los perfiles de consumo energético totales de estas en forma horaria, permitiendo comparar los resultados según nivel socioeconómico y zona térmica.

2 Metodología

La metodología considerada para la realización del proyecto se sustenta en una combinación de búsqueda bibliográfica, tratamiento de datos y modelación por medio de software.

Dentro de la estructura del proyecto se distinguen tres resultados principales, siendo estos la definición de las tipologías consideradas para estudio, la modelación y definición de perfiles de ocupación de las viviendas y la simulación para generar los perfiles finales.

El proyecto inicia con la recopilación de datos respecto a las características de viviendas en el stock residencial nacional, utilizando para ello artículos de revistas científicas, libros y encuestas como el Censo, utilizando palabras clave referidas a tipologías de edificios, modelos de simulación y perfiles de consumo energético.

En cuanto a datos constructivos la recopilación se centra en la distribución estadística de números de pisos, habitaciones y ocupantes dentro del contexto nacional. Respecto a los ocupantes también se considera la búsqueda de información sobre su comportamiento, puesto que este impacta en los horarios de consumo eléctrico y térmico, esta información se encuentra parcialmente disponible en encuestas de uso del tiempo desarrolladas por el gobierno.

Por otro lado, los materiales de construcción comúnmente utilizados son de alta importancia para el modelado energético por lo que se consideran datos de interés al igual que los niveles de aislación, los que se obtienen a partir de las sugerencias establecidas por distintos códigos y normas de construcción nacionales y regionales como por ejemplo la norma NCh853 o la Ordenanza General de Urbanismo y Vivienda. Además, se definen en este punto las diferentes localizaciones que se considerarán para el estudio y se generan los archivos meteorológicos para la modelación.

Además de la información cuantitativa también se buscan referencias respecto a planos de edificios y viviendas para orientar la definición de geometrías dentro del contexto chileno.

Los datos obtenidos son categorizados por nivel socioeconómico con el fin de diferenciar las tipologías bajo este criterio.

A continuación, se procede a la modelación de las tipologías definidas utilizando el software TRNBuild mediante los datos geométricos y de materiales definidos anteriormente.

Como requisito para la simulación se consideran los patrones de ocupación de las viviendas utilizando las encuestas de uso de tiempo y los hábitos de utilización de equipos.

Finalmente, se procede a la simulación de cada uno de los modelos de vivienda en distintas localizaciones y zonas climáticas, comparando los perfiles presentados utilizando literatura disponible con el fin de validar la información o detectar y corregir en lo posible discrepancias en los resultados.

2.1 Marco teórico

2.1.1 Modelado energético de edificios

En los últimos años la simulación energética de edificios ha aumentado su relevancia (Ang et al., 2020), convirtiéndose en una herramienta para toma de decisiones en materia política y de inversión. Esta metodología implica la definición del edificio en estudio y la modelación de sus características físicas para posteriormente simular su consumo energético, de esta forma, es posible comparar las modificaciones pertinentes según el objetivo del estudio.

En este caso, el objetivo del modelado energético es caracterizar la demanda energética de distintos edificios con configuraciones de envolvente variables según nivel socioeconómico, por lo que la creación de tipologías de edificios es un paso clave en este procedimiento.

2.1.2 Tipologías de edificios

Las tipologías de edificios son clasificaciones dentro de las cuales se pueden agrupar construcciones, tales como viviendas con características similares para utilizarlas a modo de base en estudios que entreguen resultados relevantes para los edificios involucrados.

En el caso particular de este proyecto, se deben identificar las características más relevantes para el modelado energético de los edificios, siendo estas consideradas en la envolvente (materiales, espesores y tecnologías) puesto que impactan en forma directa al desempeño térmico de la vivienda (Molina et al., 2017). Además, debido a que el interés es desglosar los resultados de consumo según nivel socioeconómico, la relación entre este aspecto y la envolvente se vuelve fundamental.

2.1.3 Simulación energética dinámica

Sobre la definición de un modelo de edificio o recinto con determinadas propiedades de envolvente térmica, condiciones climáticas y patrones de comportamiento de sus ocupantes es posible llevar a cabo el cálculo del comportamiento energético del mismo. Sin embargo, este cálculo depende de una serie de factores los cuales a su vez pueden no ser del todo independientes, resultando en ecuaciones complejas de resolver en forma manual.

Para la resolución de las ecuaciones provenientes de modelos de transferencia de calor se suele utilizar software especializado, el que es capaz de considerar las variables mencionadas y entregar los resultados pertinentes.

Los métodos ingenieriles comúnmente utilizados para abordar los problemas de simulación térmica abordan al sistema en estudio como un régimen estacionario, semi estacionario o dinámico.

El método estacionario desprecia fenómenos como la capacitancia térmica, obviando el almacenamiento de energía por los elementos constructivos que componen el recinto y que, en el caso de viviendas resultan ser relevantes, en especial si se busca estudiar el efecto de medidas de aislación (Kotarela et al., 2023).

Los métodos semi estacionarios realizan el análisis asumiendo un valor de temperatura promedio al interior de la vivienda durante intervalos de tiempo en los cuales las características de esta no varían o lo hacen en forma extremadamente lenta. Esta estrategia permite considerar el uso de sistemas de calefacción o enfriamiento a través de valores provenientes de algún estándar o norma.

Para la realización de este estudio se utilizará el software TRNSYS el cual utiliza un enfoque transitorio. El método transitorio o dinámico, realiza los cálculos en una base de intervalos de tiempo cortos y sucesivos, lo que permite considerar tanto cambios pequeños como significativos de la vivienda durante el periodo simulado, integrando así el efecto de la capacitancia del recinto y los materiales, la inercia térmica de componentes de la envolvente, ganancias térmicas internas y fugas de calor debido a flujos de aire entre otros, entregando resultados detallados y con mayor cercanía a la realidad.

2.1.4 Resistencia térmica y transmitancia

La transferencia de calor se produce a través de tres mecanismos diferentes; conducción, convección y radiación, siendo la conducción el mecanismo presente en los intercambios debido a gradientes de temperatura y de especial relevancia en sólidos como los muros de un edificio, la convección por otro lado involucra las corrientes de fluido como aire. Finalmente, la radiación involucra la emisión de calor en forma electromagnética por parte de los cuerpos debido a su temperatura (Incropera & DeWitt, 1999).

La magnitud de la transferencia de calor a lo largo de un muro homogéneo puede ser caracterizada a través de la transmitancia térmica del muro. La transmitancia térmica es el flujo de calor por unidad de superficie del elemento y por grado de diferencias de temperaturas entre dos ambientes separados por dicho elemento (O'Grady et al., 2017).

El cálculo de la transmitancia térmica para un muro homogéneo se presenta en la ecuación (1).

$$U = \frac{1}{R_{si} + \sum \frac{e}{\lambda} + R_{se}} \quad (1)$$

Para elementos heterogéneos es necesario realizar el cálculo de transmitancia a través de las distintas secciones del muro y luego ponderar esta según la proporción de área que representen, tal como lo expone la ecuación (2).

$$U = f_a U_a + f_b U_b \quad (2)$$

Las resistencias superficiales internas y externas de ser necesarias se consideran como valores asumidos según el caso gracias a la literatura, el detalle se aprecia en la Tabla 1.

Tabla 1. Valores de resistencias superficiales según dirección de flujo de calor

Resistencias térmicas de superficie en m ² K/W						
Posición del elemento y sentido del flujo de calor	Situación del elemento					
	De separación con espacio exterior o local abierto			De separación con otro local, desván o cámara de aire		
	R_{si}	R_{se}	$R_{si} + R_{se}$	R_{si}	R_{se}	$R_{si} + R_{se}$
Flujo horizontal en elementos verticales o con pendiente mayor que 60° respecto a la horizontal	0.12	0.05	0.17	0.12	0.12	0.24
Flujo ascendente en elementos horizontales o con pendiente menor o igual que 60° respecto a la horizontal	0.09	0.05	0.14	0.1	0.1	0.2
Flujo descendente en elementos horizontales o con pendiente menor o igual que 60° respecto a la horizontal	0.17	0.05	0.22	0.17	0.17	0.34

2.1.5 Perfiles de ocupación

Uno de los datos de entrada de la simulación corresponde a los perfiles de ocupación de los habitantes de las viviendas. Estos perfiles representan la distribución horaria de la presencia de las personas en el recinto estudiado, lo que influye en el consumo eléctrico correspondiente a equipos, iluminación y calefacción y al consumo de energía térmica durante la utilización de agua sanitaria.

Los perfiles de consumo son altamente sensibles al comportamiento humano (Chmielewska, 2025), por lo que este debe ser considerado durante su definición.

Para el perfil de consumo eléctrico, la literatura suele mencionar métodos como los modelados Top-Down y Bottom-Up, los que si bien permiten obtener perfiles de consumo realistas requieren de un gran número de datos en el caso del primero y de una modelación exhaustiva del comportamiento humano en el segundo. De esta forma, y considerando los alcances y plazos del proyecto, se utiliza un enfoque determinista, basado principalmente en literatura, utilizando información proveniente de publicaciones académicas, encuestas de uso del tiempo y estándares o normativas internacionales como las proporcionadas por ASHRAE.

El procedimiento consiste en identificar patrones de comportamiento de los ciudadanos, los equipos eléctricos comúnmente utilizados y sus factores de uso, con estos datos se

generan los perfiles horarios para los equipos utilizados en las viviendas. En el caso del agua caliente sanitaria el proceso es similar considerando valores promedio diarios del consumo del recurso.

2.1.6 Zonas térmicas

La distribución de la temperatura a lo largo de un país puede ser clasificada utilizando la zonificación térmica. Según la norma NCh 1079 la zonificación térmica es una clasificación según rangos de grados día de calefacción, calculados en base a una temperatura de confort para condición fría, la que corresponde a 20° durante el día y 17° durante la noche. En Chile, la zonificación térmica comprende nueve zonas, las que se presentan en la Tabla 2.

Tabla 2. Zonas térmicas en Chile

Zona	Localización
Zona A (costera)	Se extiende por el norte desde la comuna de Arica hasta la comuna de Freirina por el Sur, incluida esta y las islas presentes en esta zona
Zona B (interior)	Se extiende por el norte desde la comuna de Arica hasta las comunas de Illapel y Salamanca por el Sur, incluidas estas
Zona C (costera)	Se extiende por el norte desde la comuna de La Higuera hasta la comuna de Licantén por el Sur, incluida esta y las islas presentes en esta zona
Zona D (interior)	Se extiende por el norte desde la comuna de Petorca hasta la comuna de Parral por el Sur, incluida esta
Zona E (costera)	Se extiende por el norte desde la comuna de Curepto hasta la comuna de Toltén por el Sur, incluida esta y las islas presentes en esta zona
Zona F (interior)	Se extiende por el norte desde la comuna de Niquén y San Fabián hasta Río bueno por el Sur, incluida esta
Zona G (sur)	Se extiende por el norte desde las comunas de Mariquina, Máfil y Valdivia hasta las comunas de Quellón y Chaitén por el Sur, ambas incluidas y las islas presentes en esta zona
Zona H (cordillera de Los Andes)	Se extiende por el norte desde las comunas de Arica y General Lagos hasta la comuna de Pucón y Curarrehue por el Sur, ambas incluidas
Zona I (extremo sur)	Se extiende por el norte desde las comunas de Guaitecas, Cisnes y Palena hasta el territorio Antártico Chileno por el Sur, incluido este y las islas presentes en esta zona

Puesto que para el estudio además del nivel socioeconómico es de interés el comportamiento de las tipologías definidas bajo diferentes condiciones climáticas se utiliza la división en zonas térmicas establecida por la Norma Chilena 1079 para seleccionar las

localizaciones de estudio. Las zonas térmicas se pueden apreciar en forma gráfica en la Figura 1.

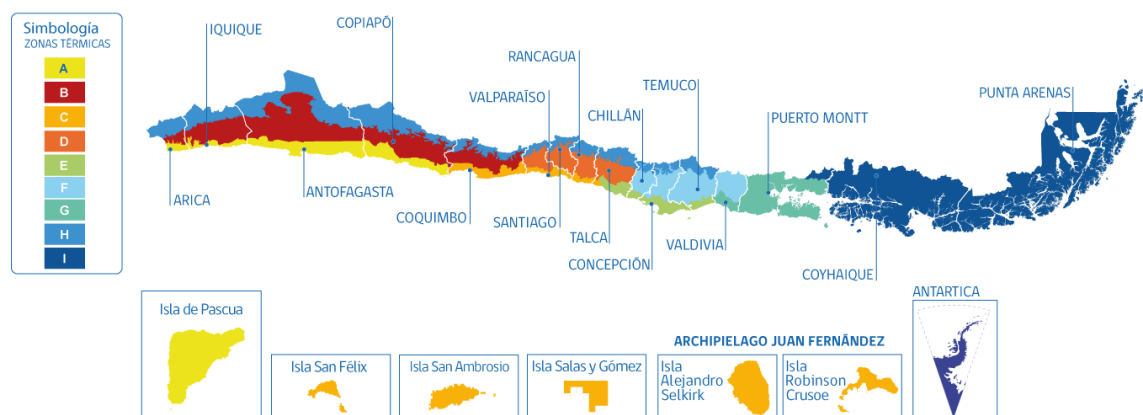


Figura 1. Representación de zonas térmicas en Chile

La zona térmica es de alta importancia puesto que las edificaciones deben satisfacer ciertos parámetros de eficiencia térmica, comúnmente expresada en términos de la transmitancia térmica de los diferentes componentes de su envolvente.

Para la definición de las tipologías se escoge utilizar como requisito las condiciones más conservadoras especificadas por la Ordenanza General de Urbanismo y Vivienda.

2.1.7 Nivel socioeconómico

Segmentar los hogares de un país según su nivel socioeconómico es una tarea importante, puesto que permite entre otras cosas, enfocar las ayudas estatales según la vulnerabilidad que presenten. En Chile, la caracterización de los hogares en segmentos es realizada por el Registro Social de Hogares mediante la Calificación Socioeconómica (CSE) a través de la cual se organizan a los hogares pertenecientes a este registro en 7 tramos (MDSF, 2024)

Además de la CSE se tiene el sistema de Grupos Socioeconómicos (GSE) propuesto por AIM, el cual busca medir la estratificación social mediante un sistema que integra dimensiones sociales y económicas que permita realizar comparaciones en el tiempo y en estudios de mercado (AIM, 2026). Debido a la naturaleza de este proyecto y al formato de los datos obtenidos desde la Caracterización Residencial 2018 (Fissore et al., 2018) se utilizará este último sistema. En este formato los grupos socioeconómicos serán divididos en 5 clasificaciones, C1, C2, C3, D y E.

2.2 Descripción de las condiciones meteorológicas de las ciudades consideradas

Para la caracterización del consumo es necesario definir las condiciones climáticas del entorno que rodea a la vivienda. En este sentido, se escogieron tres localizaciones diferentes con la intención de comparar el impacto que esta tendrá en los niveles de consumo.

En Chile, la norma NCh 1079 define nueve zonas térmicas según lo detallado anteriormente las cuales son consideradas por diferentes instituciones a la hora de establecer los parámetros constructivos que deben cumplir las viviendas, siendo altamente relevante los niveles de transmitancia térmica que presentan los componentes de la envolvente del edificio.

Para la selección de las zonas se decidió utilizar el criterio de población, es decir, escoger las zonas térmicas en base a las regiones en las que vive el mayor porcentaje del país y utilizando como representante a la capital regional.

Las zonas térmicas seleccionadas se presentan en la Tabla 3.

Tabla 3. Zonas térmicas escogidas

N° de Región	Nombre	Población [%]	Capital Regional	Zona térmica
13	Región Metropolitana	40	Santiago	D
5	Región de Valparaíso	10.3	Valparaíso	C
8	Región del Bío Bío	8.7	Concepción	E

A partir de las zonas térmicas se revisa la Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones, donde se establecen los parámetros máximos y mínimos de transmitancia y resistencia térmica que deben presentar los elementos constructivos de las viviendas.

Los valores de transmitancia térmica máxima para cada zona térmica se presentan en la Tabla 4.

Tabla 4. Propiedades térmicas que cumplir por zona térmica

N° de Región (Ciudad considerada)	Zona térmica	Valores de U máximos para muros exteriores	Valores de U máximos para techos	Valores de U máximos para pisos
13 (Santiago)	D	0.8	0.47	0.87
5 (Valparaíso)	C	0.8	0.38	0.6
8 (Concepción)	E	0.6	0.33	0.6

Como requisito para las tipologías definidas se estableció que estas deben cumplir las condiciones más conservadoras con el fin de que puedan ser simuladas en todas las zonas térmicas seleccionadas. Por lo tanto, los datos considerados como límite corresponden a los presentados por la zona térmica E.

2.3 Descripción de tipologías de viviendas y edificios

2.3.1 Descripción de las viviendas unifamiliares

Con el fin de obtener los perfiles de demanda eléctrica y térmica de viviendas típicas del stock nacional es necesario establecer los parámetros de estas que impactan en mayor medida sobre su consumo energético.

Según lo señalado por Kansal & Rajasekar, (2025) los factores principales que gobiernan el confort térmico y uso de energía son seis, dentro de los cuales la envolvente es el factor que está íntimamente relacionado con las características de la vivienda. La envolvente del hogar puede entenderse como todas las estructuras de este que delimitan los espacios de la vivienda considerando materiales de muros, piso, techo, elementos transparentes, divisiones interiores, sombras y aislaciones (Shen & Wang, 2024), por lo que el énfasis de la caracterización de la vivienda se centra en estos.

Los datos de materialidad en construcciones chilenas se encuentran en forma superficial en el Censo de población y vivienda, donde se aprecia que los materiales de construcción más utilizados son la albañilería y tabiquería forrada en ese orden, sin embargo, esto solo entrega información respecto al número de viviendas que presentan un material en específico y no a la distribución de estos a lo largo de los diferentes GSE. Por otro lado, la Caracterización residencial del 2018 presenta estos datos distribuidos por GSE, aunque su metodología es distinta, basándose en una muestra lo suficientemente representativa para extrapolar los resultados al total de la población, de esta forma, al comparar los valores totales de uso de materiales entre estos dos reportes los valores absolutos no coinciden, pero su proporción respecto al total si lo hace, lo que confirma la validez de los datos para realizar la distribución de materiales.

La distribución de los materiales más utilizados a nivel nacional según el Censo 2024 y la Caracterización residencial 2018 se presentan en la Tabla 5 y Tabla 6 respectivamente.

Tabla 5. Distribución de los materiales de muros exteriores según CENSO 2024

Material paredes exteriores	Cantidad	Porcentaje
Hormigón armado	1 499 949	19.57%
Albañilería: Bloque de cemento, ladrillo o piedra	2 754 185	35.93%
Tabique forrado por ambas caras (madera o acero)	1 854 738	24.20%
Tabique sin forro interior (madera u otro)	176 313	2.30%
Adobe, barro, pirca, quinchu u otro material artesanal	106 790	1.39%
Materiales precarios o de desecho: cartón, sacos, trozos de latas o plásticos, etc.	14752	0.19%
No respuesta	1 445	0.02%
No aplica	1 256 294	16.39%
TOTAL	7 664 466	100.00%

Tabla 6. Distribución de muros exteriores según GSE (Caracterización Residencial 2018)

	% De Material De Viviendas Según GSE				
Material	Nacional	C1	C2	C3	D-E
Albañilería/Ladrillos	48.30%	59.00%	53.70%	49.00%	41.60%
Cantidad	3 032 563	506 659	500 443	1 043 516	981 945
Madera/Tabiquería liviana	28.50%	20.10%	19.50%	25.00%	38.30%
Cantidad	1 790 565	172 524	181 412	533 238	903 392
Adobe	1.40%	1.90%	1.70%	1.60%	0.80%
Cantidad	86 279	16 423	16 259	33 741	19 856
Hormigón armado	13.40%	13.90%	17.70%	14.40%	10.60%
Cantidad	842 160	119 135	164 937	307 778	250 309
Hormigón celular	0.90%	0.40%	0.00%	1.10%	1.30%
Cantidad	57 333	3 192	428	24 168	29 544
Bloques de hormigón	7.10%	4.60%	7.30%	8.50%	6.70%
Cantidad	446 400	39 412	67 745	180 830	158 413
Otro	0.30%	0.20%	0.10%	0.30%	0.50%
Cantidad	20 175	1 345	1 259	6 016	11 555
Ns-Nr	0.10%	0.00%	0.00%	0.10%	0.10%
Cantidad	5 000	0	0	2 288	2 713

En cuanto a la superficie y número de dormitorios de las viviendas estos se presentan en la Tabla 7 y Tabla 8 respectivamente.

Tabla 7. Superficie de viviendas por GSE

Superficie [m ²]	Nacional	C1	C2	C3	D-E
Media	85.2	95.4	92.9	85.8	77.9
Mediana	75	91	80	72	70

Tabla 8. Número de dormitorios por vivienda según Censo

Número de dormitorios	Cantidad	Porcentaje
0	36 835	0.48%
1	1 575 168	20.55%
2	2 419 639	31.57%
3	1 785 285	23.29%
4	451 532	5.89%
5	100 036	1.31%
6 o más	38 643	0.50%
No respuesta	1 034	0.01%
No aplica	1 256 294	16.39%
TOTAL	7 664 466	100.00%

Con la información anterior, se proponen 5 tipologías distintas según grupo socioeconómico, donde, al considerar la dificultad de obtener planos de viviendas se decide generar las divisiones de espacios en base a la información recopilada. Así, se decide utilizar un único modelo de vivienda de referencia de 42 m², con dos espacios considerados como habitación y un tercer recinto libre sobre el cual se realiza una división más pequeña el cual representa aproximadamente al 6.6% del total de las viviendas del país (Rücker, 2022) y coincide con la configuración de dormitorios más utilizada según el Censo.

El esquema de la vivienda propuesta se presenta en la Figura 2.

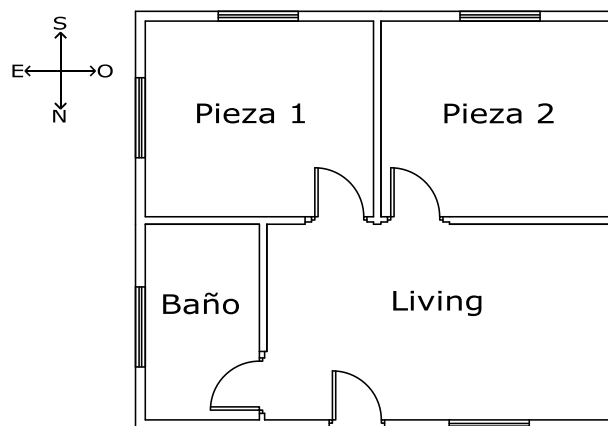


Figura 2. Esquema de la vivienda

Para asociar el grupo socioeconómico al desempeño térmico de las tipologías se utilizan las medidas de superficie presentadas anteriormente y las medidas de eficiencia energética.

Los diferentes valores de superficie se ajustan sobre el esquema inicial de la vivienda mediante las reglas de homotecia para escalar la superficie a los 5 valores presentados en la Tabla 7 mediante la ecuación (3).

$$A_{nueva} = A_{original} \cdot k^2 \quad (3)$$

Cabe destacar que el objetivo de aplicar esta ecuación es conocer las nuevas dimensiones de las habitaciones y las superficies de muros internos y externos que comprenden la envolvente de la vivienda. Posterior a este procedimiento se aproximan los resultados de longitud de muros exteriores a valores comerciales para mayor simplicidad y realismo.

Los valores de superficie interior de las viviendas finales se presentan en la Tabla 9.

Tabla 9. Superficie de las tipologías de vivienda propuestas

Tipología	C1	C2	C3	D-E
Superficie interna [m2]	96.55	94.21	86.58	78.45

De esta forma, sobre los modelos propuestos, se diferencian las medidas de aislación y de espesor para integrar el factor del grupo socioeconómico para los muros exteriores, basando estas configuraciones en el precio promedio de distintas soluciones comunes, considerando que la albañilería es el material común según los datos de la caracterización residencial y la información disponible en el *Índice de Precios para Sistemas de Acondicionamiento* (In-Data, 2025). En la Tabla 10 se presentan los precios de distintas soluciones de aislación por metro cuadrado.

Tabla 10. Costos de materiales de aislación

Costo del material principal de aislación		
Descripción	Unidad	Precio total
Poliuretano expandido (30 mm)	\$/m ²	8611
Colchoneta lana mineral 1 cara (50 mm)	\$/m ²	5245
Plancha Poliestireno Expandido (50 mm)	\$/m ²	5024

Así y en combinación con medidas del listado de soluciones constructivas (LOSC) (MINVU, 2026) se proponen las siguientes configuraciones de muros, donde los espesores y materiales se seleccionaron de forma tal en que la transmitancia térmica no supere el máximo permitido de la zona térmica en estudio más exigente.

Las configuraciones seleccionadas y sus propiedades de transmitancia térmica se presentan en la Tabla 11 y la Tabla 12

Tabla 11. Configuraciones de muros exteriores

GSE	Tipología	Material del muro	Aislante	Nombre en el LOSC
C1	Tipo 1	Albañilería (ladrillo hecho a máquina Santiago 7)	Poliuretano (proyectado)	Muro de albañilería confinada con solución TIFF de poliuretano proyectado
C2	Tipo 2	Albañilería (ladrillo artesanal 300x150x60)	Lana mineral (SATE)	Configuración propia
C3	Tipo 3	Albañilería (ladrillo artesanal 300x150x60)	Poliestireno expandido (EIFS)	1.2.G.B.A1.3 Ladrillo artesanal de 300x150x60mm y sistema EIFS
D	Tipo 4	Albañilería (ladrillo artesanal 300x150x60)	Poliestireno expandido (EIFS)	1.2.G.B.A1.3 Ladrillo artesanal de 300x150x60mm y sistema EIFS
E	Tipo 5	Albañilería (ladrillo artesanal 300x150x60)	Poliestireno expandido (EIFS)	1.2.G.B.A1.3 Ladrillo artesanal de 300x150x60mm y sistema EIFS

Tabla 12. Detalle muros

	Muro			Aislante		
Tipología	Conductividad térmica [W/(mK)]	Espesor [mm]	Resistencia térmica [m²K/W]	Conductividad térmica [W/(mK)]	Espesor [mm]	Resistencia térmica [m²K/W]
Tipo 1	0.42	140	0.33	0.027	80	2.96
Tipo 2	0.68	150	0.22	0.042	80	1.90
Tipo 3	0.68	150	0.22	0.041	75	1.81
Tipo 4	0.68	150	0.22	0.041	55	1.33
Tipo 5	0.68	150	0.22	0.041	55	1.33

Para la aislación del techo, se considera la misma solución en todas las tipologías variando únicamente el espesor de esta según el grupo socioeconómico al que representan. Las soluciones propuestas se aprecian en la Tabla 13 y el detalle de espesores se muestra en la Tabla 14.

Tabla 13. Configuración de techos

GSE	Tipología	Material del Techo	Aislante	Capa Adicional	Transmitancia térmica (U)	Nombre en el LOSC
C1	Tipo 1	Listoneado de madera	Lana de fibra de vidrio	Yeso cartón	0.25	Lana de fibra de vidrio sobre listoneado de cielo
C2	Tipo 2	Listoneado de madera	Lana de fibra de vidrio	Yeso cartón	0.25	Lana de fibra de vidrio sobre listoneado de cielo
C3	Tipo 3	Listoneado de madera	Lana de fibra de vidrio	Yeso cartón	0.25	Lana de fibra de vidrio sobre listoneado de cielo
D	Tipo 4	Listoneado de madera	Lana de fibra de vidrio	Yeso cartón	0.27	Lana de fibra de vidrio sobre listoneado de cielo
E	Tipo 5	Listoneado de madera	Lana de fibra de vidrio	Yeso cartón	0.33	Lana de fibra de vidrio sobre listoneado de cielo

Tabla 14. Detalle espesores

Tipología	Aislante		Adicional	
	Conductividad térmica [W/(mK)]	Espesor [mm]	Conductividad térmica [W/(mK)]	Espesor [mm]
Tipo 1	0.042	200	0.26	10
Tipo 2	0.042	200	0.26	10
Tipo 3	0.042	200	0.26	10
Tipo 4	0.042	180	0.26	10
Tipo 5	0.042	140	0.26	10

Para el piso, el material más utilizado en cada tramo de GSE es algún tipo de losa de hormigón o piso sobre radier por lo que se considerará la misma solución en todas las configuraciones. Los pisos se presentan en la Tabla 15.

Tabla 15. Solución aislante piso

GSE	Tipología	Material del Piso
C1	Tipo 1	Losa de hormigón armado
C2	Tipo 2	Losa de hormigón armado
C3	Tipo 3	Losa de hormigón armado
D	Tipo 4	Losa de hormigón armado
E	Tipo 5	Losa de hormigón armado

Para las divisiones interiores, es necesario considerar que generalmente estas suelen ser de algún tipo de listonado recubierto de una placa de yeso cartón, terciado u OSB, sin embargo, puesto que su impacto en las pérdidas térmicas de la vivienda es menos considerable que la de los muros exteriores se propone la misma configuración en todas las tipologías, así, se debe realizar el cálculo de la transmitancia equivalente puesto que al tratarse de un muro heterogéneo es necesario calcular sus propiedades equivalentes para un tratamiento correcto por parte del software.

Considerando el manual de soluciones constructivas en madera (MINVU, 2020) se utiliza la configuración presentada en la Tabla 16.

Tabla 16. Configuración muros interiores

Revestimiento	Interior	Revestimiento
Yeso cartón	Pie derecho Pino radiata 2x4" (41x90 mm) cada 40 cm y Soleras de Pino radiata 2x4". Travesaños 2x4" cada 40 cm.	Yeso cartón

El cálculo de la resistencia se realiza en dos partes siguiendo el mismo procedimiento presentado para los muros heterogéneos, considerando las secciones sin listón y con listón.

El siguiente elemento de la envolvente por ser considerado son las ventanas, para estas se sigue la recomendación de la OGUC sobre el porcentaje máximo de área del muro que deben ocupar según su transmitancia térmica, como se presenta en la Tabla 17. Nuevamente se utilizaron las condiciones más conservadoras como restricción (zona térmica E).

Tabla 17. Porcentaje de área máxima de la ventana en el muro según su transmitancia

Zona térmica	%Máximo v/s Transmitancia térmica "U" de la ventana	
E	Norte	71%
	O - P	45%
	Sur	31%
	OGT	26%

De esta forma, manteniendo los espesores referenciales de los muros y escalando las tipologías a los valores de superficie que representen cada grupo socioeconómico, se calcula el área de los muros asumiendo una altura de 2.30m (mínima según OGUC) y una orientación de la fachada hacia el norte.

La solución de ventana proveniente del LOSC se presenta en la Tabla 18.

Tabla 18. Solución de ventana

Solución de ventana	U [W/(m ² K)]
Ventana PVC corredera, 2 hojas, 1 fija lateral	2.8

Las áreas máximas de ventana por tipología y orientación de muro se aprecian en la Tabla 19.

Tabla 19. Área de ventana máxima por área de muro y orientación

Muros (Tipología-Orientación)	Área ventana
C1-N	19.02
C1-E	10.68
C1-S	9.27
C1-O	10.68
C2-N	18.81
C2-E	10.54
C2-S	9.16
C2-O	10.54
C3-N	18.09
C3-E	10.07
C3-S	8.81
C3-O	10.07
DE-N	17.19
DE-E	9.6
DE-S	8.38
DE-O	9.6

Para las aguas del techo de las viviendas se consideró una única configuración para las 5 tipologías de vivienda, consistiendo en una lámina de zinc, una cámara ventilada, tablero OSB y finalmente el entramado de cerchas y costaneras que le da la estructura a este componente.

Una descripción de la configuración utilizada se presenta en la Tabla 20.

Tabla 20. Configuración para las aguas del techo

Materiales					
Exterior-Interior					
	Zinc	Distanciadores	Tablero OSB	Cerchas	Costaneras
Material	Zinc	Listones de madera de pino radiata	Tablero OSB	Listones de madera de pino radiata	Listones de madera de pino radiata
Dimensiones	0.35 [mm] 85.1x366[cm]	41x19 [mm]	9.5 [mm] 122x144 [cm]	41x90 [mm]	41x90 [mm]
Configuración	Lámina cubriendo el techo	Distanciados 40 cm	Tablero sobre costaneras	Distanciados 60 cm	Distanciados 40 cm

2.3.2 Definición de edificios de departamentos

Para la geometría y configuración constructiva de los 2 edificios a modelar se utiliza la información proveniente de una memoria de título (Madrid, 2010), la cual consiste en un edificio de 12 pisos con 6 viviendas por piso.

La configuración general de un piso del edificio se muestra en la Figura 3.

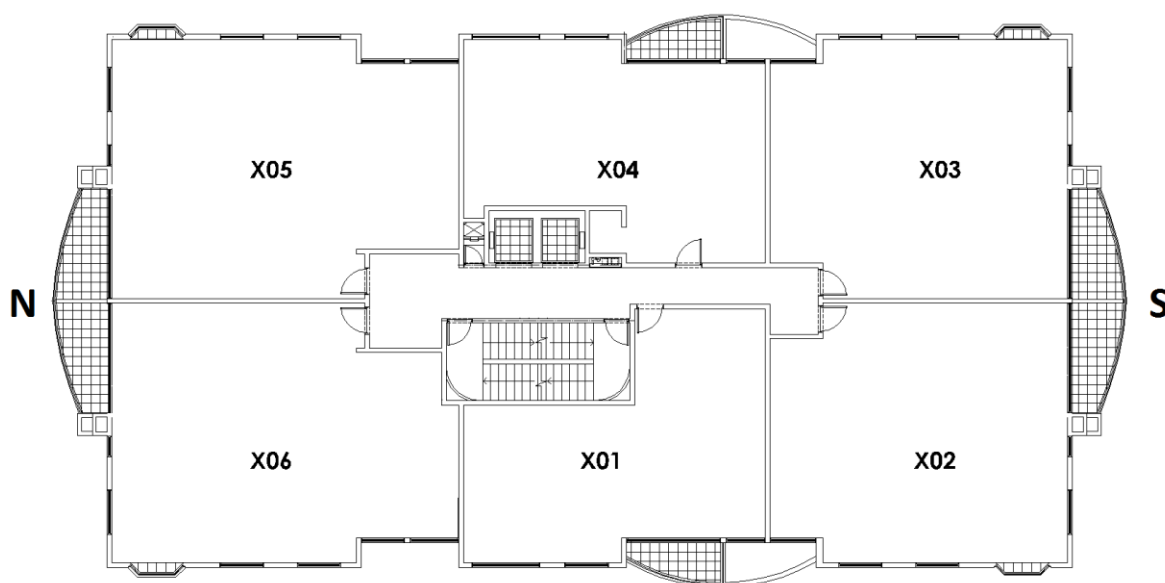


Figura 3. Configuración de un piso del departamento (Madrid, 2010)

Las características de la envolvente referida a los muros es la misma para cada departamento de la vivienda, esta se muestra en la Figura 4 y sus dimensiones se detallan en la Tabla 21.

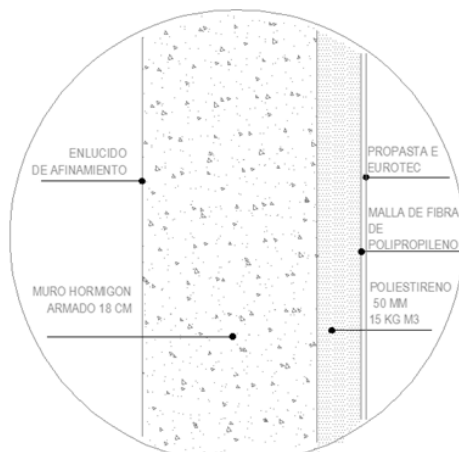


Figura 4. Detalle de un muro exterior del departamento (Madrid, 2010)

Tabla 21. Configuración de los muros exteriores de los departamentos

Elemento	Espesor [m]	Conductividad [W/(mK)]
Muro de hormigón armado	0.18	1.63
Enlucido de yeso	0.005	0.44
Poliestireno expandido	0.05	0.041

La información proporcionada por la memoria de título entrega detalles constructivos sobre los departamentos en las posiciones X01, X03 y X05, por lo cual se considerará que las posiciones restantes en el edificio a modelar corresponden a simetrías de estos departamentos.

El plano del departamento en la posición X01, se muestra en la Figura 5.



Figura 5. Plano de la figura X01 (Madrid, 2010)

Los datos generales del departamento X01 se resumen en la Tabla 22.

Tabla 22. Datos departamento X01

Área [m ²]	Altura [m]	Volumen [m ³]
70.95	2.58	183.1

El plano del departamento en la posición X03 se muestra en la Figura 6.

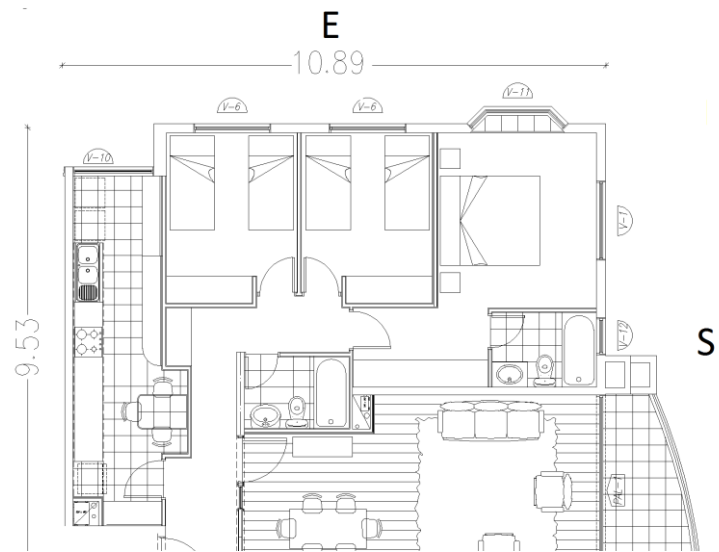


Figura 6. Plano del departamento X03

Los datos del departamento X03 se muestran en la Tabla 23.

Tabla 23. Datos departamento X03

Área [m ²]	Altura [m]	Volumen [m ³]
92.9	2.58	239.6

Los planos del departamento X05 se aprecian en la Figura 7.

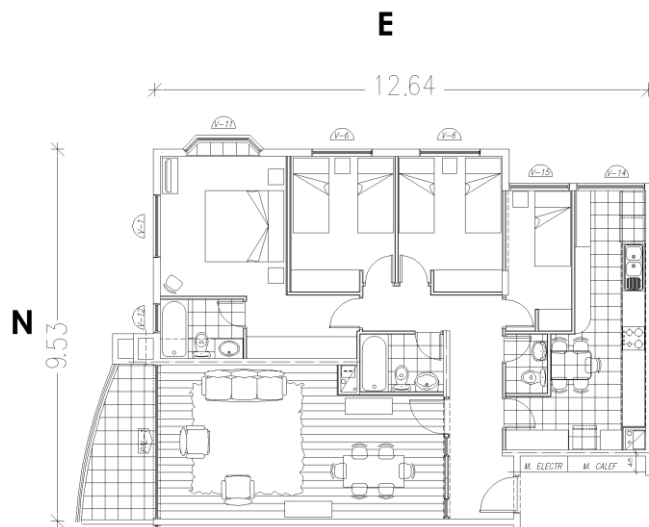


Figura 7. Plano del departamento X05 (Madrid, 2010)

Las dimensiones del departamento X05 se presentan en la Tabla 24.

Tabla 24. Datos departamento X05.

Área [m ²]	Altura [m]	Volumen [m ³]
104	2.58	268.4

En cuanto a las ventanas los departamentos presentan dos tipos diferentes, ventanas termo panel para la mayor parte de los muros y de vidrio opaco para los baños. El detalle de las ventanas se presenta en la Tabla 25.

Tabla 25. Ventanas de los departamentos

				Depto 503	Depto 505	Depto 1201
Ventana	Ancho [m]	Alto [m]	Área [m2]	Cantidad	Cantidad	Cantidad
V1	1.6	1.6	2.56	1	1	-
V6	1.55	1.6	2.48	2	2	1
V8	2.4	1.6	3.84	-	-	1
V9	1.4	1.6	2.24	-	-	1
V10	1.63	1.6	2.61	1	-	-
V11	2.19	1.9	4.17	1	1	-
V12	0.75	0.75	0.56	1	1	-
V14	1.73	1.6	2.77	-	1	-
V15	1.53	1.6	2.44	-	1	-
Pal-1	3.9	2.1	8.06	1	1	1

El procedimiento de comparación a realizar se basa en comparar los perfiles de consumo energético para un edificio de mediana altura y uno de gran altura. Se definió utilizar modelos de 5 y 12 pisos respectivamente.

2.4 Ganancias internas y consumo de ACS

Es necesario incluir en la simulación del comportamiento de las viviendas las ganancias térmicas producidas en su interior producto de los equipos eléctricos y la presencia de las personas, además del consumo térmico debido al uso de agua caliente sanitaria. Estos valores deben ser implementados al programa por medio de un archivo externo que represente los valores de energía asociados en intervalos de tiempo horarios puesto que esta es la resolución del estudio.

Para tales objetivos se procede en primer lugar a la elaboración de un perfil de ocupación, puesto que tanto las ganancias térmicas debidas al uso de equipos como el consumo de agua caliente sanitaria depende en gran medida del comportamiento de los usuarios y de su presencia al interior de la vivienda. El perfil de ocupación se realiza considerando información proveniente de encuestas nacionales y estudios y estándares internacionales.

Luego, se deben definir los equipos que se considerarán para la simulación, para ello se propone priorizar los que predominen en los hogares nacionales según los datos entregados por la caracterización residencial. Con los equipos definidos, se utilizan

estándares internacionales con información experimental respecto a los niveles de ganancia y factores de uso típicos de los equipos considerados.

Finalmente, para el consumo por ACS se utiliza un procedimiento basado en la generación de perfiles de uso y datos de manuales de calificación energética nacionales respecto al consumo promedio de agua por persona y a la temperatura de la red de agua para cada mes permitiendo incluir la variación estacional del consumo de energía para calentar agua.

2.4.1 Perfiles de ocupación

Los perfiles de ocupación representan la distribución horaria durante la cual habrá personas al interior de la vivienda, a su vez, es importante definir claramente cuál será el número de estas.

A partir de datos entregados por el Censo 2024 el número de personas por hogar alcanza las 2.8 por lo cual se considerarán 3 personas por cada vivienda estudiada (INE, 2025b).

En cuanto al comportamiento de estas se considerarán horarios laborales, respecto a estos se conoce que cerca del 28% de los encuestados señala trabajar entre 31 y 43 horas semanales, además el tiempo promedio en el trabajo es de aproximadamente 9 horas por día (INE, 2025a).

Por otro lado, se deciden considerar los tiempos de traslado, estos varían según localización. Para las regiones consideradas en el estudio los tiempos de traslado promedio en un día tipo se presentan en Tabla 26.

Tabla 26. Tiempos de traslado promedio

Región	Tiempo de traslado promedio diario [h]
Valparaíso	1.15
Metropolitana	1.45
Bio Bio	1.06
Promedio	1.2

El tiempo de traslado es sumado al horario laboral y descontado del tiempo de ocupación en la vivienda.

De esta forma el horario de ocupación de la vivienda se define como se muestra en la Tabla 27.

Tabla 27. Horarios de ocupación de la vivienda

Hora	Ocupación
00:00-07:00	1
07:00-18:00	0
18:00-24:00	1

2.4.2 Equipos considerados en la vivienda

Previo al cálculo de las ganancias internas de la vivienda por equipos es necesario definir cuáles son los considerados y sus características. Para incluir los dispositivos más comunes en los hogares chilenos se consideraron todos aquellos que se encuentren presentes en 90% o más de los hogares encuestados en la Caracterización Residencial 2018.

En cuanto a sus características se utiliza la información proporcionada por “ASHRAE Handbook Fundamentals (2021)” la cual es una de las principales referencias utilizadas a nivel mundial en el área de la calefacción, ventilación y acondicionamiento. Los equipos considerados y sus características se presentan en la Tabla 28.

Tabla 28. Equipos considerados para el cálculo de ganancias internas

Equipo	Potencia nominal [W]	Potencia en espera [W]	Razón Radiativa [-]	Razón convectiva [-]	Factor de uso	Ganancia máxima [W]
Cocina GLP (3 quemadores encendidos)	15 005	4 513	0.41	0.59	0.3	-
Horno GLP	4 865	1 172	0.25	0.75	0.24	-
Refrigerador	-	-	-	-	-	430
Cargador de celular	-	-	-	-	-	5
Tv 55" o menos (Se consideró monitor LED de 1397mm)	-	-	-	-	-	50

Luego, se definen los horarios de uso de estos elementos basado en el perfil de ocupación presentado anteriormente. De esta forma, para la cocina y el horno se conoce desde la ENUT 2023 que las personas utilizan aproximadamente una hora de su día para la preparación de alimentos en un día tipo, por lo que se reparte esta hora considerando mañana y tarde al entrar y salir del trabajo.

En el caso del refrigerador se conoce la ganancia máxima de calor que este produce, sin embargo, el refrigerador tiene un comportamiento de encendido y apagado independiente de la ocupación de las personas por lo que se considera una actividad constante a la mitad de la potencia máxima.

El cargador de celular aporta significativamente menos ganancias que los demás equipos, sin embargo, se encuentra presente casi en el 99% de viviendas por lo que igualmente fue considerado. Este dispositivo se modela considerándolo activo en las horas de ocupancia de las personas puesto que estas buscan cargar la batería de su dispositivo antes de abandonar el hogar, se consideró un cargador por persona.

En cuanto al televisor no se encontró información explícita desde manuales técnicos utilizados como base para modelado energético, por lo que sus ganancias se consideran equivalentes a las de un monitor LED de las mismas dimensiones. Desde la ENUT se desprende que las personas destinan cerca de 1 hora 47 minutos de su día viendo televisión, por lo que se decide repartir este tiempo en un horario posterior al trabajo.

2.4.3 Consumo de agua caliente sanitaria

Si bien el software TRNSYS permite realizar la simulación de los consumos energéticos eléctrico y térmico de edificios considerando las propiedades físicas de los componentes de su envolvente y las ganancias derivadas de la ocupación de la vivienda no simula el consumo energético derivado del calentamiento del agua sanitaria por lo que este debe ser calculado en forma externa y ser añadido posteriormente a los perfiles entregados por el programa.

En primer lugar, es necesario definir el comportamiento horario del consumo de agua caliente sanitaria, esto es llevado a cabo mediante el estudio de investigaciones que han buscado caracterizar este comportamiento mediante encuestas o toma de muestras de consumo, en la Figura 8 se presentan los perfiles de diferentes países europeos obtenidos de un estudio de la Agencia Internacional de energía.

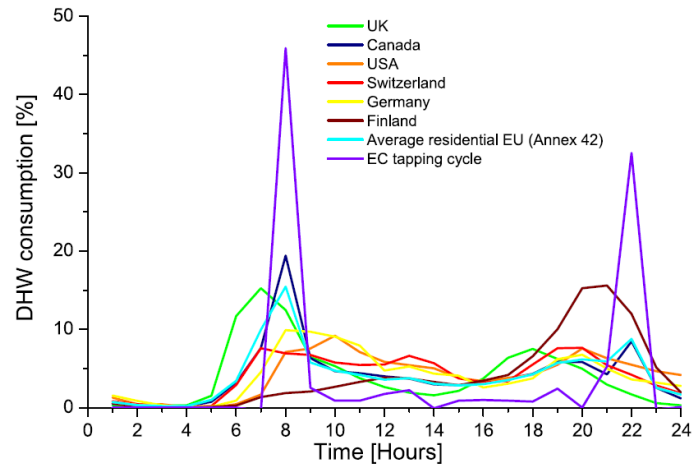


Figura 8. Perfiles de consumo de ACS para distintos países (Fuentes et al., 2018)

La principal conclusión a partir de este perfil es el notorio aumento en el consumo en horarios matutinos y nocturnos y una disminución en el consumo en la zona intermedia, derivado de la ocupación de las viviendas y los comportamientos típicos al iniciar y finalizar el día.

A partir de esta información y en combinación con el perfil de ocupación definido se establece un perfil de consumo apropiado para el estudio actual, este perfil se describe a través de los factores de consumo en la Tabla 29.

Tabla 29. Factores de consumo horario de ACS

Hora	Factor de consumo (Día de semana) [-]	Factor de consumo (Fin de semana) [-]
1	0	0.15
2	0	0.1
3	0	0.0029
4	0	0.0029
5	0	0.0029
6	0	0.0029
7	0.2	0.0029
8	0.025	0.0029
9	0.025	0.2
10	0	0.0029
11	0	0.0029
12	0	0.0029
13	0	0.0029
14	0	0.0029
15	0	0.0029
16	0	0.0029
17	0	0.0029
18	0	0.0029
19	0.1	0.0029
20	0.1	0.0029
21	0.15	0.1
22	0.15	0.1
23	0.15	0.15
24	0.1	0.15

Con los porcentajes de consumo definidos se procede al cálculo del consumo de agua y de energía. El procedimiento consistió en estimar el consumo promedio diario por persona, este se puede encontrar en manuales técnicos, por ejemplo, en el caso de Chile se tiene el manual de calificación energética que establece un consumo de 40 L/día por persona (CES, 2022), este se calcula por el número de habitantes y se tiene que cada vivienda a modelar 120 litros diarios. Luego, gracias al perfil de consumo, se conoce que cantidad de agua se consume en forma horaria.

Para el cálculo de la energía derivada del calentamiento del agua se considera la temperatura de uso y la temperatura de la red de agua. La temperatura de consumo se estima como 60° C para incluir los casos de estanques de agua en los que se recomienda esta temperatura para prevenir la bacteria conocida como Legionella, mientras que la temperatura de la red se encuentra en forma de promedios mensuales para las comunas en estudio en la Tabla 30 (CES, 2022).

Tabla 30. Temperatura promedio mensual de la red de agua en °C

Comuna	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Concepción	14.2	13.2	13.2	12.2	11.2	10.7	10.2	10.7	11.2	12	12.7	13.9
Santiago	17.5	16	16	14	12	11	11	11.7	12.5	14.4	15.5	17
Valparaíso	19.1	18.1	18.1	16.1	14.1	13.1	12.6	13.6	14.6	16.1	17.6	19.5

Finalmente, el cálculo de la energía por hora se lleva a cabo utilizando la ecuación (4).

$$Q = V_{ACS} \cdot \rho_{agua} \cdot C_{p,agua} \cdot (T_{consumo} - T_{red}) \quad (4)$$

2.4.4 Ventilación e infiltraciones

Es necesario considerar el efecto de la ventilación e infiltraciones en los edificios simulados puesto que impactan sobre la temperatura interna del espacio.

La ventilación se entiende como el acto voluntario de permitir el ingreso de aire fresco a la vivienda, esta puede ser realizada de forma manual abriendo puertas o ventanas o automatizada utilizando ventiladores para tales propósitos. Por otro lado, las infiltraciones corresponden a los flujos de aire que ingresan a la vivienda en forma involuntaria e incontrolable debido a características de la envolvente de la edificación, como lo son el deficiente sellado en ventanas, rendijas y orificios entre otros.

Si bien la ventilación y la infiltración pueden ser consideradas negativas para el confort térmico de la vivienda ya que el aire exterior suele disminuir la temperatura del recinto, estos fenómenos son necesarios desde el punto de vista del acondicionamiento, puesto que en una vivienda la presencia de personas e incluso equipos contamina el aire de gases como el CO₂, por lo que disminuir la concentración de estos es fundamental.

A nivel normativo en Chile se establecen máximos de infiltración en viviendas con el fin de controlar el impacto térmico sobre estas, en el caso de la ventilación se recomiendan valores típicos dependiendo la finalidad del recinto (residencias, hospitales, edificios educativos, etc.) y valores de calidad de aire aceptable en edificios residenciales de baja altura, pero no presentan un modelo de cálculo claro para definir el volumen o el número de cambios de aire por hora.

De esta forma, como datos de ingreso para la simulación se decide calcular el nivel de ventilación de la vivienda siguiendo el método propuesto por “*Ashrae handbook fundamentals (2021)*” que considera el valor mínimo de ventilación para asegurar una calidad de aire interior aceptable teniendo en cuenta las características superficiales de la vivienda y el número de habitaciones. El cálculo se realiza a través de la ecuación (5).

$$\dot{V}_{total} = 0.15(A_{superficie}) + 3.5(N^{\circ}_{hab} + 1) \quad (5)$$

Con el volumen de aire necesario para intercambio basta dividir por el volumen del edificio para encontrar la tasa de renovaciones por hora. Para simplicidad, este valor es ingresado

al software de simulación como infiltración de aire y se desprecia la necesidad de ventilación.

2.4.5 Ganancias por iluminación y personas

Entre las ganancias internas también se deben considerar aquellas producidas por los equipos utilizados para iluminar los recintos y la que se debe al metabolismo de las personas al estar en un lugar. Estas pérdidas pueden ser calculadas directamente por el software, pero se deben definir algunos parámetros asociados.

En el caso de las ganancias por ocupantes esta puede ser calculada por TRNSYS utilizando la norma ISO7730 o VDI2078, en este sentido, la primera define valores de ganancia de calor sensible y latente por persona dependiendo de la actividad que esté realizando, ya que no es lo mismo el calor desprendido por una persona en reposo que por una ejercitándose. La segunda norma es una directriz alemana ampliamente utilizada en Europa para modelado de cargas en edificios y en el software además de indicar el tipo de actividad se debe indicar la temperatura de la habitación, en este caso decide usarse el enfoque ISO puesto que modela de forma más detallada las ganancias por actividad y no solicita seleccionar una temperatura para el cálculo.

Así, puesto que el perfil de ocupación se hizo pensando en días laborales, se escoge un estado de los ocupantes tranquilo o en descanso en el horario de ocupación definido anteriormente.

En el caso de las ganancias por iluminación se debe detallar el área de piso asociada a esta y el nivel de ganancia de calor que depende de la ampolla o sistema seleccionado, la fracción convectiva de este, la estrategia de control (el nivel de brillo, por ejemplo) y el tiempo de encendido.

Desde la caracterización residencial se conoce que los diferentes GSE utilizan una variedad de tecnologías diferentes para iluminación, sin embargo, la predominante en todas ellas es el uso de ampollas eficientes, por lo que se considera esta tecnología.

En cuanto a tiempo de iluminación se considera que las luces estarán encendidas durante parte de la noche y en la mañana como se muestra en la Tabla 31.

Tabla 31. Perfil de uso de iluminación

Hora	Estado de iluminación
18:00-22:00	Encendido
22:00-06:00	Apagado
06:00-07:00	Encendido
07:00-18:00	Apagado

2.5 Consumo eléctrico

El consumo eléctrico de los equipos y la presencia de estos para los distintos GSE fue obtenido utilizando valores de consumo referenciales desde la Caracterización Residencial 2018. De esta forma se consideró una lista de equipos básicos presentes en más del 90% de los hogares chilenos como base sobre la cual se agregaron equipos si es que estos se encontraron en más del 80% de las casas del GSE estudiado.

Desde la Caracterización Residencial se extrae el consumo promedio anual de los equipos mientras que su distribución horaria fue aproximada utilizando los perfiles propuestos por Sánchez-López et al. (2022).

Para las viviendas del edificio se considera el valor de consumo basado en la comparación de superficie útil de estos y las viviendas

2.6 Implementación en TRNSYS

La implementación en TRNSYS fue llevada a cabo en dos etapas, la primera, consistió en ingresar y modelar las viviendas y departamentos en el complemento TRNBuild mientras que la segunda consistió en utilizar TRNSYS Studio para preparar las condiciones de simulación y obtener los resultados en el formato deseado.

Para la implementación en TRNBuild se tuvieron en cuenta los factores considerados en los puntos anteriores, las viviendas fueron analizadas utilizando dos zonas para distinguir las temperaturas del interior de la casa y del entretecho. Así, se asignaron las respectivas condiciones de infiltración, calefacción y ganancias internas a los nodos interiores de las viviendas.

Para los departamentos se definió un nodo por cada vivienda unifamiliar y un nodo extra para el pasillo, esta configuración se mantuvo para todos los pisos.

En TRNBuild además se ingresaron los materiales de construcción para los diferentes elementos de la envolvente y se generaron las paredes correspondientes.

Una vez los modelos de vivienda fueron modelados se utiliza la interfaz de TRNSYS Studio para incorporar los distintos elementos a considerar durante la simulación, de esta forma se hace uso de un lector meteorológico, estos datos se enlazan al Type 56, el cual es el módulo que permite incorporar viviendas modeladas desde TRNBuild.

Los datos de radiación solar sobre los paramentos de las viviendas son calculados por el Type 16 consistente en un procesador de radiación que permite realizar el cálculo para superficies con diferentes orientaciones e inclinaciones, los datos de radiación también son conectados al Type 56, se conectan en este punto las ganancias térmicas horarias radiativas y convectivas producto del uso de equipos y se utiliza un bloque de ecuación para ingresar la temperatura del suelo, la cual fue considerada como constante e igual a la temperatura media del aire en la ubicación estudiada.

Para la temperatura de cielo esta es calculada por medio del Type 69 utilizando como entrada los datos meteorológicos y las propiedades psicrométricas, obtenidas desde el

Type 33. Finalmente se agregan elementos adicionales para la presentación de los datos como gráficas y conversiones de unidades.

3 Resultados

3.1 Perfiles de energía térmica

La presentación de los resultados de consumo de energía térmica es separada en primer lugar, por tipología de vivienda y zona térmica para luego comparar sus consumos por unidad de superficie y evaluar el comportamiento de estos.

Los consumos térmicos a lo largo de un año tipo de las tipologías de viviendas para las zonas de Concepción, Santiago y Valparaíso se presentan en la Figura 9, Figura 10 y Figura 11 respectivamente.

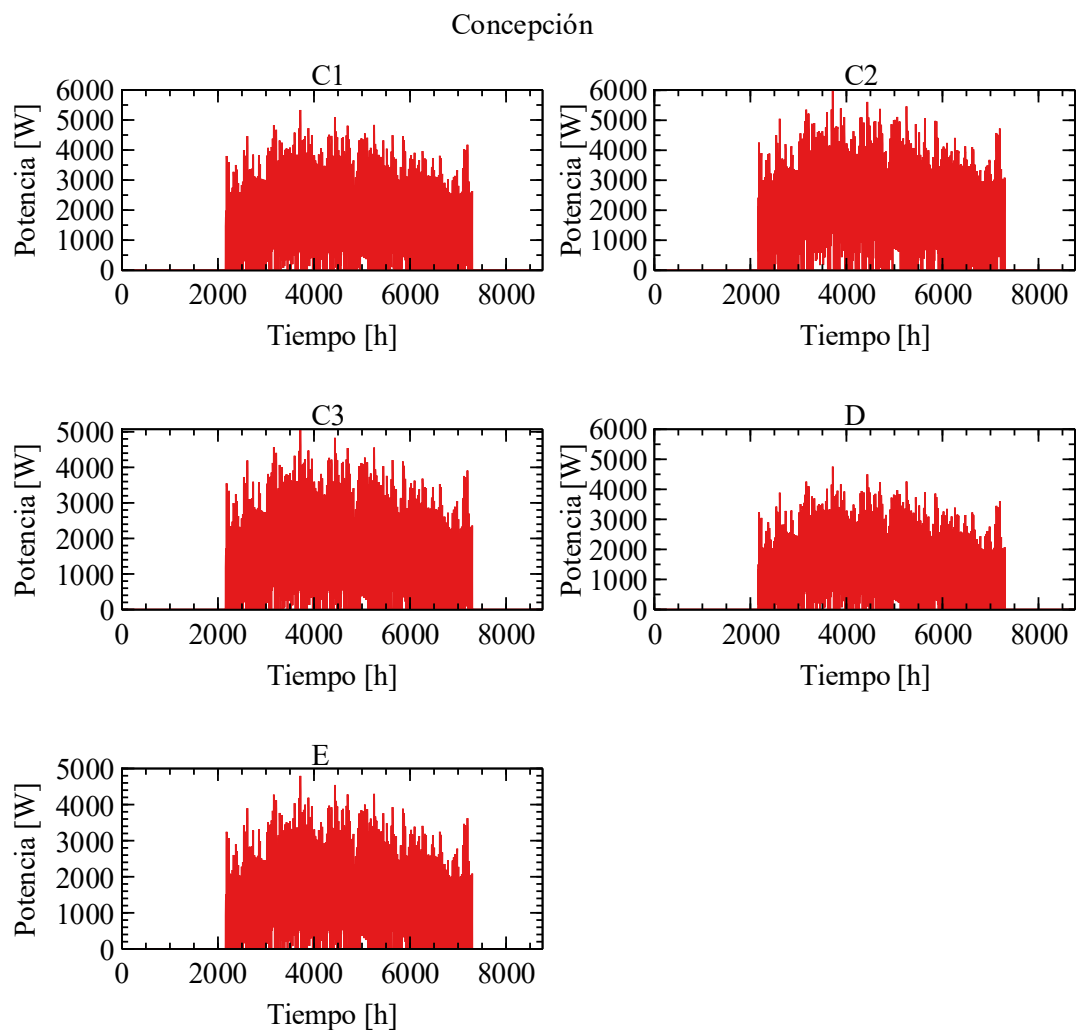


Figura 9. Consumos térmicos de las tipologías de vivienda para Concepción

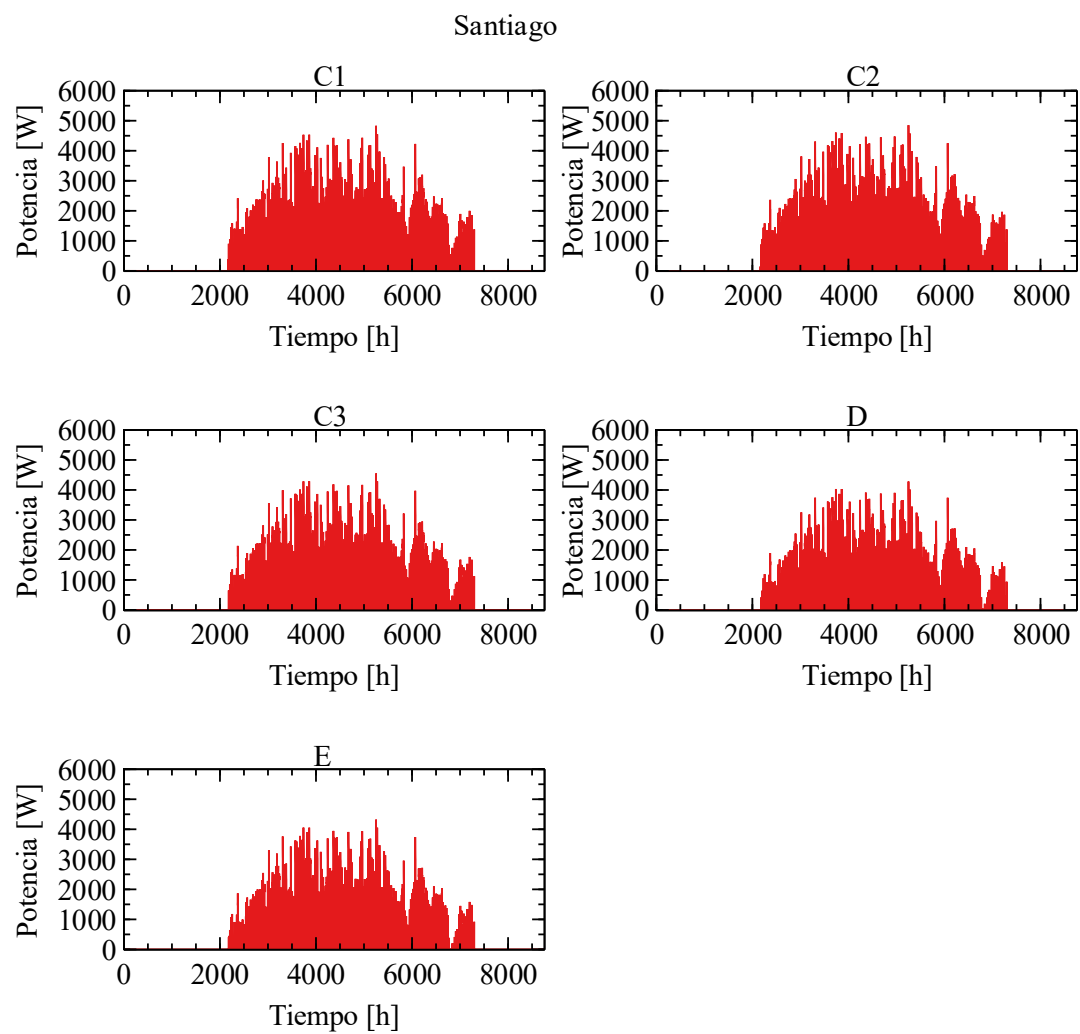


Figura 10. Consumos térmicos de las tipologías de vivienda para Santiago

Valparaíso

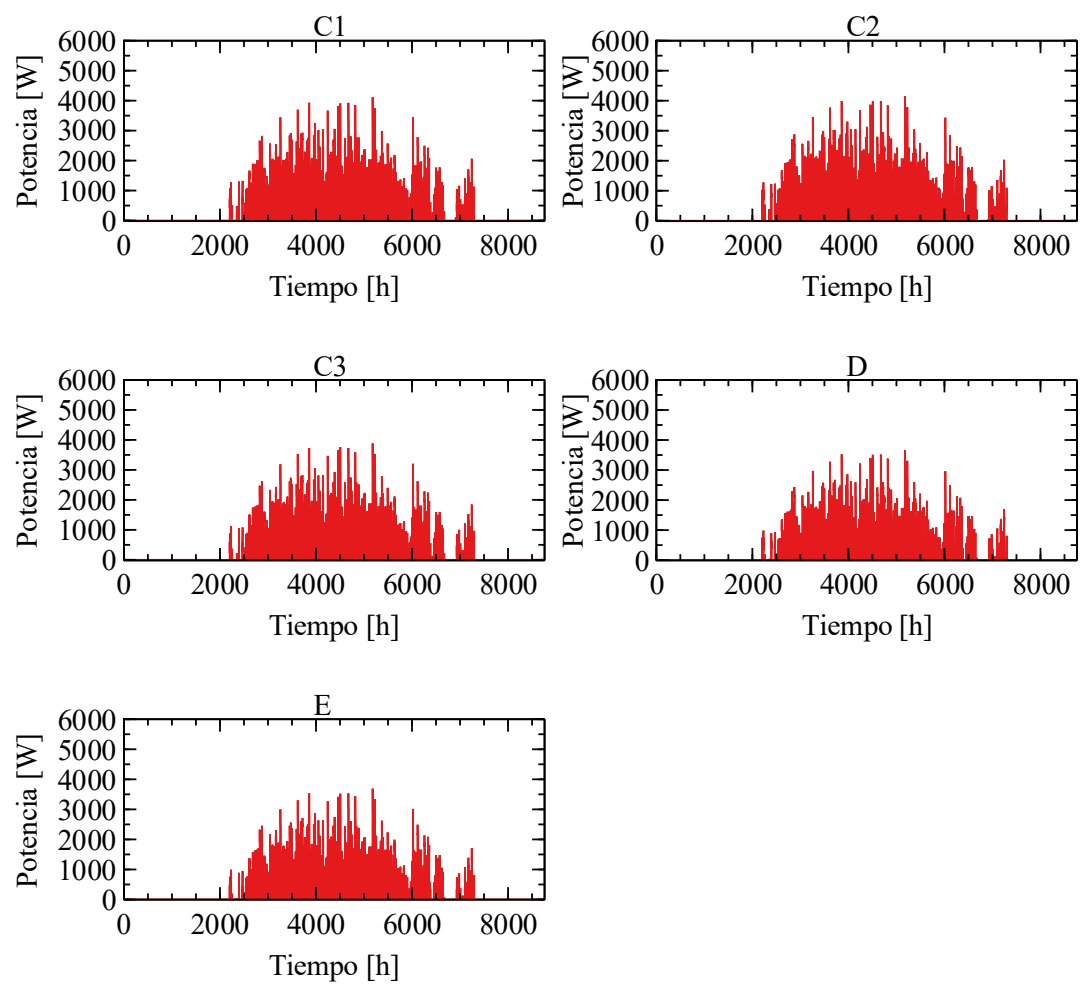


Figura 11. Consumos térmicos de las tipologías de vivienda para Valparaíso

La comparación de consumos por unidad de superficie se presenta en la Figura 12.

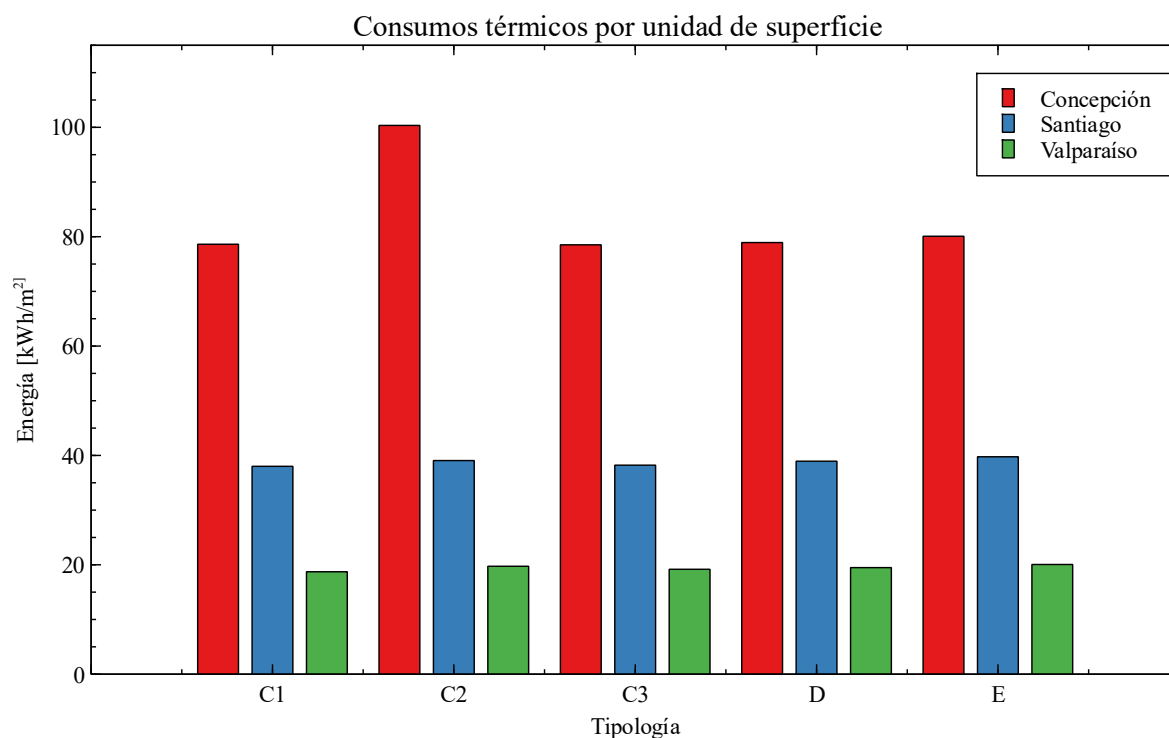


Figura 12. Consumos por unidad de superficie

En la Tabla 32 se presentan los consumos térmicos absolutos y por unidad de superficie.

Tabla 32. Consumos térmicos para las tipologías de viviendas

Concepción			Santiago			Valparaíso		
Tipo	kWh m ⁻²	kWh	Tipo	kWh m ⁻²	kWh	Tipo	kWh m ⁻²	kWh
C1	78.62	7590.84	C1	38.01	3669.77	C1	18.73	1808.33
C2	100.35	9453.83	C2	39.06	3680.14	C2	19.73	1859.01
C3	78.52	6797.98	C3	38.22	3309.13	C3	19.18	1660.84
D	78.93	6191.98	D	38.95	3055.24	D	19.49	1528.92
E	80.08	6282.46	E	39.76	3118.94	E	20.06	1573.64

Los resultados muestran un aumento progresivo de los valores de consumo energético térmico a medida que se acercan a las 4500 horas y un decrecimiento de estos valores hacia el fin del año. En cuanto a la comparación por tipologías es posible notar que los valores de consumo total a lo largo de las tipologías siguen en general un orden decreciente exceptuando las viviendas C2 y E que rompen con este.

La comparación por unidad de superficie demuestra un mayor consumo para todas las tipologías en la zona de Concepción seguida por Santiago y finalmente Valparaíso. Además, el consumo por unidad de superficie aumenta progresivamente desde las tipologías C1 a E para Santiago y Valparaíso destacándose el aumento de las tipologías C2 que nuevamente

destaca en ambas ubicaciones junto a la tipología D en el caso de Santiago. En el caso de Concepción el consumo por unidad de superficie es significativamente mas alto para C2, mientras que para el resto de las tipologías la variación es pequeña hasta llegar a la tipología E.

Para los edificios se presentan los consumos para el Piso 1 en las ubicaciones de Concepción, Santiago y Valparaíso en la Figura 13, Figura 14 y Figura 15 respectivamente.

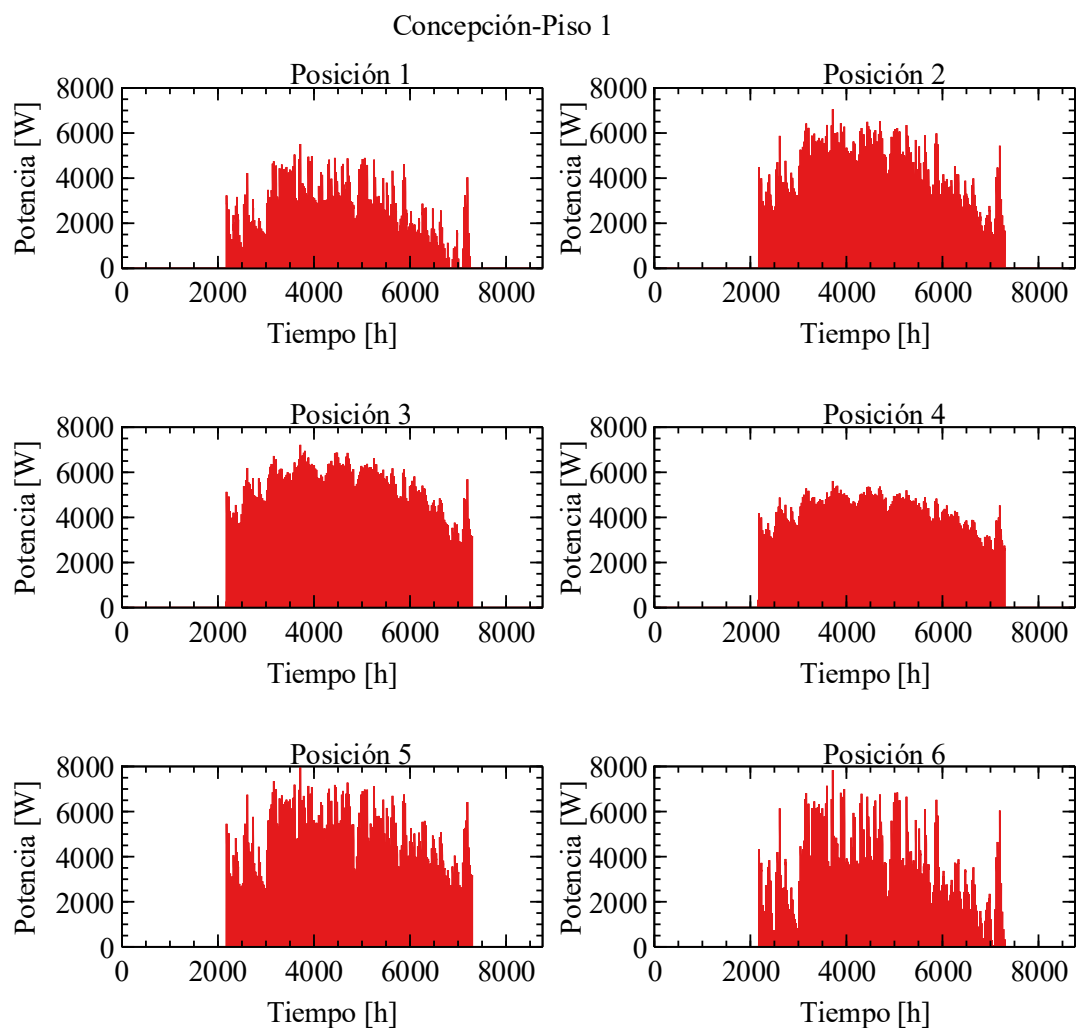


Figura 13. Consumos térmicos para el piso 1 en Concepción

Santiago-Piso 1

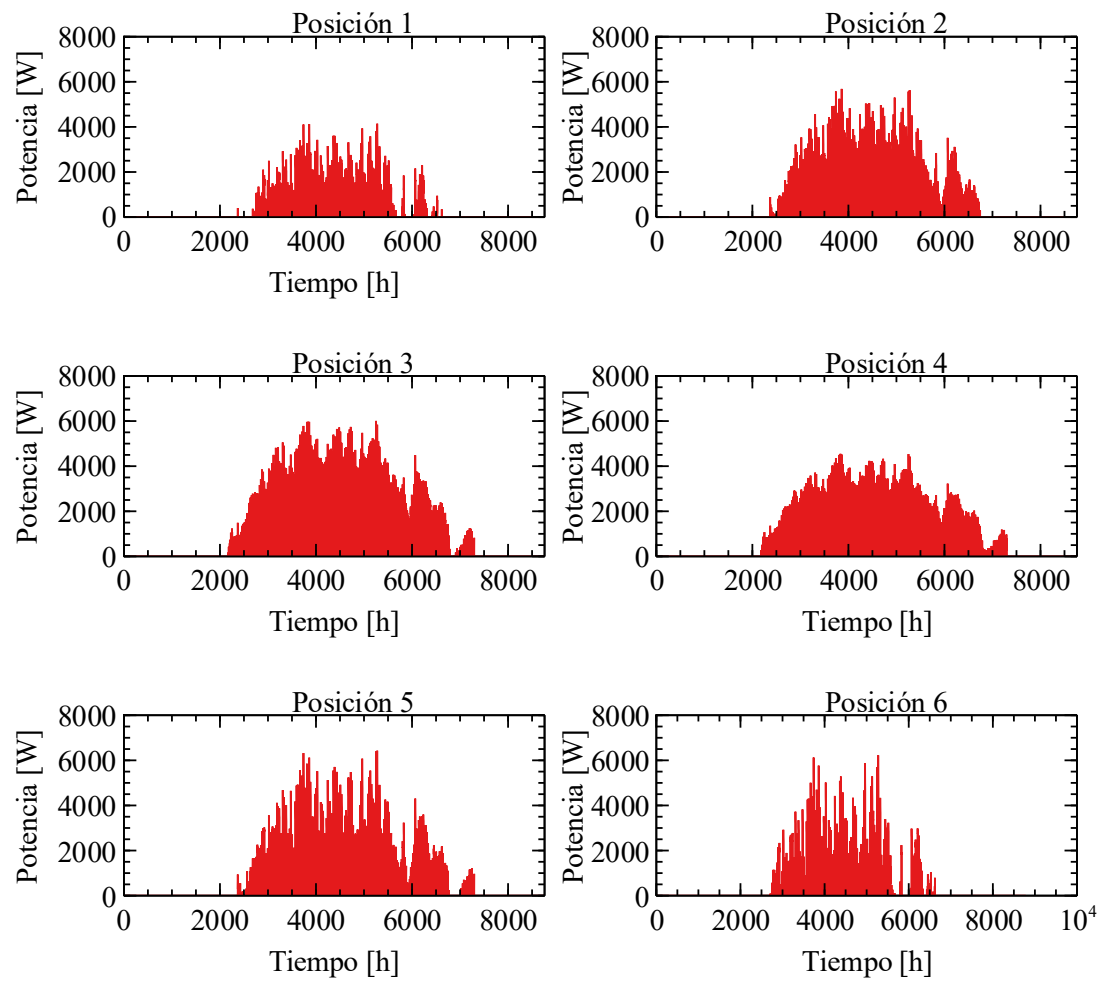


Figura 14. Consumos térmicos para el piso 1 en Santiago

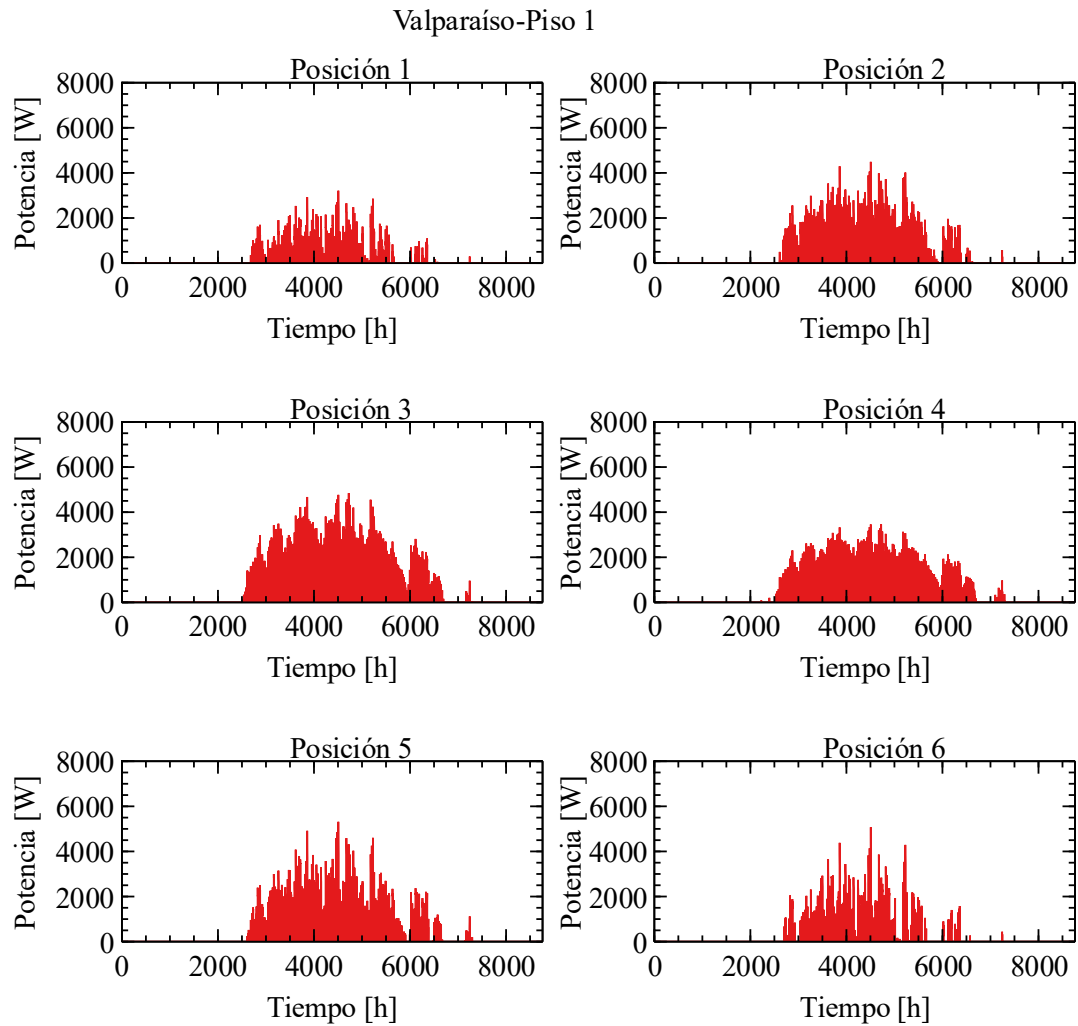


Figura 15. Consumos térmicos para el piso 1 en Valparaíso

Los resultados exponen en primer lugar un mayor consumo de energía de las posiciones 2, 3 y 5 (Suroeste, Sureste y Noreste) en comparación al resto, además, se presenta un consumo inferior en la zona de Valparaíso seguida por Santiago y Concepción.

Los consumos térmicos para un piso intermedio del edificio en Concepción, Santiago y Valparaíso se presentan en la Figura 16, Figura 17 y Figura 18 respectivamente.

Concepción-Piso Intermedio

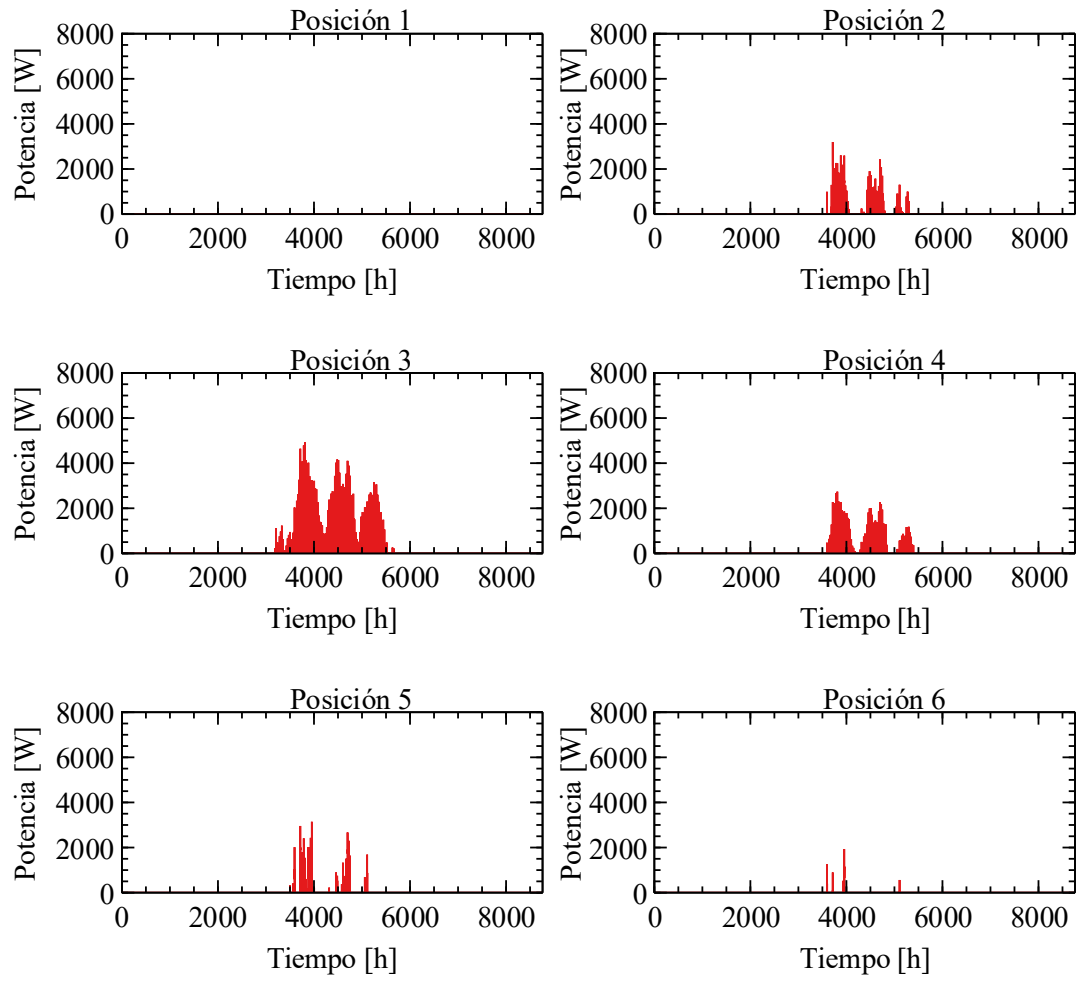


Figura 16. Consumos térmicos piso intermedio en Concepción

Santiago-Piso Intermedio

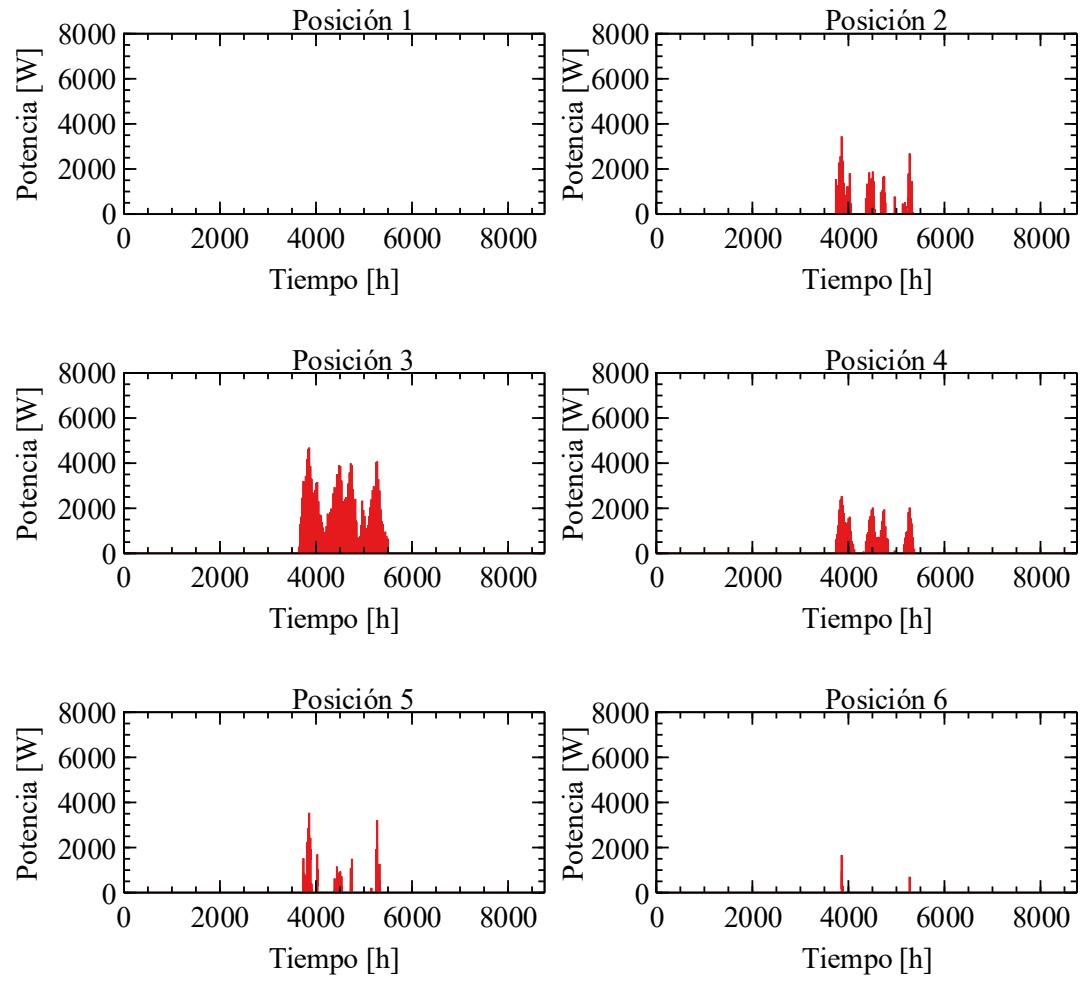


Figura 17. Consumos térmicos piso intermedio en Santiago

Valparaíso-Piso Intermedio

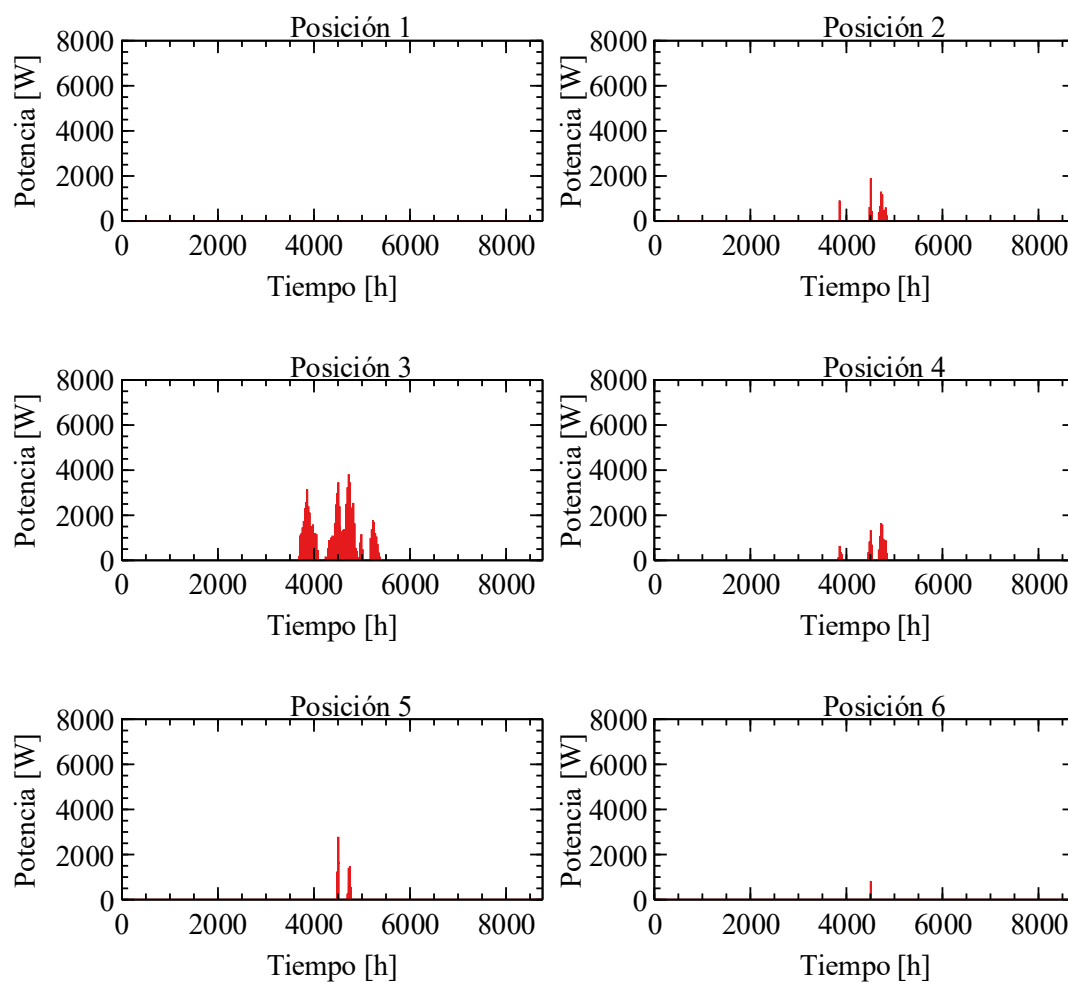


Figura 18. Consumos térmicos piso intermedio en Valparaíso

Los resultados continúan la tendencia de un menor consumo en Valparaíso y Santiago a comparación de Concepción, al igual que el consumo sostenido de energía a mitad de año de las viviendas en las posiciones 2, 3 y 5.

Los consumos térmicos del piso superior de departamentos ubicados en Concepción, Santiago y Valparaíso se presentan en la Figura 19, Figura 20 y Figura 21 respectivamente.

Concepción-Piso Superior

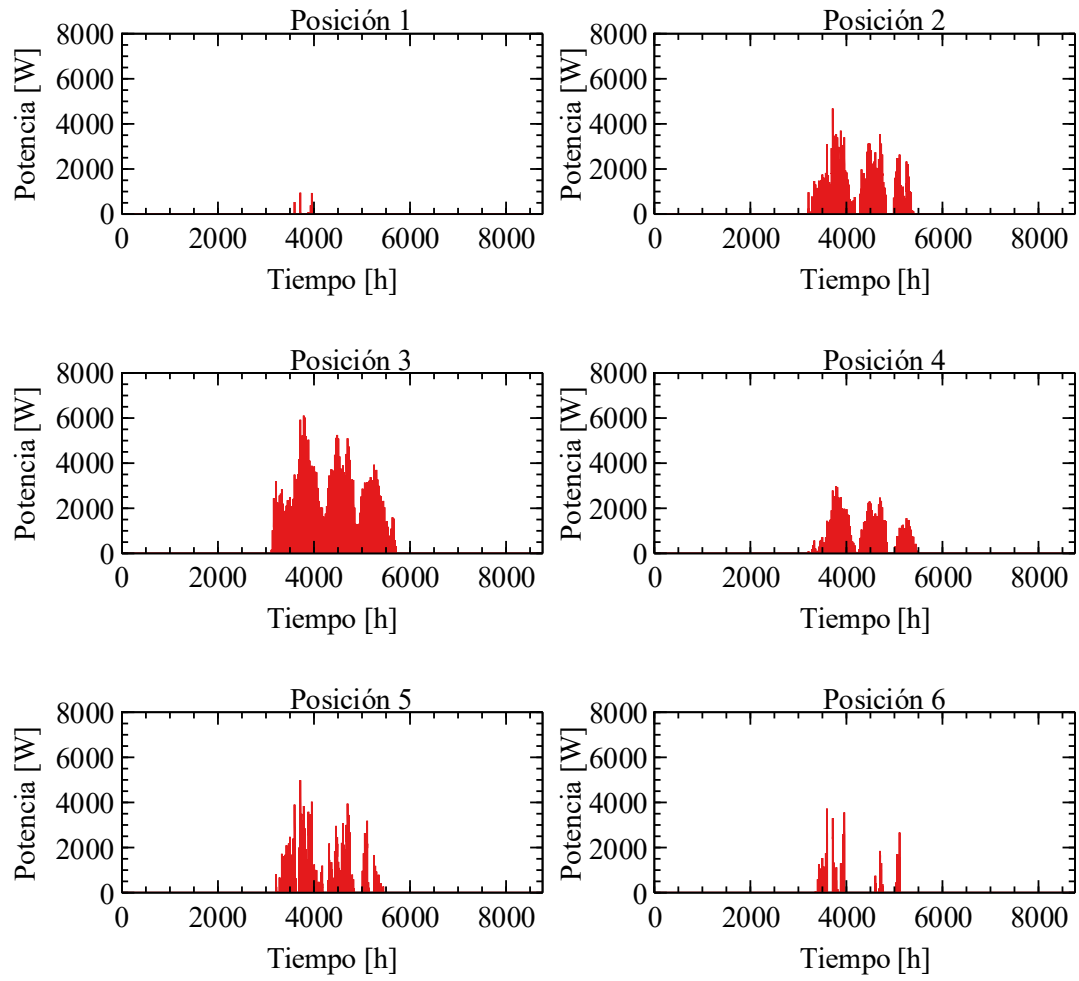


Figura 19. Consumos térmicos piso superior en Concepción

Santiago-Piso Superior

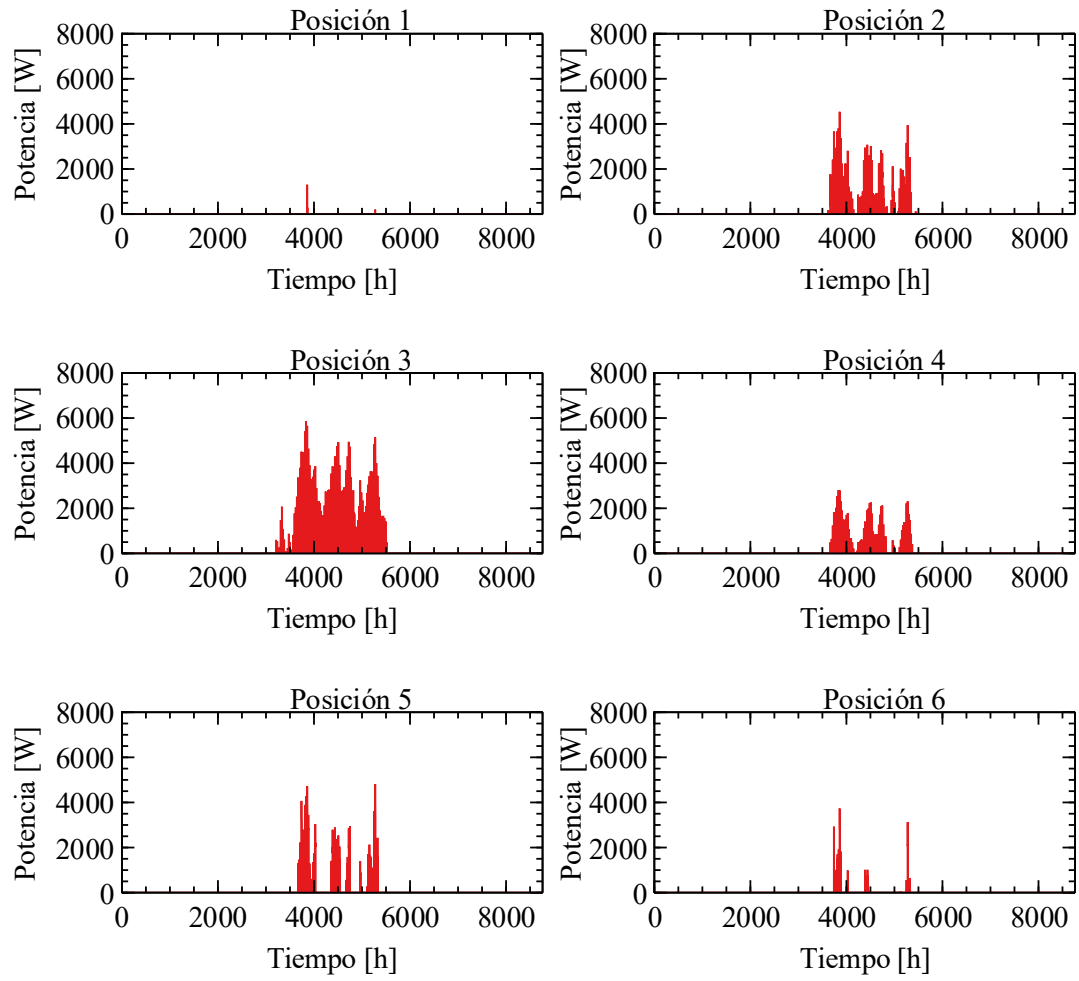


Figura 20. Consumos térmicos piso superior en Santiago

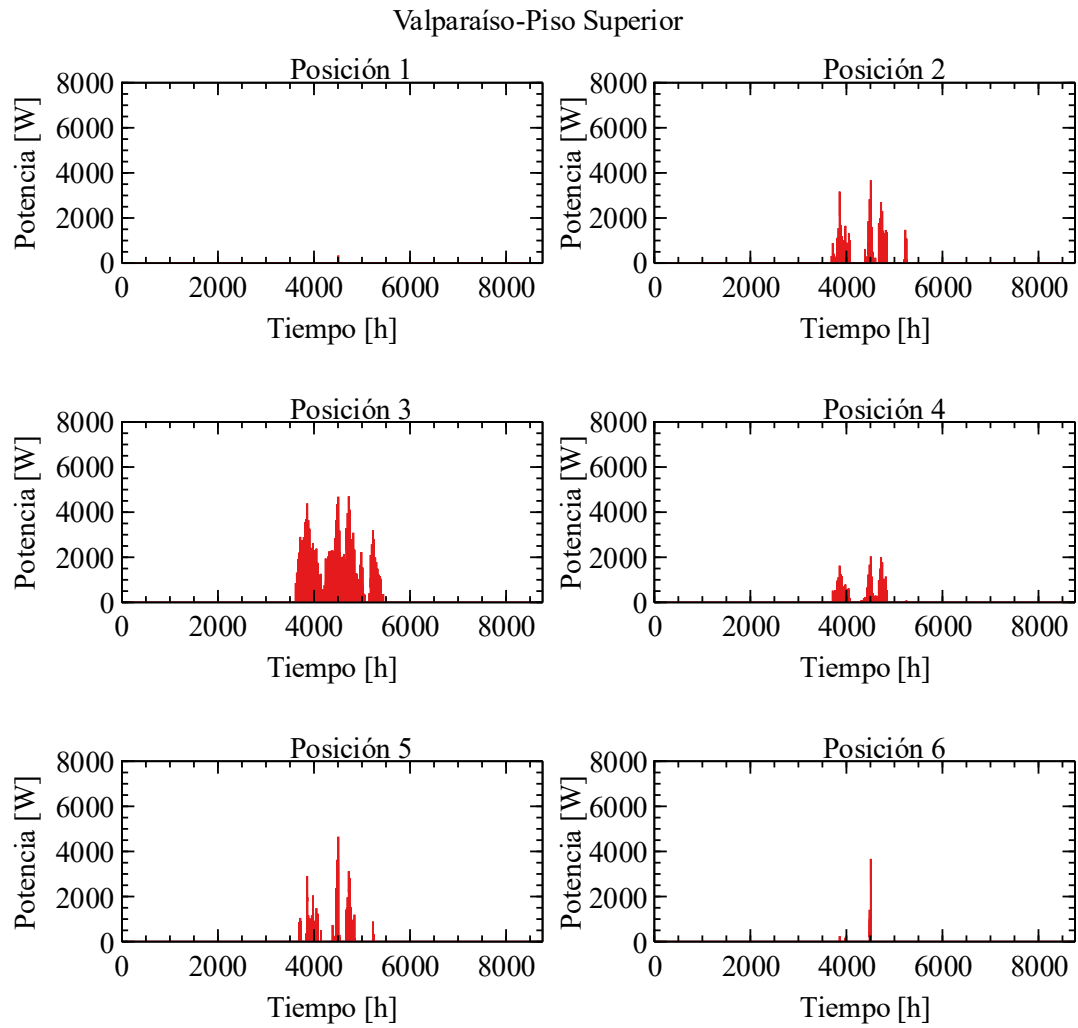


Figura 21. Consumos térmicos piso superior en Valparaíso

Se aprecia un consumo menor respecto al de los pisos intermedios y se mantienen los mayores consumos en las posiciones mencionadas en puntos anteriores.

3.2 Demanda de energía térmica para ACS

La demanda de energía térmica para uso de ACS calculada por ciudad considerando tres habitantes por vivienda se presenta en la Figura 22. Los resultados solo distinguen la influencia de la zona geográfica, puesto que el resto de las condiciones como el número de habitantes por vivienda y consumo promedio de agua de 40 litros por día para cada uno se asumen idénticos en cada tipología.

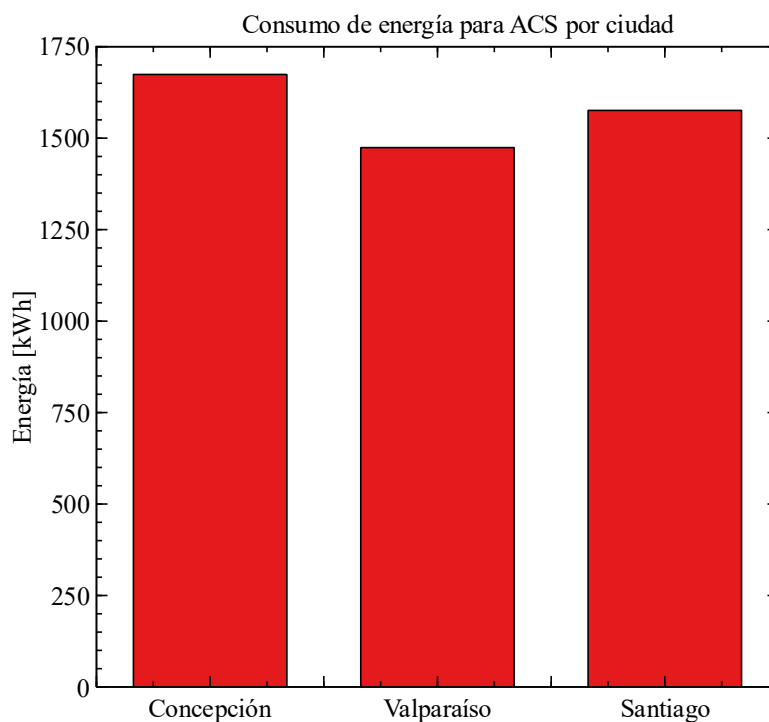


Figura 22. Consumo de energía para ACS

Los resultados presentan como zona térmica de mayor consumo energético a la ciudad de Concepción, mientras que Santiago representa casi un 5% menos de consumo y Valparaíso un 12%.

3.3 Demanda de energía eléctrica

Los consumos de energía eléctrica anual debido al uso de equipos se presentan en la Tabla 33 mientras que el perfil de consumo aproximado se presenta en la Figura 23.

Tabla 33. Consumo eléctrico por tipología

Tipo	Consumo [kWh/año]
C1 (X05 YX06)	1373.17
C2 (X02 y X03)	1373.17
C3	1373.17
D (X01 y X04)	985.17
E	985.17

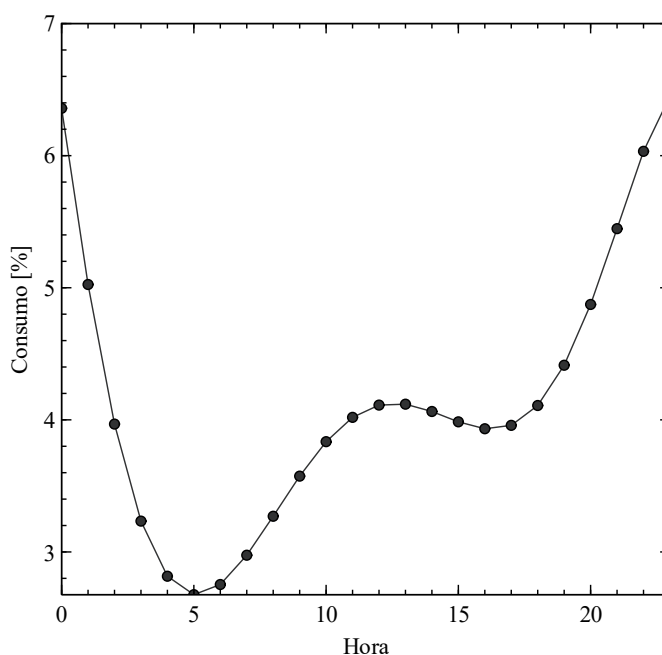


Figura 23. Perfil de consumo eléctrico para viviendas

Los consumos eléctricos se calcularon según lo indicado en la metodología basado en el uso de equipos más comunes para cada grupo socioeconómico a partir de un 80% de presencia en estos hogares, es por ello que los consumos totales son idénticos para los grupos socioeconómicos C1, C2 y C3 y luego para D y E. En el caso de los departamentos, puesto que no se tiene la caracterización por grupo socioeconómico, se aproxima según el tamaño de superficie interna a cada uno de estos.

Los resultados presentan un mayor consumo por parte de las viviendas de grupos socioeconómicos más altos y un menor consumo de las tipologías D y E.

El perfil de consumo eléctrico considerado presenta mayores valores de consumo entre las 23:00 y 00:00 horas, una disminución progresiva entrada la madrugada y un aumento a partir de las 06:00 horas con un máximo cerca del mediodía.

3.4 Consumos totales

Finalmente, los consumos térmicos totales anuales para las viviendas considerando el consumo de energía para calefacción y para uso de ACS se presentan en la Tabla 34.

Tabla 34. Consumos por calefacción y uso de ACS por unidad de superficie para viviendas según tipología

Concepción		Santiago		Valparaíso	
Tipo	kWh m ⁻²	Tipo	kWh m ⁻²	Tipo	kWh m ⁻²
C1	95.96	C1	54.33	C1	34.00
C2	118.12	C2	55.79	C2	35.38
C3	97.85	C3	56.42	C3	36.21
D	100.27	D	59.03	D	38.28
E	101.42	E	59.84	E	38.85

Los consumos totales considerando el uso de energía para calefacción y uso de ACS para cada departamento del edificio por posición y ubicación geográfica se presentan en la Tabla 35.

Tabla 35. Consumos por calefacción y uso de ACS para edificios según ubicación

Piso 1					
Concepción		Santiago		Valparaíso	
Depto	kWh	Depto	kWh	Depto	kWh
1	4488.24	1	2782.02	1,00	2052.11
2	6547.39	2	3994.72	2,00	2837.29
3	7889.98	3	4917.64	3,00	3450.83
4	6350.87	4	3992.64	4,00	2877.12
5	7440.20	5	4244.38	5,00	3031.30
6	5566.30	6	3151.30	6,00	2305.84
Piso Intermedio					
Concepción		Santiago		Valparaíso	
Depto	kWh	Depto	kWh	Depto	kWh
1	1674.16	1	1575.89	1,00	1474.18
2	1823.61	2	1702.08	2,00	1487.92
3	2349.00	3	2169.35	3,00	1688.34
4	1821.97	4	1677.96	4,00	1488.59
5	1791.58	5	1666.28	5,00	1493.62
6	1684.33	6	1581.12	6,00	1474.99
Piso Superior					
Concepción		Santiago		Valparaíso	
Depto	kWh	Depto	kWh	Depto	kWh
1	1677.11	1	1578.07	1,00	1474.51
2	2130.11	2	1947.74	2,00	1589.00
3	2797.52	3	2492.95	3,00	1969.67
4	1914.21	4	1753.00	4,00	1522.63
5	2092.95	5	1886.13	5,00	1594.26
6	1790.64	6	1647.71	6,00	1492.60

Los consumos de los departamentos por unidad de superficie se presentan en la Tabla 36.

Tabla 36. Consumo por calefacción y uso de ACS de departamentos por unidad de superficie

Piso 1					
Concepción		Santiago		Valparaíso	
Depto	kWh m ⁻²	Depto	kWh m ⁻²	Depto	kWh m ⁻²
1	63.26	1	39.21	1	28.92
2	70.48	2	43.00	2	30.54
3	84.93	3	52.93	3	37.15
4	89.51	4	56.27	4	40.55
5	71.54	5	40.81	5	29.15
6	53.52	6	30.30	6	22.17
Piso Intermedio					
Concepción		Santiago		Valparaíso	
Depto	kWh m ⁻²	Depto	kWh m ⁻²	Depto	kWh m ⁻²
1	23.60	1	22.21	1	20.78
2	19.63	2	18.32	2	16.02
3	25.29	3	23.35	3	18.17
4	25.68	4	23.65	4	20.98
5	17.23	5	16.02	5	14.36
6	16.20	6	15.20	6	14.18
Piso Superior					
Concepción		Santiago		Valparaíso	
Depto	kWh m ⁻²	Depto	kWh m ⁻²	Depto	kWh m ⁻²
1	23.64	1	22.24	1	20.78
2	22.93	2	20.97	2	17.10
3	30.11	3	26.83	3	21.20
4	26.98	4	24.71	4	21.46
5	20.12	5	18.14	5	15.33
6	17.22	6	15.84	6	14.35

En general, para las viviendas los consumos de energía para calefacción y uso de ACS por unidad de superficie aumentan desde la tipología C1 hasta la tipología E con excepción de la zona de Concepción donde el consumo de la vivienda C2 sobresale respecto al resto, luego existe una caída del consumo y vuelve a aumentar progresivamente hasta la tipología E.

En el caso de los edificios los consumos por unidad de superficie más altos se dieron en las posiciones 3 y 4 para las zonas de Concepción y Santiago, mientras que Valparaíso sigue la misma tendencia, aunque en el piso superior e intermedio también se tiene un alto consumo en la posición 1.

Los consumos de mayor magnitud se generan en los departamentos ubicados en el piso inferior mientras que los de pisos intermedios son ligeramente menores a los encontrados para el último piso.

4 Discusión

Los resultados de consumo térmico total obtenidos fueron presentados en unidades de energía por superficie en el caso de las tipologías de viviendas puesto que en estas la intención es comparar medidas de aislación y ubicación con su correspondiente nivel de consumo.

En primer lugar, el consumo de energía térmica para calefacción por unidad de superficie no siguió el orden esperable en el cual las viviendas con espesores y tecnologías inferiores (tipologías D y E) tuvieran mayores consumos que las de mejor aislación (tipologías C1, C2 y C3), según lo presentado el orden creciente se mantiene para las tipologías C1 y C2, disminuye en C3 y vuelve a aumentar progresivamente hasta la vivienda E, esto podría deberse a las dimensiones decrecientes de las viviendas haciendo que las ganancias solares o las ganancias internas de los equipos sean más relevantes dentro del modelo.

Esta tendencia dentro de las tipologías se mantiene para todas las ubicaciones geográficas, por otro lado, la influencia de la zona térmica es claramente visible, encontrándose que los consumos más altos corresponden a la zona de Concepción seguidos por Santiago y Valparaíso respectivamente, esto se explica en parte debido a la temperatura del aire de estas ubicaciones cuyo promedio anual desciende en el mismo orden.

Por otro lado, los consumos por calefacción obtenidos son coincidentes con los rangos presentados por Martínez-Soto et al. (2021), quienes realizaron simulaciones para diferentes localidades chilenas y tipologías simulando sus consumos por unidad superficie

Respecto al consumo de energía por ACS se tiene el mismo orden decreciente que para los consumos por calefacción, los cálculos de consumo de energía para este apartado consideraron las temperaturas de la red de agua de la zona, la que está relacionada con la temperatura del suelo que a su vez se ve afectada por la temperatura del aire.

Finalmente, los consumos eléctricos entregan valores esperables considerando el número y tipo de equipos considerados en el cálculo, además, se comparan con los consumos de otros trabajos. Por ejemplo, en el trabajo de Pezo. (2024) se obtienen valores de energía eléctrica promedio para edificios de departamentos que son diferentes en un 6% a los calculados siguiendo un método de cálculo diferente sobre otro edificio basado en medición en terreno.

En cuanto a los edificios es notorio que hay edificios cuyo consumo de energía para calefacción es bajo o prácticamente inexistente, esto se debe al alto grado de aislación, considerando que todas las paredes exteriores comparten la misma configuración y que termina con una transmitancia térmica de $0.67 \text{ [W m}^{-2}\text{K}^{-1}\text{]}$ lo que es prácticamente idéntico a valores establecidos por las nuevas regulaciones en zonas conservadoras térmicamente como lo es Concepción. Además, en los edificios en que si se produce consumo este se intensifica hacia mediados de año coincidiendo con las estaciones de otoño e invierno.

Durante el verano el consumo térmico es prácticamente inexistente en todas las ubicaciones. Al revisar el comportamiento térmico del edificio se encontraron temperaturas de incluso 40° lo que se explica en parte debido al alto grado de aislación y por otro lado gracias a la inercia térmica del hormigón armado el cual es el material principal de todo el departamento.

Finalmente, respecto de los consumos térmicos totales (ACS y calefacción) en el caso de las viviendas se tiene que para la zona de Concepción aumenta desde la tipología C1 y hasta C2, disminuye en C3 y aumenta hasta la tipología E, esto sigue el mismo comportamiento que el caso de consumo térmico, la única diferencia es en la tipología C3 lo que hace sentido considerando que ahora se incluyen los consumos eléctricos y según lo establecido en la metodología se incluyeron más equipos que en las viviendas D y E. Para el caso de Santiago y Valparaíso se encuentra un orden creciente a medida que se disminuye el grupo socioeconómico.

Los consumos totales de los edificios demuestran un alto consumo en las posiciones X02, y X03, esta puede ser explicada en parte debido al mayor consumo térmico de estas puesto que están orientadas al sur donde la radiación solar incidente es menor a lo largo del año.

Respecto a la distribución de consumos por ubicación dentro del edificio los resultados coinciden con lo presentado por Ling et al. (2015) donde se destaca el inferior consumo energético de los departamentos ubicados en plantas intermedias, sin embargo, difiere respecto a la relación entre el piso inferior y el superior, en el caso de este trabajo el menor consumo de la planta superior puede deberse al hecho de que esta presenta aislación de poliestireno, mientras que el suelo no lo hace, incrementando las pérdidas térmicas por este aspecto.

5 Conclusiones

Se definieron las características físicas de la envolvente de cinco tipologías de vivienda asociando cada una con un estrato según la clasificación de grupos socioeconómicos (C1, C2, C3, D y E) y la tecnología y dimensiones de la solución aislante, por otro lado, se utilizó la información proveniente de una memoria de título anterior para la definición de departamentos al interior de un edificio. Se destaca la alta presencia de uso de albañilería como material de construcción principal a nivel nacional además de la manera en que el área de superficie útil de la vivienda se encuentra asociada a los diferentes grupos socioeconómicos variando en promedio desde los 95 m² a los 78 m².

Las viviendas y departamentos fueron modelados en TRNBuild integrando las características físicas mencionadas y las características de ocupación, iluminación y uso de equipos habituales de habitantes según información proveniente de censos y encuestas a nivel nacional. Resultó relevante el tiempo de permanencia en el hogar de los habitantes, puesto que este impacta en el uso de equipos y de ACS, afectando en el consumo energético en forma directa e indirecta al aportar ganancias térmicas.

Con los modelos implementados y la posterior simulación en TRNSYS se obtuvieron los perfiles de consumo térmico de las viviendas y departamentos para distintas zonas térmicas a nivel nacional, los resultados indican un consumo de energía térmica de más del doble en Concepción respecto a Santiago y un consumo inferior en la zona de Valparaíso. A su vez, se aprecia el efecto de las ganancias internas sobre el comportamiento térmico de las viviendas puesto que, para viviendas más pequeñas, pero con peor nivel de aislación se produce un menor consumo de energía explicado por este fenómeno.

Respecto a los departamentos se repite el patrón decreciente de consumo térmico para Concepción, Santiago y Valparaíso respectivamente, apreciándose el efecto de la orientación debido al alto consumo de los departamentos en las orientaciones Sur y Este. Además, se involucra el efecto de la ubicación dentro de la estructura permitiendo diferenciar departamentos de un primer piso, de un piso intermedio o de un último piso.

Los consumos de energía eléctrica y de ACS también fueron obtenidos junto a los perfiles que los caracterizan, aportando datos en forma horaria para un día tipo. Así, la información obtenida desde este trabajo concluye con perfiles de consumo energético para viviendas de distintos estratos sociales y de departamentos en distintas posiciones permitiendo utilizar estos datos como punto de partida para estudios futuros que involucren la simulación o comparación de tecnologías de calefacción y/o generación de electricidad y que requieran valores de demanda para dimensionamiento.

6 Referencias

- ASHRAE. (2021). *Handbook, Fundamentals (SI) (Ashrae)*
- Ang, Y. Q., Berzolla, Z. M., & Reinhart, C. F. (2020). From concept to application: A review of use cases in urban building energy modeling. *Applied Energy*, 279. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2020.115738>
- Bhowmik, T., Iraganaboina, N. C., & Eluru, N. (2024). A novel maximum likelihood based probabilistic behavioral data fusion algorithm for modeling residential energy consumption. *PLoS ONE*, 19(11 November). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0309509>
- CES. (2022). *Manual de Evaluación y Calificación*.
- Chang, L., Narbaev, T., Taghizadeh-Hesary, F., & Mohsin, M. (2024). Modeling daily energy use in British homes amidst the electricity market crisis: Insights from smart meter and socio-technical data. *Energy Economics*, 139. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2024.107933>
- Chmielewska, A. (2025). Characteristics of Domestic Hot Water Consumption Profiles in Multi-Family Buildings for Energy Modeling Purposes. *Energies*, 18(17). <https://doi.org/10.3390/en18174578>
- Energía abierta. (2024). Obtenido de Energía abierta.
- Espino-Reyes, C. A., Ortega-Avila, N., Lucero-Álvarez, J., & Rodríguez-Muñoz, N. A. (2025). Energy Consumption in Mexican Homes: Using a Reference Building as a Launchpad for Achieving Nearly Zero Energy. *Urban Science*, 9(4). <https://doi.org/10.3390/urbansci9040113>
- Espinoza, A., Morales, F., & Reyes, N. (2021). *Estado del arte de definiciones de edificación cero energía neta y cero emisiones netas en el contexto regulatorio internacional*. www.ebpchile.cl
- Ferrari, S., Zagarella, F., Caputo, P., & Bonomolo, M. (2023). Internal heat loads profiles for buildings' energy modelling: comparison of different standards. *Sustainable Cities and Society*, 89. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2022.104306>
- Fissore, A., Leiva, A., & Yáñez, C. (2018). *Informe final de usos de la energía de los hogares Chile 2018*.
- Fuentes, E., Arce, L., & Salom, J. (2018). A review of domestic hot water consumption profiles for application in systems and buildings energy performance analysis. In *Renewable and Sustainable Energy Reviews* (Vol. 81, pp. 1530–1547). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.05.229>
- Guo, T., Bachmann, M., Kersten, M., & Kriegel, M. (2023). A combined workflow to generate citywide building energy demand profiles from low-level datasets. *Sustainable Cities and Society*, 96. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2023.104694>
- Incropera, F. P., & DeWitt, D. P. (n.d.). *Fundamentos de transferencia de calor, 4ta Edición*.

- In-Data. (2025). *Índice de Precios para Sistemas de Acondicionamiento Térmico Informe N°3*.
- INE. (2025a). *Instituto Nacional De Estadísticas Informe De Principales Resultados li Encuesta Nacional Sobre Uso Del Tiempo*. www.ine.cl
- INE. (2025b). *Síntesis de resultados Censo 2024*.
- Kang, X., An, J., & Yan, D. (2023). A systematic review of building electricity use profile models. In *Energy and Buildings* (Vol. 281). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2022.112753>
- Kansal, A., & Rajasekar, E. (2025). A review on reduced order models for building and urban energy simulations. In *Journal of Building Performance Simulation* (Vol. 18, Number 4, pp. 500–522). Taylor and Francis Ltd. <https://doi.org/10.1080/19401493.2024.2444334>
- Kotarela, F., Kyritsis, A., Agathokleous, R., & Papanikolaou, N. (2023). On the exploitation of dynamic simulations for the design of buildings energy systems. *Energy*, 271. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2023.127002>
- Ling, J., Li, Q., & Xing, J. (2015). The influence of apartment location on household space heating consumption in multi-apartment buildings. In *Energy and Buildings* (Vol. 103, pp. 185–197). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2015.06.057>
- Madrid, G. (2010). *Análisis Crítico del Sistema de Certificación Energética de Viviendas*.
- Martinez-Soto, A., Iannantuono, M., Macaya-Vitali, P., & Nix, E. (2021). Towards low-carbon housing in Chile: Optimisation and life cycle analysis of energy-efficient solutions. *Case Studies in Thermal Engineering*, 28. <https://doi.org/10.1016/j.csite.2021.101579>
- MDSF. (2024). *Orientaciones para el Cálculo de la Calificación Socioeconómica*.
- MINVU. (2020). *Manual de soluciones constructivas en madera*.
- MINVU. (2026). *Listado Oficial de Soluciones Constructivas para Acondicionamiento Térmico del Ministerio de Vivienda y Urbanismo*.
- Molina, C., Jones, B., Kent, M., & Hall, I. P. (2017). *The Development of Archetypes to Represent the Chilean Housing Stock*.
- Molina, C., Kent, M., Hall, I., & Jones, B. (2020). A data analysis of the Chilean housing stock and the development of modelling archetypes. *Energy and Buildings*, 206. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2019.109568>
- Mutani, G., Alehasin, M., Yang, H., Zhang, X., & Felmer, G. (2024). Urban Building Energy Modeling to Support Climate-Sensitive Planning in the Suburban Areas of Santiago de Chile. *Buildings*, 14(1). <https://doi.org/10.3390/buildings14010185>
- O’Grady, M., Lechowska, A. A., & Harte, A. M. (2017). Infrared thermography technique as an in-situ method of assessing heat loss through thermal bridging. *Energy and Buildings*, 135, 20–32. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2016.11.039>

- Pezo, M. (2024). *Comparación de tecnologías para edificios de energía neta cero: Sistema reversible de bomba de calor/ciclo Rankine orgánico acoplado a colectores solares y sistema convencional de bomba de calor acoplada a paneles fotovoltaicos.*
- Rücker, M. (2022). *Estrategias Del Diseño Circular En La Construcción De Viviendas En Chile.*
- Sánchez-López, M., Moreno, R., Alvarado, D., Suazo-Martínez, C., Negrete-Pincetic, M., Olivares, D., Sepúlveda, C., Otárola, H., & Basso, L. J. (2022). The diverse impacts of COVID-19 on electricity demand: The case of Chile. *International Journal of Electrical Power and Energy Systems*, 138. <https://doi.org/10.1016/j.ijepes.2021.107883>
- Santa María, H., Hube, M. A., Rivera, F., Yepes-Estrada, C., & Valcárcel, J. A. (2017). Development of national and local exposure models of residential structures in Chile. *Natural Hazards*, 86, 55–79. <https://doi.org/10.1007/s11069-016-2518-3>
- Shen, P., & Wang, H. (2024). Archetype building energy modeling approaches and applications: A review. In *Renewable and Sustainable Energy Reviews* (Vol. 199). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2024.114478>
- Verdejo, H., Fucks Jara, E., Castillo, T., Becker, C., Vergara, D., Sebastian, R., Guzmán, G., Tobar, F., & Zolezzi, J. (2024). Analysis and Modeling of Residential Energy Consumption Profiles Using Device-Level Data: A Case Study of Homes Located in Santiago de Chile. *Sustainability (Switzerland)*, 16(1). <https://doi.org/10.3390/su16010255>

7 Anexos

Anexo A: Perfiles de consumo térmico y eléctrico

Los perfiles de consumo térmico y eléctrico para las viviendas ubicadas en Concepción, Santiago y Valparaíso se presentan en la Ilustración 1, Ilustración 2 e Ilustración 3 respectivamente.

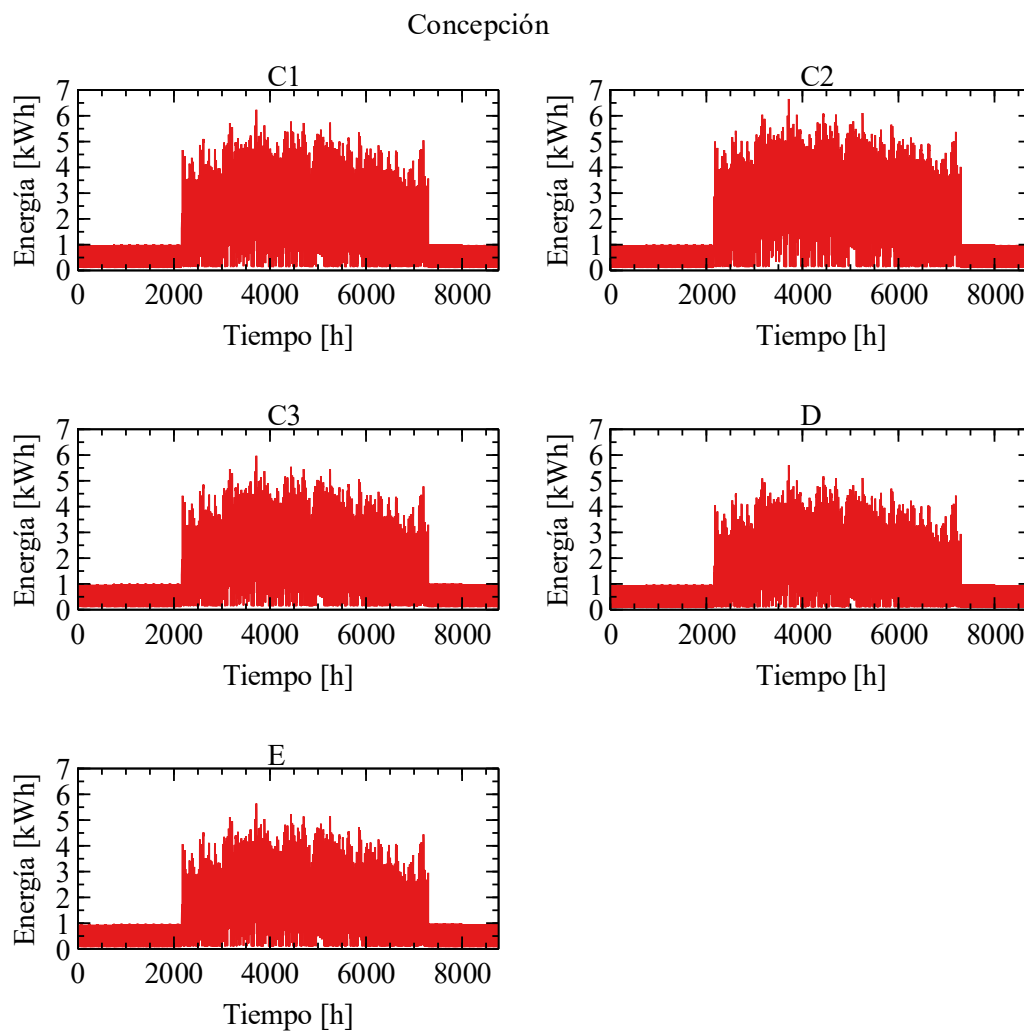


Ilustración 1. Perfil de consumo total para las tipologías de viviendas ubicadas en Concepción

Santiago

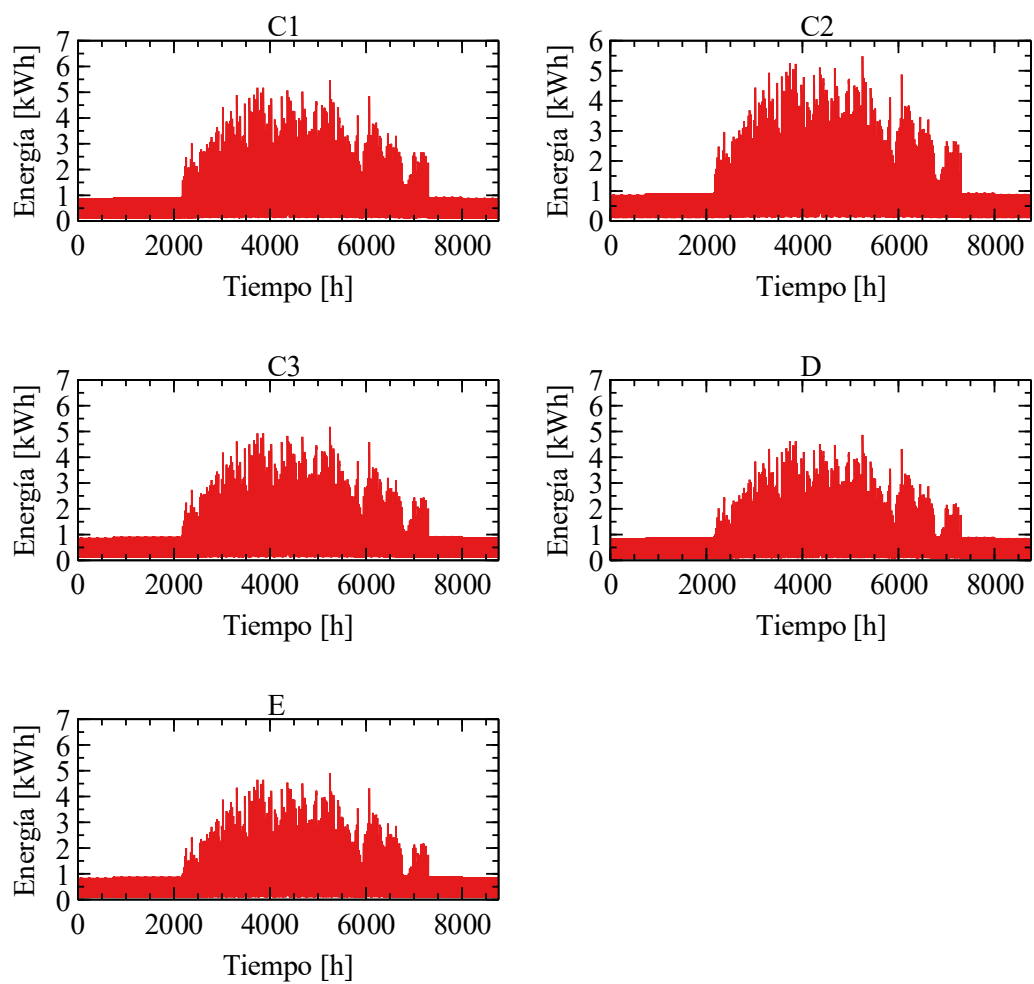


Ilustración 2. Perfil de consumo total para las tipologías de viviendas ubicadas en Santiago

Valparaíso

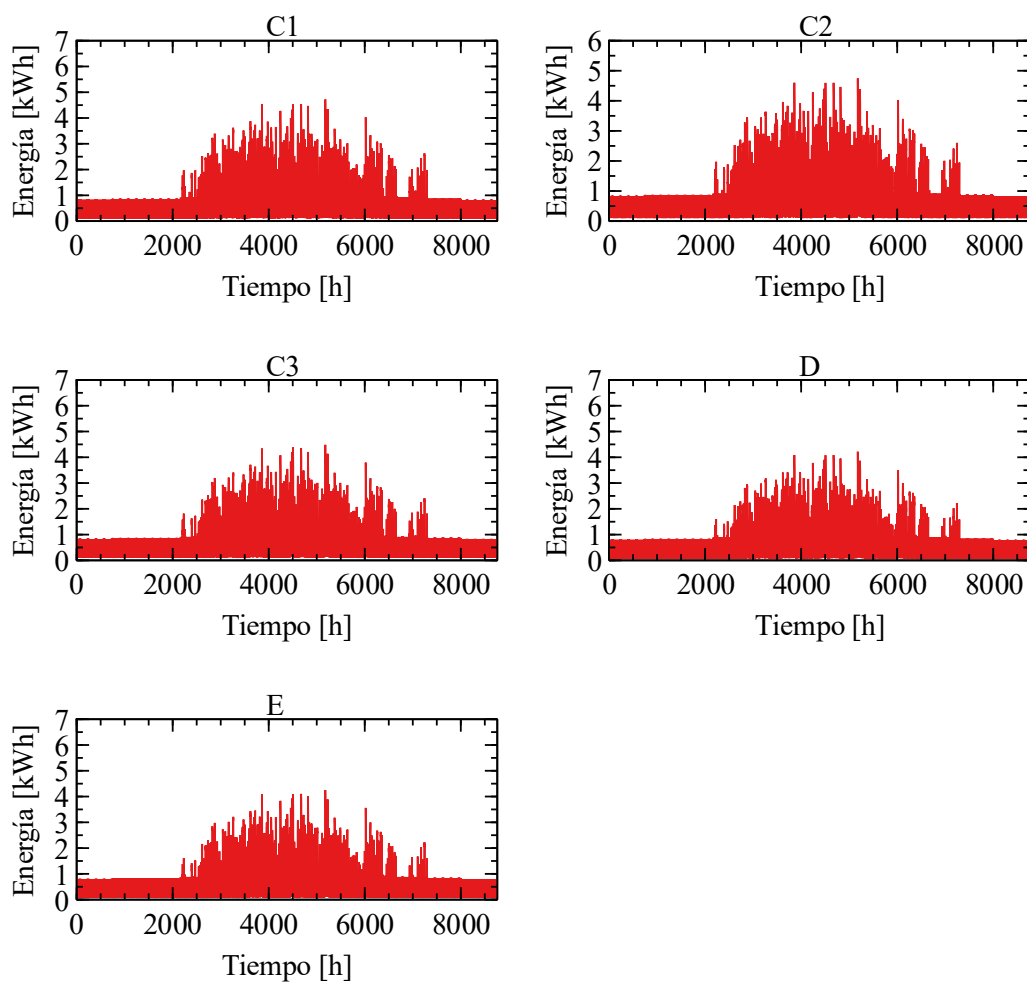


Ilustración 3. Perfil de consumo total para las tipologías de viviendas ubicadas en Valparaíso

Los perfiles de consumo total para los primeros pisos de los edificios en Concepción, Santiago y Valparaíso se presentan en la Ilustración 4, Ilustración 5 e Ilustración 6 respectivamente.

Concepción-Piso 1

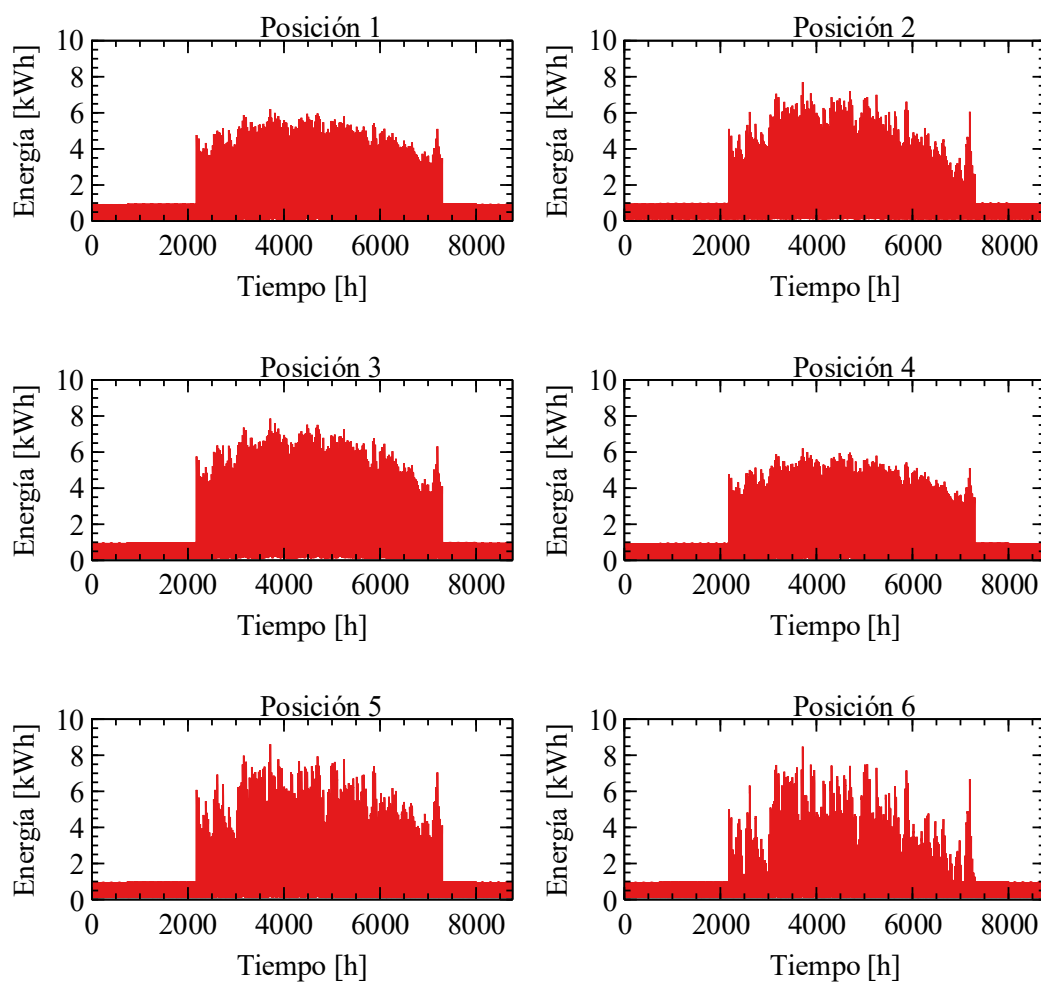


Ilustración 4. Consumos totales para primer piso de edificios ubicados en Concepción.

Santiago-Piso 1

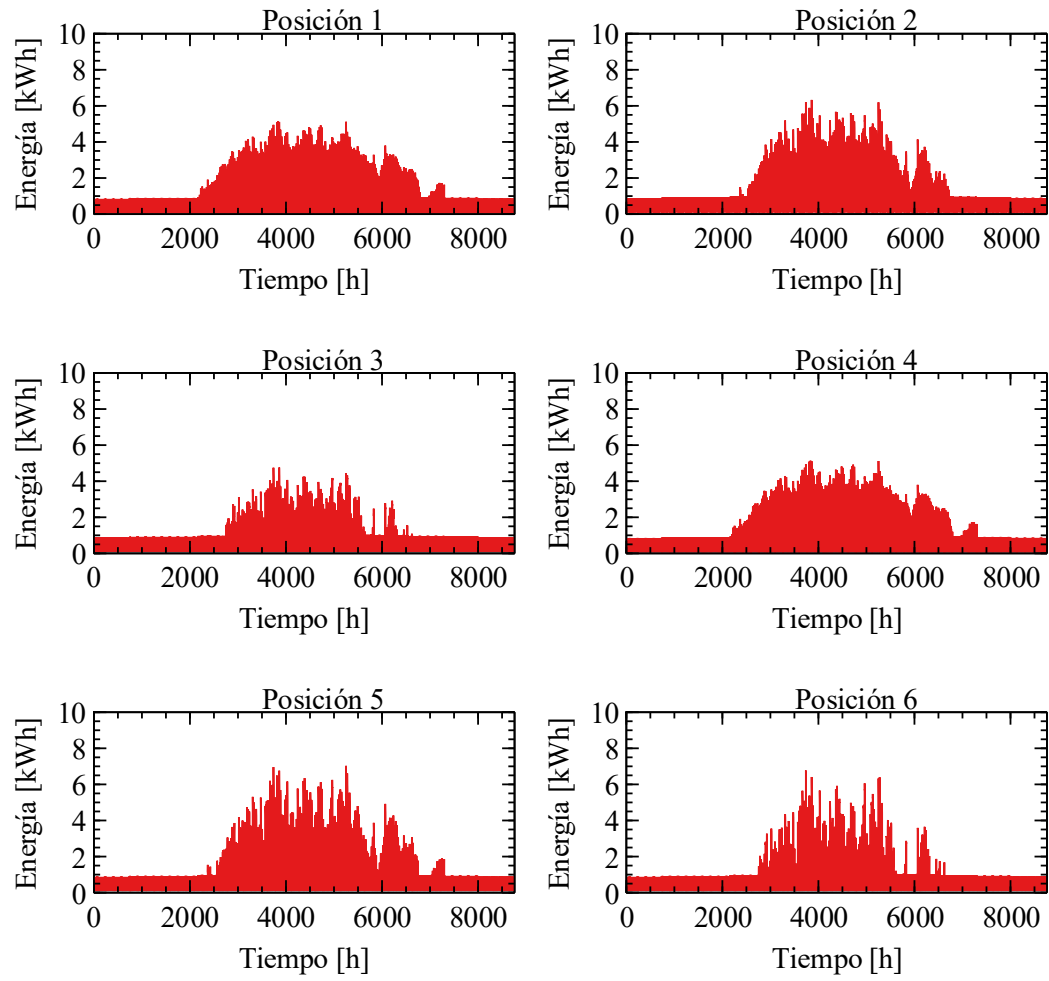


Ilustración 5. Consumos totales para primer piso de edificios ubicados en Santiago

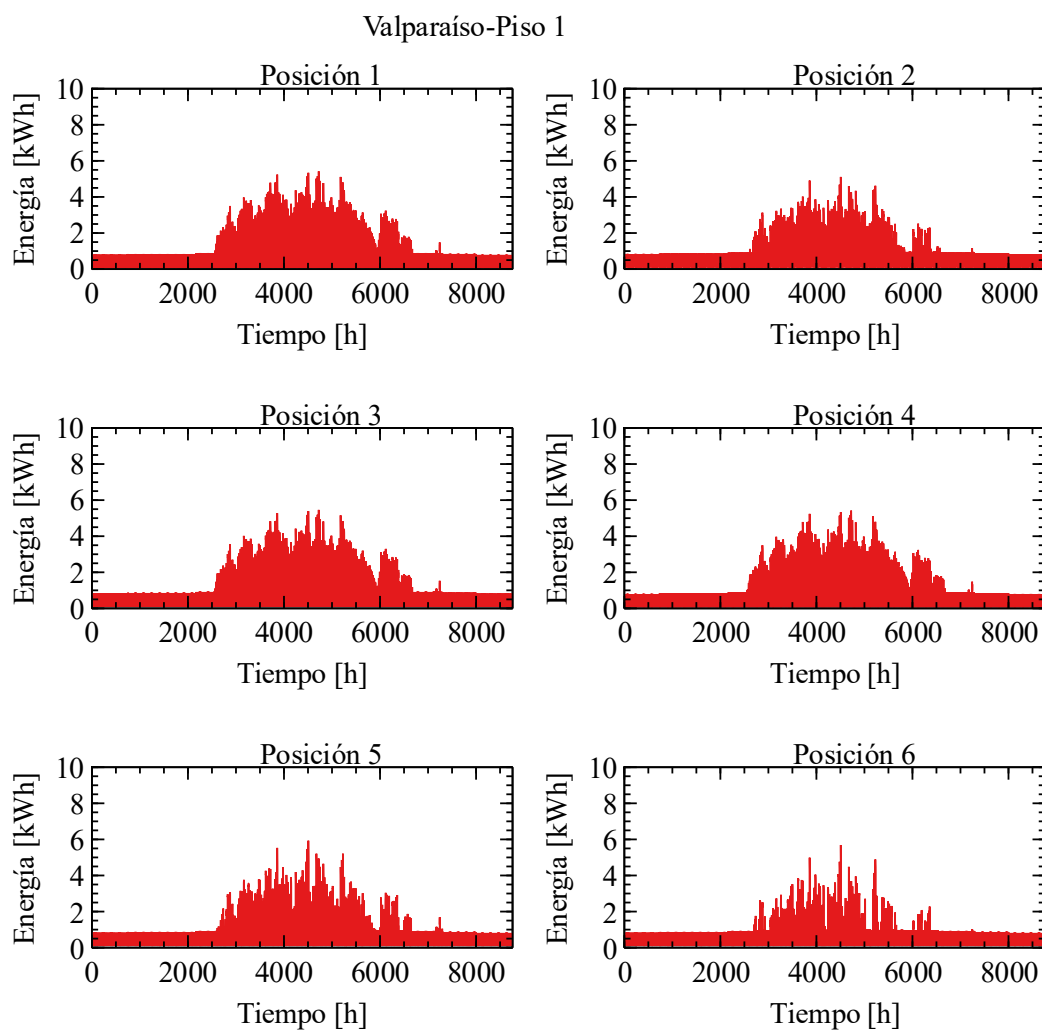


Ilustración 6. Consumos totales para primer piso de edificios ubicados en Valparaíso

Los perfiles de consumo total para los pisos intermedios de los edificios en Concepción, Santiago y Valparaíso se presentan en la Ilustración 7, Ilustración 8 e Ilustración 9 respectivamente.

Concepción-Piso Intermedio

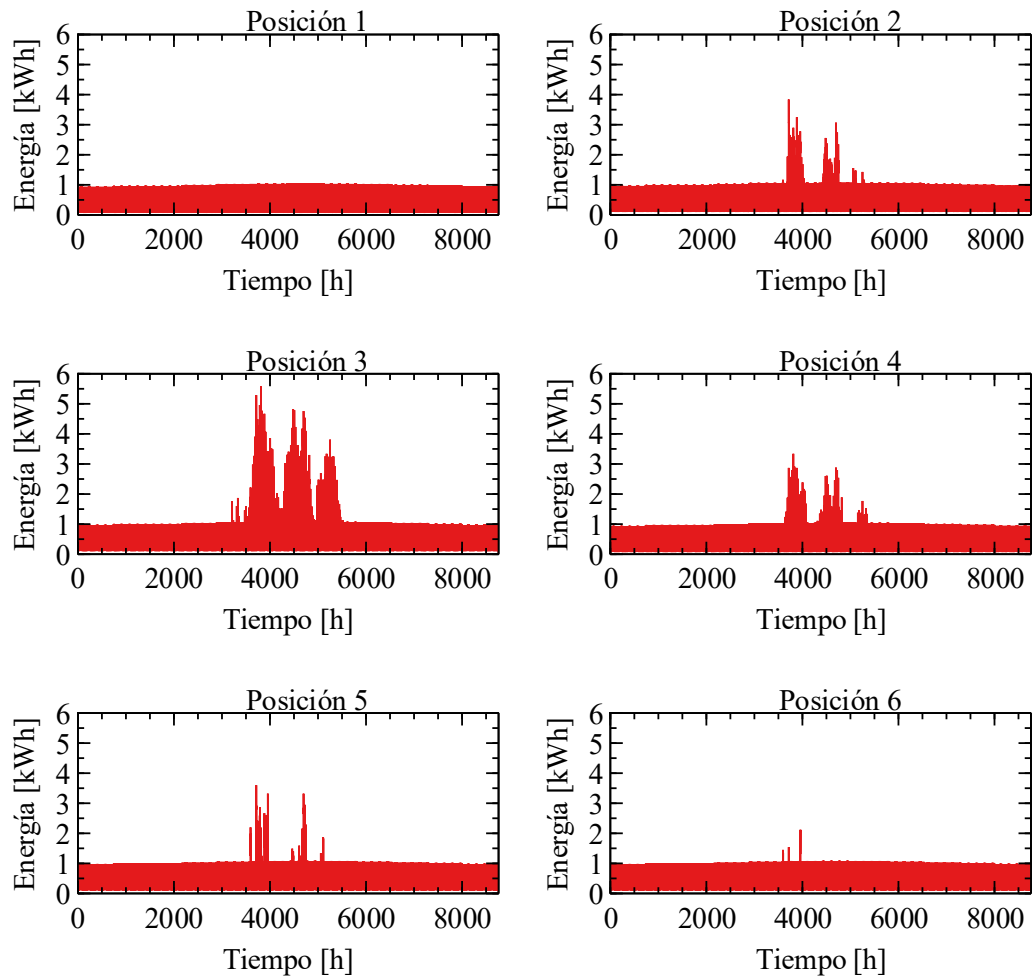


Ilustración 7. Consumos totales para piso intermedio de edificios ubicados en Concepción

Santiago-Piso Intermedio

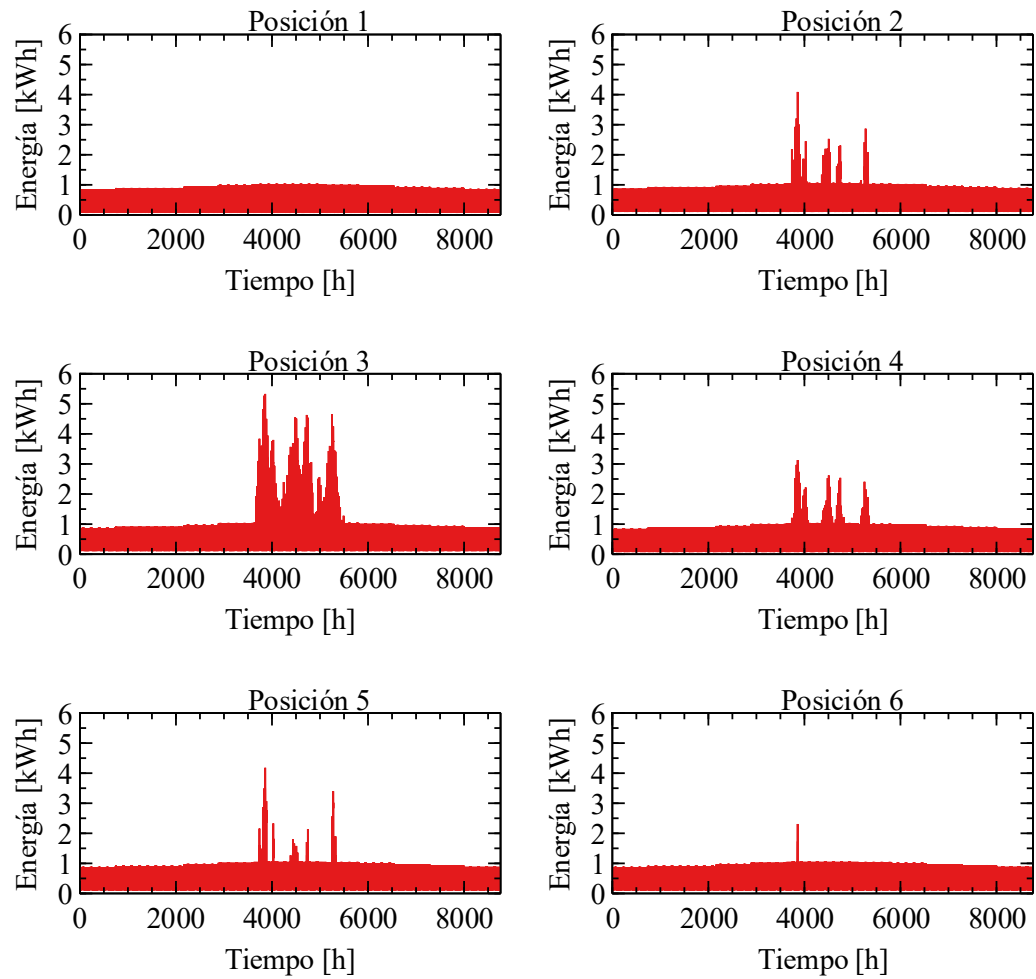


Ilustración 8. Consumos totales para piso intermedio de edificios ubicados en Santiago

Valparaíso-Piso Intermedio

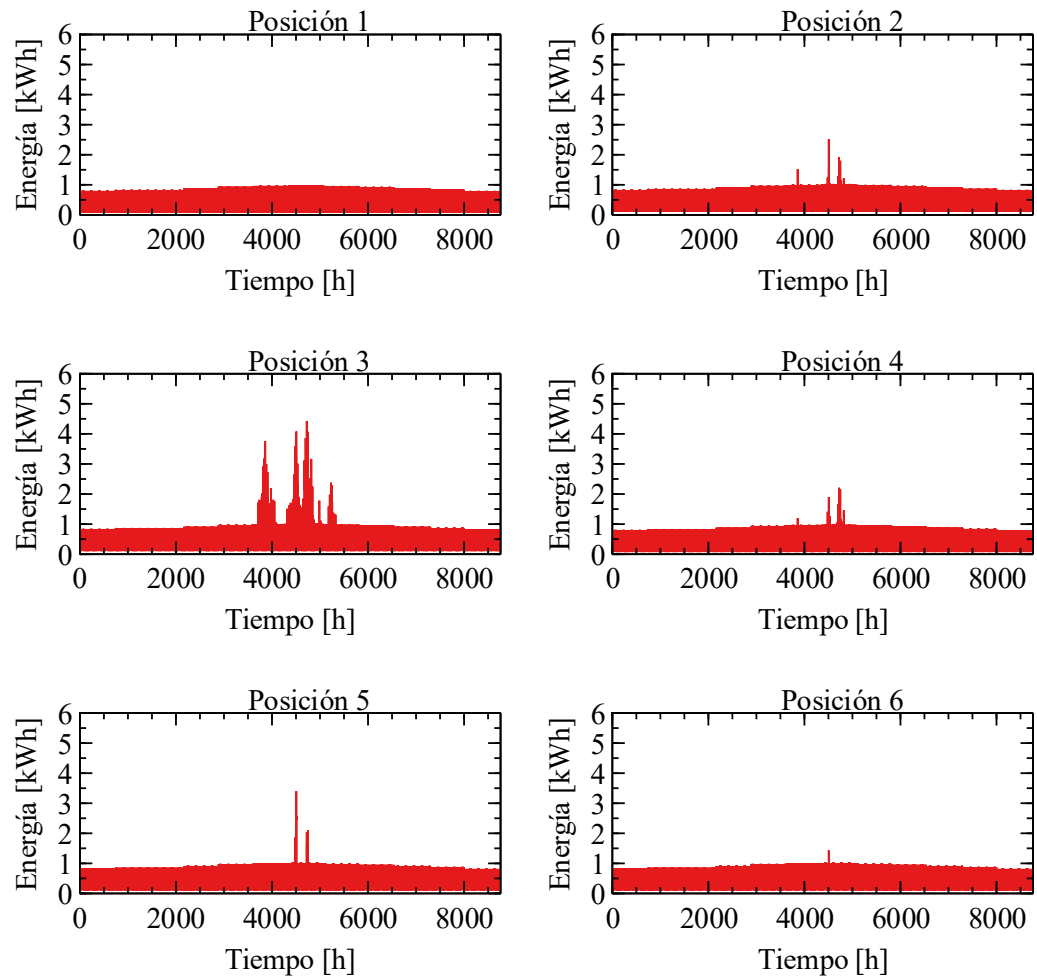


Ilustración 9. Consumos totales para piso intermedio de edificios ubicados en Valparaíso

Los perfiles de consumo total para los pisos superiores de los edificios en Concepción, Santiago y Valparaíso se presentan en la Ilustración 10, Ilustración 11 e Ilustración 12 respectivamente.

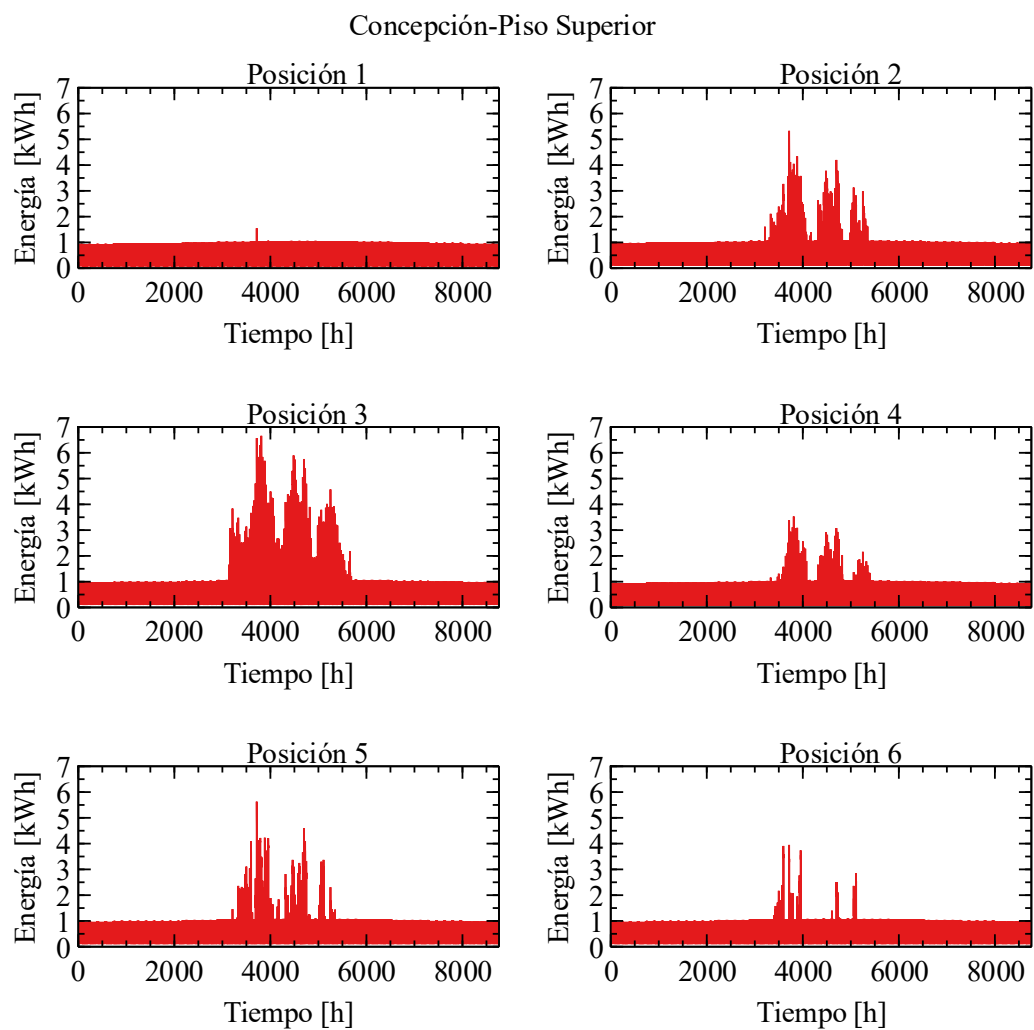


Ilustración 10. Consumos totales para piso superior de edificios ubicados en Concepción

Santiago-Piso Superior

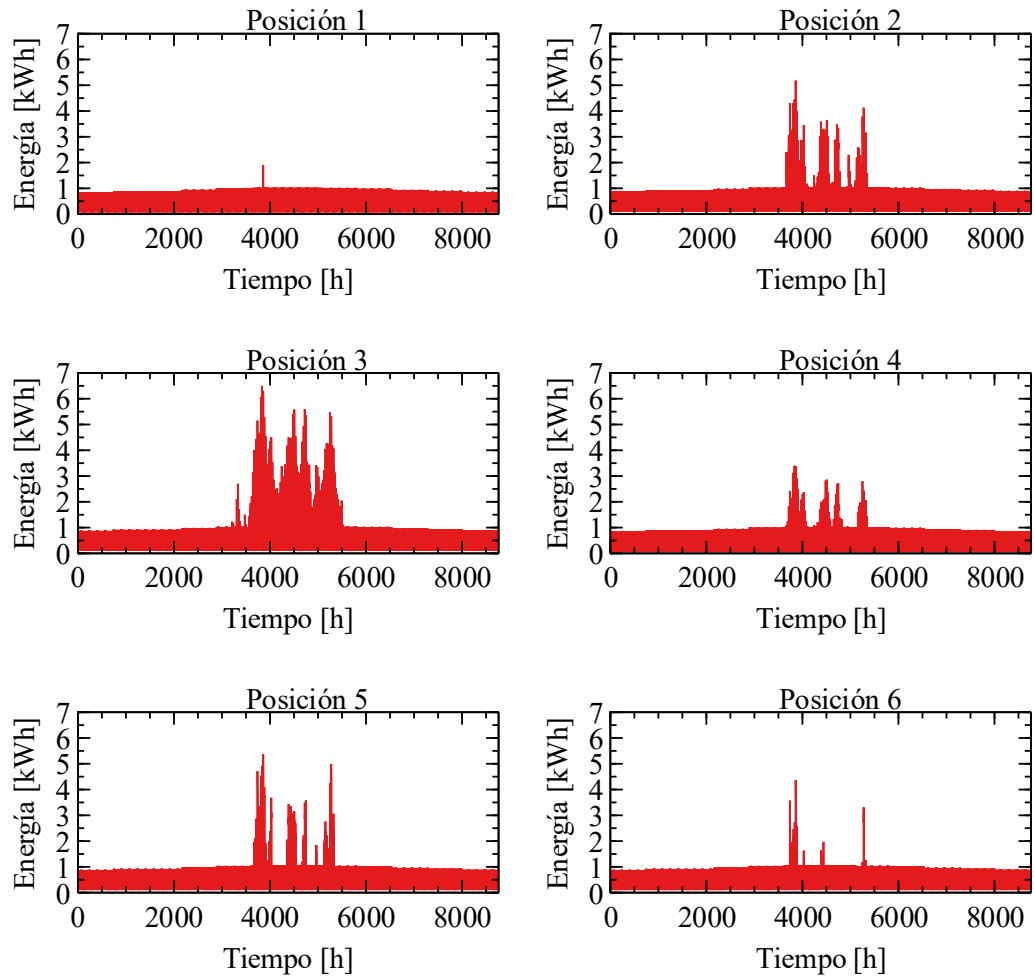


Ilustración 11. Consumos totales para piso superior de edificios ubicados en Santiago

Valparaíso-Piso Superior

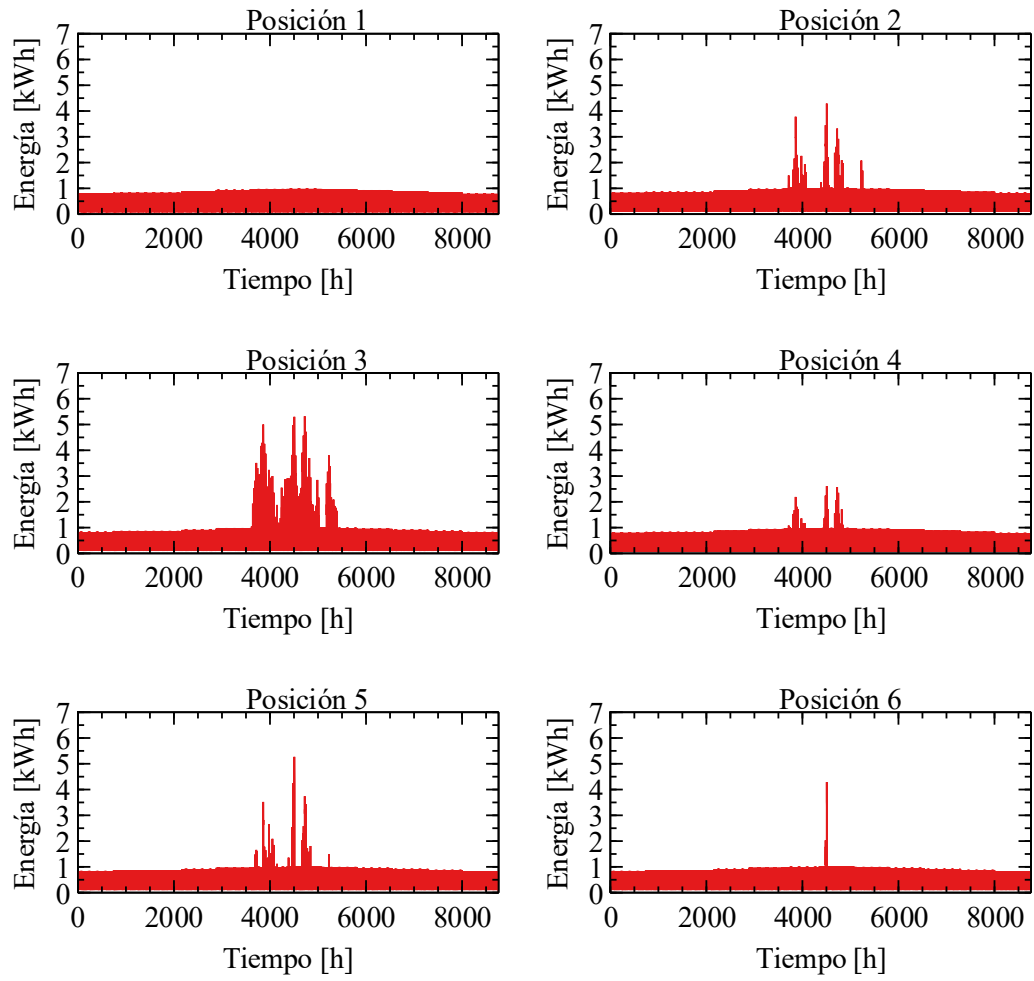


Ilustración 12. Consumos totales para piso superior de edificios ubicados en Valparaíso

Anexo B: Descripción y definición de viviendas

Las condiciones mínimas de transmitancia a satisfacer por elementos de la envolvente son definidas en la Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones.

Algunas soluciones constructivas son propuestas en el Listado Oficial de Soluciones Constructivas (LOSC), utilizando como base los materiales propuestos en este y las propiedades provenientes de la norma chilena NCh 853 y catálogos de fabricantes se calculó la transmitancia en forma preliminar para las configuraciones de muro definidas en el informe. El detalle de los materiales se presenta en el Cuadro 1.

Cuadro 1. Datos de materiales utilizados

MUROS EXTERIORES				
Material	Densidad [kg/m ³]	Calor específico [J/kgK]	Conductividad[W /(mK)]	Fuentes
Ladrillo Santiago 7	914.84	750	0.417	Cálculo desde LOSC
Ladrillo fiscal linares	1333.3	750	0.684	Conductividad : Desde LOSC. Calor específico: "Estándares de construcción sustentable para viviendas de Chile"
Poliuretano proyectado	29	1674	0.027	Conductividad : Norma NCh 853. Calor específico: "Acondiciona miento térmico en espacios interiores de viviendas, usando la energía solar", Universidad de azuay
Lana mineral	20	840	0.0384	LOSC
Poliestireno expandido	15	1200	0.0413	LOSC

Muro exterior C1:

$$U_{C1} = \frac{1}{0.13 + 0.33 + 2.96 + 0.04} = 0.288$$

Muro exterior C2:

$$U_{C2} = \frac{1}{0.13 + 0.22 + 1.90 + 0.04} = 0.435$$

Muro exterior C3:

$$U_{C3} = \frac{1}{0.13 + 0.33 + 2.96 + 0.04} = 0.453$$

Muro exterior D:

$$U_D = \frac{1}{0.13 + 0.22 + 1.33 + 0.04} = 0.581$$

Muro exterior E:

$$U_E = \frac{1}{0.13 + 0.22 + 1.33 + 0.04} = 0.581$$

Para los muros interiores se siguió el procedimiento descrito en 2.1.4 puesto que se trata de un muro heterogéneo formado por tabiquería forrada.

Los valores utilizados en el cálculo se presentan en el Cuadro 2 y los valores calculados se presentan en el Cuadro 3.

Cuadro 2. Caracterización de muros internos

Muro de referencia	
Ancho pared [mm]	4552.5
Alto de la pared [mm]	2300
Ancho pie derecho [mm]	41
Espesor pie derecho [mm]	90
Alto pie derecho [mm]	2218
Ancho de solera y travesaños	41
Espesor viga [mm]	90
Espacio entre pie derecho [mm]	400
Espacio entre vigas [mm]	400
Config. [Pie+Espacio] [mm]	400
N° de espacios	11
Densidad madera [kg/m ³]	410
Vol- pie derecho [m ³]	0.0082
Masa de un pie [kg]	3.35
Masa total pies [kg]	40.27
N° soleras	2
Vol. solera [m ³]	0.017
Masa solera [kg]	6.89
Masa total soleras [kg]	13.77
N° de travesaños	5
Vol. Travesaño [m ³]	0.0013
Masa travesaño [kg]	0.54
Masa total travesaños	29.87
Masa total madera [kg]	83.91
N° espacios por columna	6
Volumen tabiquería [m ³]	0.94
Densidad equivalente tabiquería [kg/m ³]	89.05
Calor específico tabiquería [J/kgK]	2805
Resistencia equivalente tabiquería [m ² K/W]	0.22
Conductividad equivalente tabiquería [W/mK]	0.41
Conductividad equivalente tabiquería [kJ/hmK]	1.49

Cuadro 3. Propiedades térmicas muros internos

Calor específico madera [J/kgK]	2805
Calor específico aire [J/kgK]	1005
Área madera [m ²]	2.27
Área aire [m ²]	8.20
Área total [m ²]	10.47
Fracción área madera [m ²]	0.22
Fracción área aire [m ²]	0.78
Conductividad madera [W/mK]	0.10
Resistencia térmica madera tabiquería [m ² K/W]	0.86
Resistencia térmica aire no ventilado [m ² K/W]	0.18

Se considera que todos los muros interiores utilizan la misma configuración por lo que los valores de transmitancia y calor específico son idénticos.

Para el techo se consideró el cálculo del cielo y de las aguas. Para el cielo se considera la misma configuración para las tipologías C1, C2 y C3 y configuraciones diferentes para D y E.

Los cálculos de las propiedades térmicas del cielo de las tipologías C1, C2 y C3 se presentan en el Cuadro 4.

Cuadro 4. Características cielo de las tipologías C1, C2 y C3

Datos de tabiquería cielo	
Largo [mm]	10605
Ancho [mm]	9105
Distancia cerchas [mm]	600
Ancho cercha [mm]	41
Espesor cercha [mm]	90
Largo cercha [mm]	9105
Long. Cercha espacio [mm]	600
Ancho distanciadores [mm]	41
Espesor distanciadores [mm]	19
Espacio entre distanciadores [mm]	400
Madera	
Densidad madera [kg/m ³]	410
Volumen cercha [m ³]	0.033
Masa cercha [kg]	13.77
N° cerchas	18
N° espacios	17
Masa total cerchas [kg]	247.95
Conductividad madera [W/mk]	0.104
N° distanciadores	23
Volumen distanciador [m ³]	0.0083
Masa distanciador [kg]	3.39
Masa total distanciadores [kg]	77.90
Aislante	
Densidad fibra de vidrio [kg/m ³]	11
Espesor [mm]	200
Volumen fibvid [m ³]	1.018
Masatotal aisl	190.35
Conductividad lana de vidrio [W/mK]	0.042
Propiedades cielo	
Masa total [kg]	516.21
Volumen cielo [m ³]	21.15
Densidad equivalente [kg/m ³]	24.41
Calor específico equivalente [J/kgK]	2080.39

Los valores para cálculo de la conductividad equivalente de los cielos para viviendas C1, C2 y C3 se presentan en el Cuadro 5.

Cuadro 5. Cálculo conductividad equivalente del cielo de tipologías C1, C2 y C3

Propiedades materiales			
Calor específico madera [J/kgK]	2805		
Calor específico capa aislante [J/kgK]	840		
Resistencia			
Capa 1 (Distanciadores + aire)	Fracción de área	Resistencia	Resistencia equivalente
Distanciadores	0.10	0.18	0.16
Aire	0.90	0.16	
Capa 2 (Aislante + Cerchas)	Fracción de área	Resistencia	Resistencia equivalente
Cerchas	0.069	0.86	3.62
Aislantes	0.93	4.76	
Resistencia equivalente tabiquería cielo	3.79		
Cond. Equivalente [W/mK]	0.058		
Cond. Equivalente [kJ/hmK]	0.21		

Para el cielo D y E se obtienen los resultados presentados en el Cuadro 6 y Cuadro 7 respectivamente.

Cuadro 6. Características cielo de la tipología D

Datos de tabiquería cielo	
Largo [mm]	9585
Ancho [mm]	8185
Distancia cerchas [mm]	600
Ancho cercha [mm]	41
Espesor cercha [mm]	90
Largo cercha [mm]	8185
Long. Cercha espacio [mm]	600
Ancho distanciadores [mm]	41
Espesor distanciadores [mm]	19
Espacio entre distanciadores [mm]	400
Madera	
Densidad madera [kg/m ³]	410
Volumen cercha [m ³]	0.03
Masa cercha [kg]	12.38
N° cerchas	16
N° espacios	15
Masa total cerchas [kg]	198.13
Conductividad madera [W/mk]	0.10
N° distanciadores	21
Volumen distanciador [m ³]	0.0074
Masa distanciador [kg]	3.06
Masa total distanciadores [kg]	64.29
Aislante	
Densidad fibra de vidrio [kg/m ³]	11
Espesor [mm]	180
Volumen fibra de vidrio [m ³]	0.82
Masa total aislante	135.89
Conductividad lana de vidrio [W/mK]	0.042
Propiedades cielo	
Masa total [kg]	398.31
Volumen cielo [m ³]	15.61
Densidad equivalente [kg/m ³]	25.51
Calor específico equivalente [J/kgK]	2134.60

Cuadro 7. Características cielo de la tipología E

Datos de tabiquería cielo	
Largo [mm]	9585
Ancho [mm]	8185
Distancia cerchas [mm]	600
Ancho cercha [mm]	41
Espesor cercha [mm]	90
Largo cercha [mm]	8185
Long. Cercha espacio [mm]	600
Ancho distanciadores [mm]	41
Espesor distanciadores [mm]	19
Espacio entre distanciadores [mm]	400
Madera	
Densidad madera [kg/m ³]	410
Volumen cercha [m ³]	0,03
Masa cercha [kg]	12.38
N° cerchas	16
N° espacios	15
Masa total cerchas [kg]	198.13
Conductividad madera [W/mk]	0.104
N° distanciadores	21
Volumen distanciador [m ³]	0.0075
Masa distanciador [kg]	3.06
Masa total distanciadores [kg]	64.29
Aislante	
Densidad fibra de vidrio [kg/m ³]	11
Espesor [mm]	140
Volumen fibra de vidrio [m ³]	0.64
Masa total aislante	105.69
Conductividad lana de vidrio [W/mK]	0.042
Propiedades cielo	
Masa total [kg]	368.11
Volumen cielo [m ³]	12.47
Densidad equivalente [kg/m ³]	29.51
Calor específico equivalente [J/kgK]	2240.81

Las propiedades equivalentes de las aguas y los datos utilizados en su cálculo se calculan desde las propiedades de la cámara ventilada y las del complejo de cerchas y costanera, estas se aprecian en el Cuadro 8 y Cuadro 9 Cuadro 10 respectivamente.

Cuadro 8. Cálculo de propiedades para la cámara ventilada

Cálculo cámara ventilada	
Largo [mm]	11000
Ancho (hipotenusa) [mm]	5484.83
Cámara ventilada	
Ancho distanciadores [mm]	41
Espesor distanciadores [mm]	19
Espacio distanciadores [mm]	400
Espaciadores	
N° distanciadores	14
N° espacios	13
Volumen distanciadores	0.0085
Masa distanciador [kg]	3.51
Masa distanciador [kg]	49.19
Masa total cámara ventilada [kg]	49.19
Calor específico [J/kgK]	2805
Densidad equivalente [kg/m3]	42.91

Cuadro 9. Cálculo de conductividad equivalente de la cámara ventilada

Cálculo conductividad equivalente			
Capa 1 Aire+ distanciadores	Fracción de área	Resistencia	Resistencia capa
Fracción área madera	0.10	0.18	0.16
Fracción área aire	0.89	0.16	
Req capa ventilada	0.16		
Cond eq [W/mk]	0.12		
Cond eq [kJ/hmk]	0.42		

Cuadro 10. Cálculo de propiedades de cerchas y costaneras

Cálculo cerchas y costaneras	
Largo [mm]	11000
Ancho [mm]	5484.83
Espesor cerchas [mm]	90
Ancho cercha [mm]	41
Largo cercha [mm]	5484,82756
Espesor costanera [mm]	90
Ancho costanera [mm]	41
Espacio entre cerchas [mm]	600
Long cercha +espacio	600
Espacio entre costaneras [mm]	400
Long costanera+espacio	400
Cálculo cercha	
N° Cerchas	19
N° Espacios entre cerchas	18
Volumen cercha [m3]	0.02
Masa cercha [kg]	8.3
Masa total cerchas [kg]	157.67
Cálculo costaneras	
N° costaneras	14
N° Espacios entre costaneras	13
Volumen costanera [m3]	0.04
Masa costanera [kg]	16.64
Masa total costaneras [kg]	232.99
Masa total complejo [kg]	390.65
Volumen complejo [m3]	5.43
Densidad equivalente [kg/m3]	71.94
Calor específico [J/kgK]	2805

Cuadro 11. Propiedades térmicas capa de cerchas y costaneras

Resistencia techumbre (cerchas y costaneras)				
	Área	Fracción de área	Resistencia por cada capa	Resistencia total
Madera	10.05	0.17	0.86	0.18
Aire	50.28	0.83	0.16	
Total	60.33	1		
Cond. Eq [W/mK]	0.49			
Cond. Eq [kJ/hmK]	1.75			

Para las ventanas de las viviendas se escogió una de las soluciones del Listado Oficial de Soluciones Constructivas, las propiedades de esta se exponen en la Ilustración 13.


LISTADO OFICIAL DE SOLUCIONES CONSTRUCTIVAS PARA ACONDICIONAMIENTO TÉRMICO
E14

3.2.V.P.C.2.05
Ventana PVC corredera, 2 hojas, 1 fija lateral 1,92x1,92 m

Línea: Slimline PD10
Institución: Veka
Vigencia: NCh3137/1 - NCh3297

ACREDITACIÓN

COMPORTAMIENTO	MECANISMO	RESPONSABLE
TÉRMICO	Memoria de Cálculo NCh3137/1 y NCh3137/2	DITEC - MINVU
PERMEABILIDAD AL AIRE	Ensayo NCh3297	CITEC - UBB

DESEMPEÑO

TRANSMITANCIA TÉRMICA, U [W/m²K]	2,8	PERMEABILIDAD AL AIRE A 100 Pa	4,48 [m³/hm²]	CLASE DE PERMEABILIDAD AL AIRE	3
			2,86 [m³/hm]		

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS

GENERALES

Tipo abertura: Corredera
Tipo de acristalamiento: DVH
Materialidad del marco: PVC

Configuración: 2 hojas, 1 fija lateral
Color: Blanco

Mecanismo de cierre: Manilla tirador con 2 puntos de cierre

MEDIDAS GENERALES

Ancho: 1920 [mm]
Superficie: 3,69 [m²]

Alto: 1920 [mm]
Longitud de junta: 5,5 [m]

* PARA VARIACIONES DE HASTA ±10% EN LA SUPERFICIE TOTAL DE LA VENTANA, SE MANTIENE LA CLASE DE PERMEABILIDAD AL AIRE INDICADA

DETALLE MARCO

Rotura puente térmico: n/a
Factor de marco: 0,8

Refuerzo: Sin refuerzo metálico

DETALLE SECCIÓN ACRISTALADA

Superficie: [m²]

Cristal 1: Común
Incoloro
5 [mm]

Espaciador 1: Sin especificar
15 [mm]

Cristal 2: Común
Incoloro
5 [mm]

Espaciador 2: n/a
n/a [mm]

Cristal 3: n/a
n/a
n/a [mm]

Gas de cavidad(es) interior(es): aire

Factor solar composición acristalada:

Ilustración 13. Ventana considerada para viviendas

Para respetar la normativa de superficie máxima acristalada y que todas las viviendas tengan la misma proporción se hicieron los cálculos en base a lo descrito en el punto 2.3.1. Los resultados de estos cálculos se presentan en el Cuadro 12.

Cuadro 12. Áreas máximas de ventana según pared y orientación

Muros (Tipología- Orientación)	Área pared [m ²]	Área ventana [m ²]	%ventana max	N° ventanas escogido	Área de ventana real [m ²]	Respeto norma	% Real de ventana
C1-N	24.39	19.03	78.00	1.00	3.69	SI	15.11
C1-E	20.94	10.68	51.00	2.00	7.37	SI	35.21
C1-S	24.39	9.27	38.00	2.00	7.37	SI	30.23
C1-O	20.94	10.68	51.00	2.00	7.37	SI	35.21
C2-N	24.12	18.81	78.00	1.00	3.69	SI	15.29
C2-E	20.67	10.54	51.00	2.00	7.37	SI	35.68
C2-S	24.12	9.16	38.00	2.00	7.37	SI	30.57
C2-O	20.67	10.54	51.00	2.00	7.37	SI	35.68
C3-N	23.20	18.09	78.00	1.00	3.69	SI	15.89
C3-E	19.75	10.07	51.00	2.00	7.37	SI	37.34
C3-S	23.20	8.81	38.00	2.00	7.37	SI	31.79
C3-O	19.75	10.07	51.00	2.00	7.37	SI	37.34
DE-N	22.05	17.20	78.00	1.00	3.69	SI	16.72
DE-E	18.83	9.60	51.00	2.00	7.37	SI	39.16
DE-S	22.05	8.38	38.00	2.00	7.37	SI	33.44
DE-O	18.83	9.60	51.00	2.00	7.37	SI	39.16

La superficie de ventanas ajustada a cada casa se muestra en el Cuadro 13.

Cuadro 13. Áreas de ventanas según tipología y orientación

Tipo	Área muros	Ventana [%]	Área ventana [m2]
C1-N	24.39	15.11	3.69
C1-E	20.94	35.21	7.37
C1-S	24.39	30.23	7.37
C1-O	20.94	35.21	7.37
C2-N	24.12	15.11	3.64
C2-E	20.67	35.21	7.28
C2-S	24.12	30.23	7.29
C2-O	20.67	35.21	7.28
C3-N	23.20	15.11	3.51
C3-E	19.75	35.21	6.95
C3-S	23.20	30.23	7.01
C3-O	19.75	35.21	6.95
DE-N	22.05	15.11	3.33
DE-E	18.83	35.21	6.63
DE-S	22.05	30.23	6.66
DE-O	18.83	35.21	6.63

Para el cálculo de las infiltraciones según el procedimiento descrito en el punto 2.4.4 se tienen los valores presentados en el Cuadro 14.

Cuadro 14. Valores de infiltración según tipología

Desde ASHRAE STANDARD 62.2						
Tipologías	Superficies [m ²]	N° de habitaciones	Volumen aire [L/s]	Volumen de aire [m ³ /h]	Volumen vivienda [m ³]	Ren/h
C1	96.56	2.00	24.98	89.94	222.08	0.40
C2	94.21	2.00	24.63	88.67	216.68	0.41
C3	86.58	2.00	23.49	84.55	199.13	0.42
D	78.45	2.00	22.27	80.16	180.44	0.44
E	78.45	2.00	22.27	80.16	180.44	0.44
Depto Oeste (1201)	70.95	2.00	21.14	76.11	183.00	0.42
Depto Sureste (503)	92.90	3.00	27.94	100.57	239.60	0.42
Depto Noreste (505)	104.00	4.00	33.10	119.16	268.40	0.44

Anexo C: Descripción de perfiles y suposiciones utilizadas

El perfil de ocupación en el hogar fue definido mediante los datos entregados por la Encuesta Nacional de Uso de Tiempo. El desglose de los tiempos considerados se presenta en el Cuadro 15.

Cuadro 15. Tiempos considerados para la generación de perfiles

Conclusiones provenientes de la ENUT 2023	
Tiempo de trabajo promedio [h]	6.54
Tiempo de trabajo no remunerado (Actividades propias y domésticas) [h]	3.85
Tiempo promedio usado en el trabajo (Teniendo que salir de la vivienda) [h]	9.04
Jornada laboral	40 horas
Horas de trabajo por día (Semana laboral de 5 días)	8
Tiempo de traslado promedio por región [h]	
Valparaíso	1.16
Concepción	1.07
Santiago	1.45
Promedio	1.22
Jornada	
Inicia	8 (08:00)
Salida de casa	7.39 (07:24)
Termina a las	17 (17:00)
Llega a casa	17,61 (17:36)
Ocupación en casa	
Horas en casa	18:00-24:00
	24:00-07:00
Horas fuera	07:00-18:00

Los perfiles de uso de equipos de cocina se definieron considerando la información respecto a tiempo promedio de cocina en un día tipo. El tiempo de uso de televisores también se especificó en la ENUT 2023

Los perfiles de equipos se presentan en el Cuadro 16.

Cuadro 16. Factores de uso horarios para equipos de las tipologías

Hora	Factor de uso de cocina	Factor de uso de refrigerador	Factor de uso de cargador de celular	Factor de uso de televisor
0	0	0.5	1	0
1	0	0.5	1	0
2	0	0.5	1	0
3	0	0.5	1	0
4	0	0.5	1	0
5	0	0.5	1	0
6	0.59	0.5	1	0
7	0	0.5	0	0
8	0	0.5	0	0
9	0	0.5	0	0
10	0	0.5	0	0
11	0	0.5	0	0
12	0	0.5	0	0
13	0	0.5	0	0
14	0	0.5	0	0
15	0	0.5	0	0
16	0	0.5	0	0
17	0	0.5	1	0
18	0.59	0.5	1	0
19	0	0.5	1	1
20	0	0.5	1	0.78
21	0	0.5	1	0
22	0	0.5	1	0
23	0	0.5	1	0

Para el perfil de consumo de ACS se consideró el perfil presentado en el punto 2.4.3. En el procedimiento de cálculo no solo se consideró el agua caliente utilizada si no también el agua fría de mezcla para temperar el agua. La ecuación utilizada para calcular la fracción de agua caliente a utilizar se presenta en la ecuación (6).

$$P = \frac{T_m - T_c}{T_h - T_c} \quad (6)$$