



UNIVERSIDAD DE CHILE
FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICAS
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL

**EVALUACIÓN TÉCNICA Y ECONÓMICA DE APLICAR
MEDIDAS DE REACONDICIONAMIENTO EN VIVIENDAS
EXISTENTES**

MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL

CRISTIAN NICOLÁS ORCAISTEGUI VENEGAS

PROFESORA GUÍA:
PAULA ARANEDA GUERRA

MIEMBROS DE LA COMISIÓN:
MIGUEL BUSTAMANTE SEPÚLVEDA
BORIS SÁEZ GARCÍA

SANTIAGO DE CHILE

2018

Evaluación técnica y económica de aplicar medidas de reacondicionamiento en viviendas existentes

El objetivo principal de este trabajo es evaluar técnica y económicamente, dos medidas de reacondicionamiento de vivienda, que ayuden a disminuir el consumo energético de estas. La evaluación técnica considera la presentación final de la solución, es decir, su puesta en servicio, pero además es relevante en esta evaluación, el impacto medio ambiental que genera el fabricarla como también, el ponerla en funcionamiento.

Para este trabajo es de importancia la caracterización de las viviendas, por lo que se recurre al estudio realizado por el CDT titulado: *Estudio de usos finales y curva de oferta de conservación de la energía en el sector residencial de Chile*, pero además se cruza con información extraída del Instituto Nacional de Estadísticas y del Observatorio Habitacional, con los cuales es posible obtener la información de materialidad, tipología y geometría de las viviendas, además de su cuantificación numérica, y su consumo energético. Se determina las dos caracterizaciones de viviendas predominantes, y las regiones sobre las cuales se hace el análisis.

Para el cálculo de ahorro y generación se ocupan cálculos teóricos y un software de uso libre llamado explorador solar, respectivamente.

Para la evaluación medioambiental de las medidas de reacondicionamiento se utilizan tres herramientas como fuentes de información: un catálogo elaborado en el país junto con diversos productores llamado Ecobase, Declaraciones de Impacto Ambiental de productores y un software de análisis de ciclo de vida llamado Simapro.

Se realiza un cálculo de ahorro, se estima el impacto ambiental, en particular la huella de carbono, y también se calcula el costo de inversión de cada una de las medidas, para luego analizar relaciones de inversión sobre ahorro e impacto ambiental evitado sobre costo, esto sumada con un análisis de factibilidad determina la mejor solución para tres regiones, la Metropolitana, la de Valparaíso y la de Biobío. Dichas soluciones resultan ser la implementación de un Colector Solar, para Santiago y Valparaíso, y la aislación de muros para Concepción.

Se establece que las soluciones óptimas tienen un ahorro anual máximo de \$131.362, con una inversión de \$502.226 y un impacto ambiental anual evitado de 50,2 kg de CO₂ equivalente.

Agradecimientos

En primer lugar quisiera agradecer a los profesores miembros de la comisión, Boris Sáez y Miguel Bustamante, así como también a mi profesora guía Paula Araneda por su disposición y paciencia.

También agradezco a mi familia y amigos que me apoyaron no tan solo durante el proceso de la memoria, si no también durante toda mi larga, muy larga, carrera universitaria.

Agradezco a mi abuelita, cuyos cariños y cuidados permitieron que las tardes de estudio fueran más llevaderas.

A mi papá le doy las gracias por apoyarme y confiar en mí.

Y por último, agradezco a mi madre, que sin ella habría logrado nada, que es mi pilar fundamental y la razón principal de no haberme rendido. Te amo como a nadie y espero que los momentos difíciles que hemos pasado, sean recompensados.

Tabla de contenido

Capítulo 0: Introducción	1
Capítulo 1: Antecedentes	3
1.1 Conceptos claves	3
1.2 Escenario energético	5
1.3 Condiciones de confort en la vivienda	7
1.4 Reglamentación térmica.....	8
1.5 Desarrollo sostenible	9
1.6 Revisión bibliográfica principal	10
1.7 Conclusiones del capítulo.	13
Capítulo 2: Descripción climática de Chile	15
2.1 Zonificación térmica	15
2.2 Zonificación climático habitacional	16
2.3 Conclusiones de capítulo	18
Capítulo 3: Caracterización de la vivienda en Chile.....	20
3.1 Generalidades de la vivienda en Chile	20
3.2 Materialidad	21
3.3 Tipologías	22
3.4 Caracterización predominante	22
3.5 Caracterización del consumo energético.	25
3.6 Conclusiones del capítulo	30
Capítulo 4: Medidas de reacondicionamiento de viviendas.....	31
4.1 Metodología de elección	31
4.1 Aislamiento de envolvente térmica.....	32
4.2 Uso de Fuente de Energías Renovables No Convencionales.....	35
4.3 Conclusiones de capítulo	37
Capítulo 5: Cálculo de ahorro.	39
5.1 Metodología.....	39
5.1.1. Metodología para Aislamiento de la envolvente térmica	39
5.1.2 Metodología para Uso de fuente de Energía Renovable no Convencional	40
5.2 Aislamiento de la envolvente térmica.....	41

5.3	Uso de Fuente de Energías Renovables No Convencionales.....	43
5.4	Conclusiones del capítulo	49
Capítulo 6: Estimación y comparación de impactos ambientales.....		51
6.1	Metodología de obtención de impactos	51
6.2	Metodología de Comparación de impactos ambientales	53
6.3	Aislamiento de la envolvente térmica.....	54
6.4	Uso de Fuentes de Energías Renovables No Convencionales.....	57
6.5	Conclusiones del capítulo.	58
Capítulo 7: Cálculo de costos.		60
7.1	Metodología.....	60
7.2	Envolvente térmica.....	60
7.3	Fuente de ERNC	61
7.4	Conclusiones del capítulo.	62
Capítulo 8: Análisis técnico y Económico		63
8.1	Relación costo económico/ahorro anual.....	63
8.2	Relación impacto ambiental evitado/costo económico.....	63
8.3	Factibilidad técnica (método Constructivo)	64
8.3.1	Aislación de muros perimetrales.....	64
8.3.2	Instalación de fuentes solares.	65
8.4	Conclusiones del capítulo	66
Capítulo 9: Discusión y conclusiones.....		68
9.1	Discusión	68
9.2	Conclusiones.....	69
Capítulo 10: Bibliografía.		74
Anexo A: Análisis de las herramientas de impacto ambiental.....		77
Anexo B: Tablas de cálculos.....		82

Capítulo 0: Introducción

En el presente trabajo de título se realizará un estudio documental sobre las viviendas del país; para poder desarrollar la investigación se pretende definir no tan solo su número, sino también, describir los materiales que componen sus elementos perimetrales, o envolvente. Además, se requiere conocer su superficie y geometría, sumado al conjunto en el cual se encuentran insertas. Con esta información es posible estimar el consumo energético de la vivienda según su ubicación geográfica.

Se determinan dos caracterizaciones de viviendas para la cuales se hace el análisis, de acuerdo con su porcentaje de participación en parque de vivienda.

Conociendo los consumos y las caracterizaciones predominantes, se proponen dos medidas de reacondicionamiento de viviendas, con dos alternativas cada una de ellas, las cuales pretenden disminuir el consumo energético de dichas viviendas. La primera medida habla del aislamiento de los muros perimetrales de las viviendas, y la segunda sobre el uso de fuentes de energía solar. Se calcula el ahorro esperado, se estima el impacto ambiental de estas en base a diferentes fuentes de información, se calcula el costo monetario y finalmente se compara las relaciones costo sobre ahorro, e impacto sobre costo, permitiendo determinar cuál de estas medidas resulta más efectiva.

Las directrices en las que se basa este trabajo son las cada vez más frecuentes medidas de eficiencia energética y medición de impacto, que derivan en el desarrollo sostenible a lo largo del tiempo, y que son objetivos de las políticas públicas del país.

- **Objetivos generales**

Dentro de este trabajo se pretende encontrar una solución económicamente, así como medioambientalmente óptima, que permita mitigar el consumo energético de las viviendas. Para ello se desarrollan y analizan los siguientes puntos:

- i. Antecedentes
- ii. Descripción climática de Chile
- iii. Caracterización de la vivienda en Chile
- iv. Medidas de reacondicionamiento de viviendas
- v. Cálculo de ahorro
- vi. Estimación y comparación de impactos ambientales
- vii. Cálculo de costos
- viii. Análisis técnico y económico

Por lo demás, una vez presentados los temas, se procede a concluir y comentar los resultados y análisis expuestos.

- **Objetivos específicos.**

Dentro de este trabajo se pretende concluir los siguientes aspectos.

- i. De las soluciones analizadas, determinar cuál de ellas produce un mayor ahorro a un menor costo, es decir la eficacia de ellas, por esto se analiza el periodo de retorno de la inversión de las soluciones.
- ii. De las soluciones analizadas de aislación de muros, determinar cuál de ellas tiene un menor impacto ambiental en su producción.
- iii. De las soluciones analizadas, determinar cuál de ellas evita un mayor impacto ambiental una vez implementada y a qué costo, de este modo se busca la más eficaz ambientalmente.
- iv. A nivel macro, determinar el ahorro energético y su costo global, así como también el impacto evitado de la solución escogida.

Capítulo 1: Antecedentes

1.1 Conceptos claves

En esta parte del capítulo se muestran las definiciones de la norma NCh853, sobre algunos conceptos claves para entender este trabajo. Otros términos se definen en NCh849.

- a) Conductividad térmica, λ : cantidad de calor que en condiciones estacionarias pasa en la unidad de tiempo a través de la unidad de área de una muestra de material homogéneo de extensión infinita, de caras planas y paralelas y de espesor unitario, cuando se establece una diferencia de temperatura unitaria entre sus caras. Se expresa en $W/m \cdot K$. Se determina experimentalmente según NCh850 o NCh851.
- b) Coeficiente superficial de transferencia térmica, h : flujo que se transmite por unidad de área desde o hacia una superficie en contacto con el aire cuando entre éste y la superficie existe una diferencia unitaria de temperaturas. Se expresa en $W/m^2 \cdot K$. Se puede determinar experimentalmente según NCh851.
- c) Complejo: conjunto de elementos constructivos que forman parte de una vivienda o edificio, tales como: complejo de techumbre, complejo de entepiso, etc.
- d) Elemento: conjunto de materiales que dimensionados y colocados adecuadamente permiten que cumplan una función definida, tal como: muros, tabiques, losas y otros.
- e) Material: componente que por sí solo no cumple una función específica.
- f) Resistencia térmica, R : oposición al paso del calor que presentan los elementos de construcción. Se pueden distinguir cuatro casos:
- g) Resistencia térmica de una capa material, R : para una capa de caras planas y paralelas, de espesor e , conformada por un material homogéneo de conductividad térmica λ , la resistencia térmica, R , queda dada por $R = e/\lambda$. Se expresa en $m^2 \cdot K/W$.

NOTA - Los materiales que se utilizan en espesores menores que 3 mm ofrecen tan pequeña resistencia térmica, que ésta no se debe considerar en los cálculos prácticos. Tal es el caso de papeles, folios y láminas delgadas. No obstante, lo anterior, ellos pueden contribuir a aumentar la resistencia térmica de las cámaras de aire confinadas por ellos, al actuar por reflexión, si la cara del material que mira a dicha cámara es la brillante (lámina de aluminio $\epsilon = 0,1$ fierro galvanizado brillante $\epsilon = 0,25$).

- h) Resistencia térmica total de un elemento compuesto, R_t : inverso de la transmitancia térmica del elemento. Suma de las resistencias de cada capa del elemento. Se expresa en $m^2 \cdot K/W$.
- i) Resistencia térmica de una cámara de aire no ventilada, R_g : resistencia térmica que presenta una masa de aire confinado (cámara de aire). Se determina experimentalmente por medio de NCh851. Se expresa en $m^2 \cdot K/W$.
- j) Resistencia térmica de superficie, R_s : inverso del coeficiente superficial de transferencia térmica h , es decir: $R_s = 1/h$. Se expresa en $m^2 \cdot K/W$.
- k) Transmitancia térmica, U : flujo de calor que pasa por unidad de superficie del elemento y por grado de diferencia de temperaturas entre los dos ambientes separados por dicho elemento. Se expresa en $W/m^2 \cdot K$.

Se determina experimentalmente según NCh851 o bien por cálculo como se señala en la presente norma.

- l) Transmitancia térmica lineal, K : flujo de calor que atraviesa un elemento por unidad de longitud del mismo y por grado de diferencia de temperatura. Se expresa en $W/m^2 \cdot K$

NOTA - Se suele emplear en elementos en los que prevalece claramente la longitud frente a las otras dimensiones, como, por ejemplo, un puente térmico lineal, el perímetro de un edificio, etc.

Abreviaciones utilizadas

e	: Espesor del elemento
ERNC	: Energía Renovable No Convencional
GLP	: Gas Licuado de Petróleo
GN	: Gas Natural
K	: Grado Kelvin
kWh	: Kilo Watt hora
GWh	: Giga Watt hora
m	: Metro
°C	: Grado Celsius
PE	: Poliestireno Expandido
SIC	: Sistema Interconectado Central
SING	: Sistema Interconectado del Norte Grande
SST	: Sistema Solar Térmico
W	: Watt
Tcal	: Tera-caloría

1.2 Escenario energético

Una de las principales razones de la realización de este trabajo de título, es la actual problemática, a nivel país, que resulta el consumo y generación de energía. De forma particular, la generación desde fuentes contaminantes y no renovables. En el siguiente punto se detalla parte de esta problemática.

Es sabido que el consumo energético, en sus diversas fuentes, se multiplica año a año, debido al aumento de la población por un parte, aunque también es posible afirmar que la principal razón es el acercamiento al desarrollo económico del país, que acelera la producción de bienes y servicios, además de producir aumento en el consumo del sector vivienda, así como también de la industria, debido a diversos artefactos para entretenimiento y comodidad, entre otros de los residentes y trabajadores. Es así como en diez años, en el periodo comprendido entre 2005 y 2015, el consumo energético ha aumentado cerca de un 20%. Los datos son publicados en el Anuario Estadístico de Energía 2016, por la Comisión Nacional de Energía (CNE) del Ministerio de energía, cuyos consumos anuales se presentan a continuación.



*Figura 1: Gráfico de evolución en Consumo.
Fuente Anuario 2016 Ministerio de Energía.*

Como es posible notar, el consumo energético del país pasó de 234.009 TCal en 2005 a 278.061 TCal en 2015, aunque también es posible notar un valor peak en 2013 de casi 300.000 TCal, esto debido en parte al crecimiento económico producido durante los periodos anteriores.

Además, debemos considerar que la mayor proporción de la matriz de consumo final energética chilena proviene de fuentes fósiles (hidrocarburos), no renovables, correspondiendo en 2015 a un 63% del total, que asimismo no son producidos en el país, y, por lo tanto, deben ser importados, lo que termina impactando en la dependencia energética del país. En el gráfico siguiente se muestran las distribuciones de generación, según su tipo para tres años diferentes, datos proporcionados por el ministerio de energía.

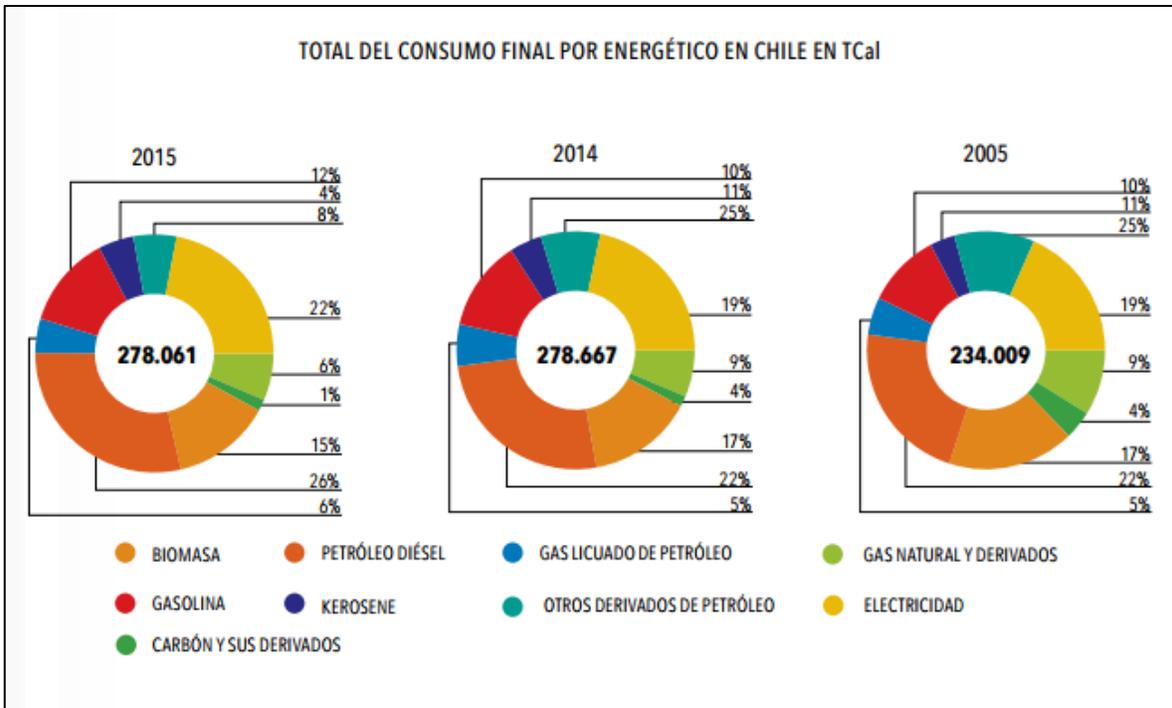


Figura 2: Gráfico de consumo final por energético. Fuente Anuario 2016, Ministerio de Energía.

Finalmente, para dar contexto a esta información, es fundamental mostrar la participación en el consumo energético del sector vivienda, el cual es parte del 21% del total nacional en conjunto con el comercial y público, como se muestra a continuación.

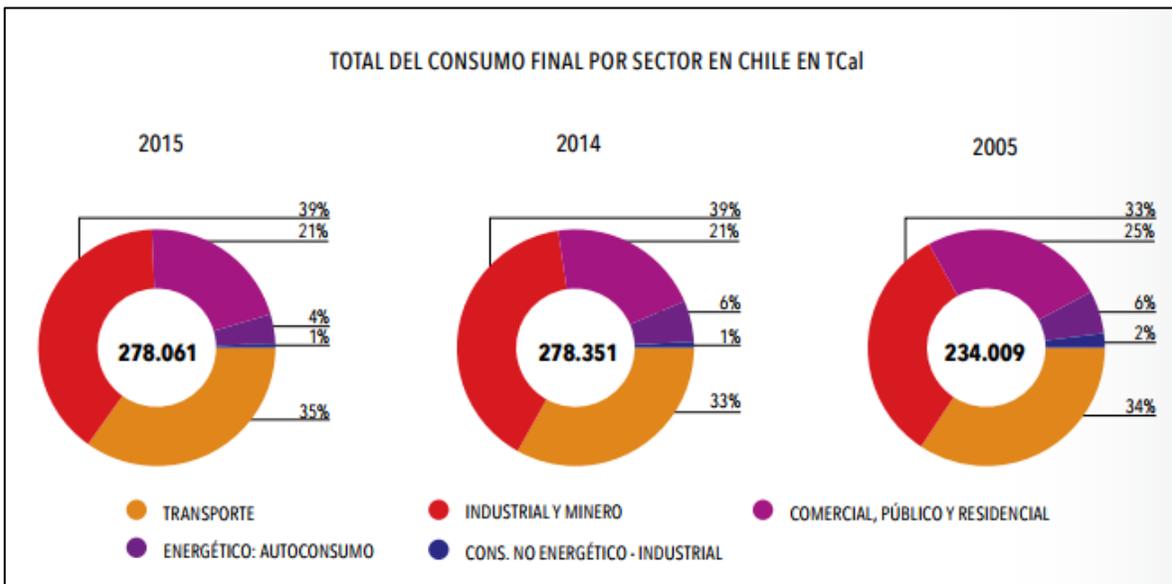


Figura 3: Gráfico de Consumo por Sector. Fuente Anuario 2016, Ministerio de energía.

De lo anterior es posible afirmar que, con medidas adoptadas para reducir el consumo energético de las viviendas, se impacta directamente el consumo energético a nivel país,

y, por lo tanto, en la independencia energética, que sin duda aporta al desarrollo económico. Estas medidas son complementarias a la utilización de artefactos y electrodomésticos de mayor eficiencia, además del cuidado en la utilización de las diversas fuentes de energía.

Durante los últimos años ha existido una fuerte inversión en la generación eléctrica a partir de Fuente de Energía Renovable no Convencional (en adelante ERNC), que ha impulsado principalmente las fuentes solares y eólicas llegando estas a ser el 15% de la matriz energética del país¹, sin embargo, no se ha incentivado de forma masiva el uso eficiente de la energía, así como tampoco la generación propia de esta.

1.3 Condiciones de confort en la vivienda

Para lograr una adecuada habitabilidad en la vivienda, es necesario que los parámetros que afectan el confort de las personas se mantengan en ciertos márgenes, que se encuentran definidos a nivel internacional. Estos valores son establecidos considerando las necesidades de un grupo promedio de la población, por lo que es posible que los estándares que se definen a continuación no sean aplicables a un grupo particular de personas, como, por ejemplo: adultos mayores que tienen necesidades especiales de temperatura del ambiente. Sin embargo, valores cercanos de estos parámetros a dichos estándares, producen efectos positivos en la población, como lo es mayor productividad y mejor salud física.

Dentro del confort ambiental existen tres categorías: confort higrotérmico, confort acústico y confort lumínico. Todos ellos a su vez dependen de tres factores, como lo son el físico (que involucra temperatura del aire), temperatura de paredes, Humedad Relativa, color de las paredes, olor, intensidad y calidad de la luz, niveles de ruido, etc. El factor humano, que incluye edad, sexo y factores culturales. Y finalmente los externos, como metabolismo, vestimenta, actividad física.

Para el desarrollo de este trabajo, el enfoque estará sobre el confort higrotérmico, es decir, la relación entre temperatura y humedad, para el cual se toma como aceptable las siguientes condiciones:

Tabla 1: condiciones de confort definidas.

Temperatura del aire	20°C (invierno) 27°C (verano)
Humedad relativa del aire	Entre 20% y 75%
Velocidad del aire	Menor a 1m/s

Cabe recalcar que en periodo de invierno la temperatura de confort puede ser considerada menor a 20°C, y para periodos nocturnos con un mínimo de 18°C. También, resulta necesario conocer la interacción entre temperatura y humedad, dada por la carta psicrométrica, que se muestra a continuación.

¹ CNE, noviembre 2017. 3.509 MW sobre 22.686 MW del SING y SIC.

La importancia de conocer estos factores radica en el gasto energético que se produce para llegar a ellos o mantenerlos en el tiempo, es por esta razón que se permiten variaciones en la temperatura de confort, de modo que el consumo energético de las viviendas disminuya a medida que se cambia de estaciones.

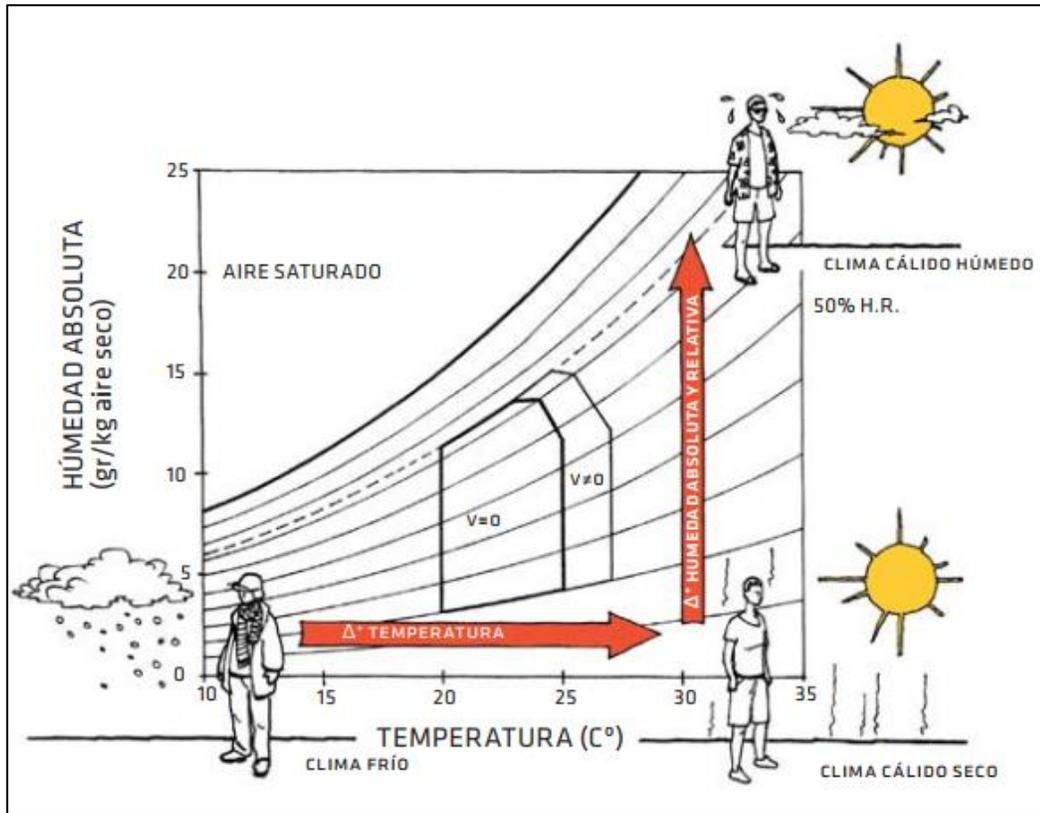


Figura 4: Esquema de confort higrotérmico. Fuente: Guía EE Vivienda Social. Minvu 2009

1.4 Reglamentación térmica

La reglamentación térmica vigente desde 2007, instaure requerimientos mínimos para los elementos de la envolvente térmica, como lo son techo, muros perimetrales y piso. Es importante destacar que previo al 2007, no existía ninguna exigencia para dichos elementos, por tanto, quedaba a criterio del diseñador.

En la siguiente tabla se muestran los valores pedidos en el Art. 4.1.10 de la O.G.U.C. (Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones), donde se diferencia según zona térmica, las cuales se definen en la norma y se muestran en el capítulo siguiente, adicionalmente se indica el porcentaje máximo de superficie vidriada para vidrio monolítico

Tabla 2: Exigencias térmicas a elementos de la envolvente de la vivienda

Zona térmica	Techumbre		Muros		Pisos		Ventanas
	U	Rt	U	Rt	U	Rt	% máximo
	W/m ² K	m ² K/W	W/m ² K	m ² K/W	W/m ² K	m ² K/W	
1	0,84	1,19	4,0	0,25	3,60	0,28	50
2	0,60	1,67	3,0	0,33	0,87	1,15	40
3	0,47	2,13	1,9	0,53	0,70	1,43	25
4	0,38	2,63	1,7	0,59	0,60	1,67	21
5	0,33	3,03	1,6	0,63	0,50	2,00	18
6	0,28	3,57	1,1	0,91	0,39	2,56	14
7	0,25	4,00	0,6	1,67	0,32	3,13	12

También, las exigencias pueden ser reflejadas en términos de R 100, que es el factor de resistencia térmica pedido para la zona, pero multiplicado por 100. Los valores se muestran en la siguiente tabla.

Tabla 3: Exigencias térmicas a elementos de la envolvente de la vivienda

Zona térmica	Techumbre	Muros	Pisos Ventilados
	R100	R100	R100
	[m ² K/W]x100	[m ² K/W]x100	[m ² K/W]x100
1	94	23	23
2	141	23	98
3	188	40	126
4	235	46	150
5	282	50	183
6	329	78	239
7	376	154	295

Como se puede observar, a medida que se baja en la zona térmica, se produce un aumento en las exigencias de resistencia térmica para los elementos de la envolvente, esto se debe al aumento de los grados-día que presenta cada zona y que podremos analizar en el siguiente capítulo.

1.5 Desarrollo sostenible

Uno de los mayores y principales desafíos que se enfrentan en un futuro próximo, es alcanzar un desarrollo capaz de satisfacer las necesidades del presente, sin comprometer la capacidad de las futuras generaciones para satisfacer sus propias necesidades, que sea amigable con nuestro entorno, provocando el menor impacto posible al medio ambiente, promoviendo el crecimiento económico, así como también la inclusión social.

Chile se ha suscrito a los Objetivos de Desarrollo Sostenible, fomentados por la Organización de Naciones Unidas, y que establece 17 objetivos y 169 metas a cumplir el año 2030, entre los cuales destaca Energía Asequible y No Contaminante, Comunidades y Ciudades Sostenibles, y Producción y Consumo Responsables.

Desde el sector de la construcción, se puede aportar de forma importante a este desafío, diseñando, construyendo y modificando ciudades para que cumplan los objetivos de la sustentabilidad. En esta materia se pueden encontrar guías, como el Código de Construcción Sustentable para Viviendas (Minvu), que muestra buenas prácticas para mejorar el desempeño ambiental de las viviendas, utilizando criterios objetivos y verificables.

Una de estas prácticas, es el reacondicionamiento de las viviendas existentes, que es en el cual se basa este trabajo. Permite disminuir el consumo energético de las viviendas, y, por ende, el impacto ambiental, así como también aporta al crecimiento económico del país, y a la salud de la población, ya que, al disminuir el consumo energético en calefacción, permite la utilización de este recurso en otras actividades, además al mejorar la aislación se obtienen mejores condiciones de confort dentro de la vivienda.

De igual manera, es importante que los materiales utilizados en la construcción, en las cantidades necesarias para realizar las mejoras, produzcan el menor impacto ambiental en su producción, y para ello se requiere investigar estos materiales y su proceso de fabricación.

1.6 Revisión bibliográfica principal

- Romero, N. P. (2011). *Consumo de energía a nivel residencial en Chile y análisis de eficiencia energética en calefacción* (Memoria de pregrado). Universidad de Chile.

Esta memoria tiene como objetivo principal caracterizar el consumo de energía en el sector residencial de Chile y, a partir de ello, identificar dónde enfocar las medidas que deben implementarse para generar un mayor ahorro de energía.

Para cumplir con los objetivos, se tiene acceso a encuestas realizadas por el Centro de Desarrollo Tecnológico CDT, en el marco de un estudio que se denomina: *Estudio de usos finales y curva de oferta de conservación de la energía en el sector residencial de Chile* (2010), el cual recoge diferentes datos de la vivienda, como materialidad y tipología, además de información sobre consumos energéticos. Este estudio también es analizado para el presente trabajo de título.

Una vez realizada la caracterización, se toma una vivienda tipo y se le aplican simulaciones con diferentes escenarios y medidas de eficiencia energética, que radican en aislación de la envolvente térmica, además de cambio en vidrios monolíticos a doble vidriado hermético (DVH), para estimar el ahorro de consumo. El software utilizado para la modelación es el CCTE, *Certificación del Comportamiento Térmico de Edificios*,

utilizado para la evaluación y certificación térmica de viviendas y edificaciones en Chile, desarrollado por AICIA - Grupo de Termotecnia, Universidad de Sevilla, España.

Finalmente se estiman los costos de las medidas más eficientes.

La autora concluye que las medidas más eficientes son el cambio de vidrio monolítico a DVH y aislar los muros de la vivienda con 20 o 30 mm más de los exigidos por normativa. También señala que el periodo de retorno de la inversión es de alrededor de 20 años.

- Centro de Desarrollo Tecnológico (CDT). (2010). *Estudio de usos finales y curva de oferta de conservación de la energía en el sector residencial de Chile.*

Este estudio realizado para el Programa País de Eficiencia Energética del Ministerio de Energía del Gobierno de Chile, por la Corporación de Desarrollo Tecnológico de la Cámara Chilena de la Construcción en conjunto con ArqEnergía y Feedback, busca caracterizar los usos finales de la energía en el sector residencial de Chile, y construir la curva de oferta de conservación de energía para dicho sector, con el fin de entregar información de base para fundamentar las políticas y acciones en eficiencia energética del país.

Para ello, se realiza una encuesta a nivel nacional, abarcando las 7 zonas térmicas del país, que permitió estimar entre otros, los principales usos finales y equipos consumidores de energía en el sector residencial chileno, el consumo de energía asociado y las principales tipologías de viviendas urbanas. El estudio tiene un nivel de confianza del 95% y un 5% de error muestral máximo respecto de las viviendas urbanas en cada zona. Una vez realizada la encuesta se procedió a su análisis, pudiendo obtener así, además de los resultados ya mencionados, el nivel de confort de las viviendas a nivel nacional percibido por los encuestados, la tenencia de equipos desagregada a nivel socioeconómico, por zona térmica, rural o urbano, y los principales indicadores de consumo energético a nivel residencial, entre otros entregables

Dentro de este trabajo se presentan los principales resultados de la encuesta.

- Ma, Z., Cooper, P., Daly, D. & Ledo, L. (2012). *Existing building retrofits: Methodology and state-of-the-art.*

Para conocer las actuales maneras de reacondicionar una vivienda, es necesario recurrir a la bibliografía pertinente. En este caso, se acude a un trabajo publicado en la revista electrónica Elsevier (www.elsevier.com) el cual resume el uso de las principales tecnologías y otras de reacondicionamiento de vivienda, para disminuir su consumo energético.

En el artículo, se hace referencia a que el reacondicionamiento de las edificaciones existentes, las cuales presentan muchos retos y oportunidades, siendo su principal reto las incertezas propuestas por el clima y su cambio, además de las mismas variaciones en el comportamiento humano, los servicios que estos crean y consumen, las políticas

de gobierno, entre otras. Los cuales afectan directamente en la selección de las tecnologías que se utilizarán y, por lo tanto, el éxito del proyecto de reacondicionamiento.

En cuanto a las oportunidades, es importante mencionar que, principalmente, el reacondicionamiento ofrece mejorar la eficiencia energética, por otra parte, también permite aumentar la productividad de las personas, reducir los costos de mantenimiento y mejorar el confort térmico. Además de poder ayudar a mejorar la seguridad energética del país y la responsabilidad social de las empresas.

En la publicación, además, se habla del problema genérico del reacondicionamiento. Este consiste en la optimización, es decir, el reacondicionamiento que resulte más efectivo a un menor costo, y para ello, se mencionan cinco fases para desarrollar el análisis. Primero, se debe definir el alcance del trabajo y los objetivos del proyecto. Segundo, una auditoría de energía de la edificación, para conocer su consumo, rendimiento y diagnóstico final. La tercera fase, es identificar las opciones de reacondicionamiento, usando las herramientas económicas y modelos de energía apropiados. La cuarta fase, es la implementación y puesta en marcha de las medidas seleccionadas, además de las correspondientes mediciones de ellas. Finalmente, se deben realizar validaciones y verificaciones de los ahorros energéticos.

En una parte que resulta de especial importancia para esta investigación, se muestran las principales categorías de reacondicionamiento, las que se resumen en el siguiente recuadro.

Tabla 4: Esquema de medidas de reacondicionamiento.

Reducción de demanda de calefacción y refrigeración. Manejo de Demanda.	Factores humanos. Patrones de consumo de energía.
<ul style="list-style-type: none"> - Aislamiento térmico de edificio (por ejemplo, techo, muros) - Reacondicionamiento de ventanas (por ejemplo, doble o triple vidriado, low-E o baja emisividad, sistemas de sombreado) - Techos y recubrimientos reflectantes - Hermeticidad entre otros. 	<ul style="list-style-type: none"> - Requerimientos de confort - Regímenes de ocupación - Manejo y mantenimiento - Actividades de los ocupantes - Controles de acceso, entre otros.
Equipamiento energéticamente eficiente y de tecnologías de bajo consumo. Manejo de Demanda.	Tecnologías de energía renovable y sistemas de reacondicionamiento eléctrico. Manejo de oferta.
<ul style="list-style-type: none"> - Mejoramiento en control - Ventilación Natural - Mejoramiento en la luminaria - Almacenamiento térmico - Equipamiento energéticamente eficiente y accesorios - Recuperación de calor, entre otros. 	<ul style="list-style-type: none"> - Sistemas solares termales - Sistemas solares fotovoltaicos y fotovoltaicos-termales - Sistemas eólicos - Sistemas de biomasa - Sistemas geotermales - Sistemas de reacondicionamiento eléctrico, entre otros.

Además, respecto a las mismas tecnologías de reacondicionamiento se señala que reacondicionar el material de las edificaciones, los sistemas de servicio y de medición, requiere menos inversión monetaria, mientras proveen un mayor beneficio ambiental que las medidas de reacondicionamiento basadas en tecnologías de energías renovables. Esto se considera importante para el análisis de las medidas de reacondicionamiento a elegir. Se presenta un diagrama obtenido del documento a continuación.

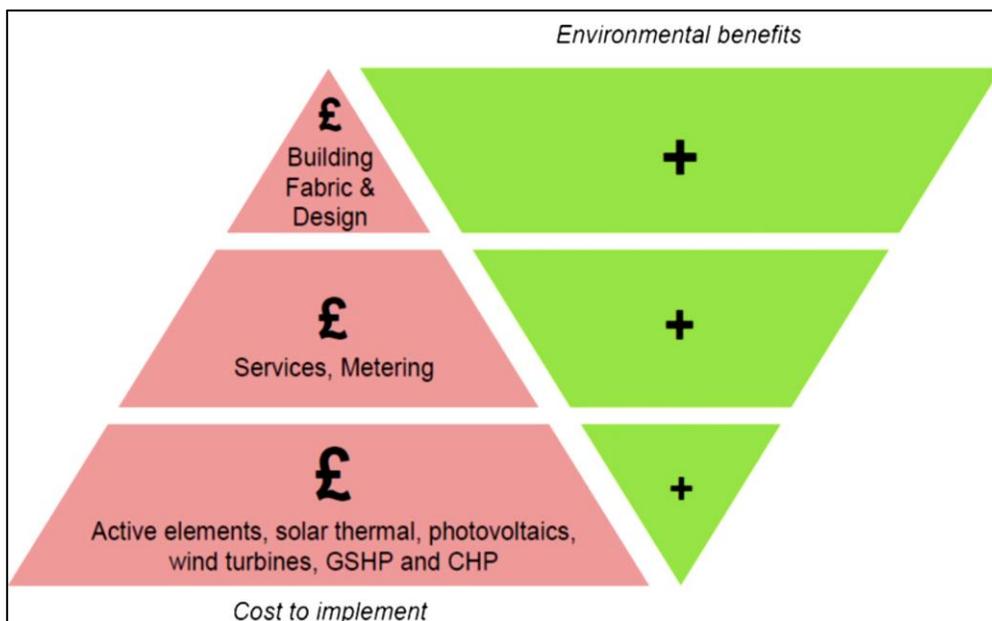


Figura 5: Esquema de balance entre costo y beneficio ambiental de medidas de eficiencia energética.

Como ejemplo, en la publicación se destaca que en un estudio realizado por H. Hens [Energy efficient retrofit of and end of the row house: confronting predictions with long-term measurements (2010) Energy and Buildings], en una casa de dos pisos de 1957, el beneficio que se logra por la utilización de paneles fotovoltaicos es mínimo en comparación con la implementación de mejor aislamiento térmico, ventanas de mayor eficiencia, hermeticidad de la envolvente, mejor ventilación, y calefacción central.

Finalmente, en el documento se concluye que, entre las simulaciones numéricas y la realidad, al implementar las mejoras de reacondicionamiento, hay diferencias debido a la falta de estudios, por lo que es necesario llevar a cabo investigaciones que aumenten el nivel de confianza. También, es necesaria mayor indagación en estrategias adaptativas de bajo consumo energético, para aumentar el nivel de resiliencia de las edificaciones, debido a los efectos del cambio climático sobre ellas.

1.7 Conclusiones del capítulo.

Es importante unir los conceptos de desarrollo sostenible y consumo energético, sabiendo que para conseguir lo primero de forma eficaz, se requiere que lo segundo sea hecho de forma sustentable, es decir considerando el medio ambiente, la comunidad y el

crecimiento económico. Y no es posible tener un consumo energético amigable con el medio ambiente si este no se ve reducido en un corto periodo de tiempo, además de la generación energética para este consumo debe ser de igual forma, con bajo o nulo impacto para el medio, por lo tanto, con el fin de lograr un desarrollo sostenible, se requiere que los actores del consumo sintonicen las condiciones antes mencionadas, y como se vio durante el capítulo, parte importante de estos actores son los residentes de las viviendas del país.

Para lograr disminuir el consumo energético existen diversas formas, algunas de ellas son mejorar la eficiencia de los artefactos que consumen energía, además de optimizar el aislamiento de las viviendas. También es posible aportar con fuentes que tengan cero emisiones al momento de generar energía, con lo que se logra reacondicionar la vivienda, y se produce también un ahorro económico. Sin embargo, llegar a un consumo energético nulo es utopista, debido a que se deben cumplir con las condiciones mínimas de habitabilidad de los hogares, lo que implica mantener temperaturas y humedades, en un periodo de tiempo, que permitan una vida saludable. Para lograr estos objetivos es necesario además estudiar los hogares a nivel nacional, lo que permite dirigir correctamente los esfuerzos.

Existen numerosas fuentes de información que aportan al conocimiento público sobre la eficiencia energética en los hogares, que muestran información sobre soluciones de aislación térmica o analizan el uso de fuentes de energía renovable no convencional, sin embargo, estas no analizan la optimalización de las soluciones en cuanto a sus costos, o su impacto medioambiental.

Capítulo 2: Descripción climática de Chile

Para definir y comprender de mejor manera los aspectos relacionados con las viviendas y sus requerimientos, es necesario conocer la climatología del país, en particular lo referido a las dos normativas vigentes. La Reglamentación térmica y La Norma NCH 1079

2.1 Zonificación térmica

La zonificación térmica se define en la Reglamentación Térmica, básicamente, mediante el uso de los Grados Día de calefacción en época de invierno, y según diferentes rangos de estos se divide el territorio chileno en siete zonas. Es importante destacar que la temperatura base se define como 15 grados Celsius. Según esto se tienen divisiones complejas, pero que mayormente cumplen con dos reglas básicas de distribución: Los grados días aumentan de norte a sur y de mar a cordillera, por lo que se tiene distribución de las zonas en dichos sentidos. Posteriormente las zonas climáticas se definen como a continuación.

Tabla 5: Grados-día según zona térmica

Zona térmica	Grado día (Anual base 15°C)
1	≤ 500
2	$>500 - \leq 750$
3	$>750 - \leq 1000$
4	$>1000 - \leq 1250$
5	$>1250 - \leq 1500$
6	$>1500 - \leq 2000$
7	>2000

Dada la complejidad de la distribución de las zonas térmicas, no se presentan esquemas al respecto en este trabajo, sin embargo, a continuación, y a modo de ejemplo, se señala a qué zona térmica pertenecen las capitales del país, aunque se debe considerar también, que las regiones a las que pertenecen estas capitales tienen diversa Zonificación.

Tabla 6: Ciudad y su zona térmica más representativa.

Ciudad	Zona térmica
Arica	1
Iquique	1
Antofagasta	1
Copiapó	1
La Serena	1
Valparaíso	2

Ciudad	Zona térmica
Santiago	3
Rancagua	3
Talca	4
Concepción	4
Temuco	5
Valdivia	5
Puerto Montt	6
Coyhaique	7
Punta Arenas	7

Es importante recalcar que la zonificación se realiza solo en base al concepto de grado día, dejando de lado otros factores que, si se toman en cuenta en la zonificación climático habitacional, que se detalla en el siguiente punto.

2.2 Zonificación climático habitacional

A diferencia de la zonificación térmica, esta comprende una multiplicidad de factores que permiten definir las zonas, como lo son la oscilación térmica diaria que se da en diferentes períodos del año en una localidad, la nubosidad, la radiación solar, horas de sol diarias, intensidad y dirección de viento, precipitaciones, vegetación y humedad.

Como regla general se puede decir que:

Tabla 7: Resumen de factores climatológicos.

Factores climatológicos	Aumentan	Disminuyen
De norte a sur	<ul style="list-style-type: none"> - Precipitaciones - Humedad en el aire - Número de meses de invierno - Nubosidad - Vegetación 	<ul style="list-style-type: none"> - Temperatura del aire - Radiación solar - Altura Solar
De este a oeste	<ul style="list-style-type: none"> - Oscilación térmica - Número de horas de sol - Radiación solar 	<ul style="list-style-type: none"> - Humedad del aire - Nubosidad - Presión atmosférica

Finalmente, las zonas son nueve y su descripción de acuerdo con la normativa es la siguiente:

- Zona Norte Litoral: se extiende desde el límite con el Perú hasta el límite norte de la comuna de la Ligua, ocupando la franja costera al lado occidental de la Cordillera de la Costa. Algunas ciudades de esta zona son: Arica, Iquique, Antofagasta, Tal Tal, La Serena, Coquimbo y Los Vilos. Esta zona es desértica con influencia

costera por lo que su ambiente y terreno es húmedo y salino. Posee alta nubosidad matinal, que se disipa en la tarde. Además, las fluctuaciones diarias de temperatura son bajas.

- Zona Norte Desértica: Ocupa la planicie comprendida entre ambas cordilleras (de la Costa y de los Andes). Desde el límite con el Perú hasta el límite norte de las comunas de Chañaral y Diego de Almagro. A esta zona pertenece la ciudad de Calama. Es una zona extremadamente árida y prácticamente sin precipitaciones. Su atmósfera es seca y limpia, presenta alta radiación solar. Existen altas fluctuaciones de temperatura en el día a lo largo de todo el año. El río Loa forma un microclima en la zona.
- Zona Norte Valles Transversales: Ocupa la región de los cordones y valles transversales al oriente de la zona Norte Litoral excluida la Cordillera de los Andes por sobre 400m, desde el límite norte de las comunas de Chañaral y Diego de Almagro hasta el límite norte de las comunas de La Ligua y Petorca. A esta zona pertenecen las ciudades de Copiapó, Vallenar, Vicuña, Ovalle, Combarbalá e Illapel. Esta zona es semidesértica con veranos largos y calurosos y atmósfera seca. A lo largo del año se presentan fluctuaciones importantes de temperatura entre día y noche. Las precipitaciones aumentan de norte a sur, siendo ocasionales y débiles en la zona norte.
- Zona Central Litoral: se ubica en la faja costera a continuación de la zona Norte Litoral desde el límite norte de la comuna de La Ligua hasta el límite norte de la comuna de Cobquecura. Ciudades de esta zona son Valparaíso, Viña del Mar, San Antonio y Constitución. El clima de esta zona es templado marítimo. Se observa nubosidad matinal en período de verano, la que se disipa a mediodía. Ambiente y suelo relativamente húmedo y salino.
- Zona Central Interior: se ubica en el valle central comprendido entre la zona Norte Litoral y la precordillera de los Andes por bajo los 1000m. Desde el límite norte de las comunas de La Ligua y Petorca hasta el límite norte de las comunas de Cobquecura, Quirihue, Ninhue, San Carlos y Ñiquen. Ciudades de esta zona son: Santiago, Curicó, Talca y Chillán. Zona de clima mediterráneo de temperaturas templadas. Las lluvias y heladas aumentan hacia el sur. La fluctuación de temperatura diaria es moderada aumentando hacia el este. Con intensa insolación en verano, especialmente hacia el noreste.
- Zona Sur Litoral: se ubica a continuación de la zona Central Litoral desde el límite norte de la comuna de Cobquecura hasta el límite sur de las comunas de Maullín, Calbuco y Puerto Montt. Ciudades de esta zona son Concepción, Valdivia y Puerto Montt. Zona de clima marítimo con precipitaciones intensas, suelo y ambiente salinos y húmedos. La temperatura es templada a fría, la humedad es alta y los vientos son irregulares de dirección suroeste y norte.
- Zona Sur Interior: se ubica a continuación de la zona Central Interior desde el límite norte de las comunas de Cobquecura, Quirihue, Ninhue, San Carlos y Ñiquen,

hasta el límite norte de las comunas de Maullín y Puerto Montt. Ciudades de esta zona son: Temuco, Villarrica y Osorno. Zona lluviosa y de bajas temperaturas. El período caluroso del año es corto con moderada radiación solar. Abundantes ríos y lagos que generan microclimas. Viento predominante sur. Ambiente y suelo húmedo.

- Zona Sur Extremo: La constituye la región de los canales y archipiélagos desde Chiloé hasta Tierra del Fuego. Contiene una parte continental hacia el Este. Ciudades de esta zona son: Ancud, Castro, Aysén, Coyhaique, Puerto Natales y Punta Arenas. Clima marítimo. Zona lluviosa, de suelo y ambiente frío y húmedo. Heladas, nieve y altos vientos en zonas altas. Las diferencias entre estaciones son marcadas, con veranos cortos y radiación moderada. Nubosidad casi permanente. Disminuyen las precipitaciones hacia el sur. Nieve abundante en ciertas zonas. Existen variaciones climáticas importantes dentro de la misma zona.
- Zona Andina: Comprende la faja cordillerana y precordillerana mayor que 3000m de altitud en el Norte (Zona Altiplánica) que bajando paulatinamente hacia el Sur se pierde al sur de Puerto Montt. Ciudades de esta zona son: Potrerillos y El Teniente, entre otras. El clima es de atmósfera seca, con grandes variaciones de temperatura entre el día y la noche. Presencia de tormentas de verano en el altiplano (norte). Ventiscas y nieve en invierno. Vegetación de altura y radiación solar intensa. Debido a las diferencias de altura y latitud a lo largo ella, el clima cambiará de norte a sur, siendo en todos los casos muy severos. Existen variaciones climáticas importantes dentro de la misma zona.

2.3 Conclusiones de capítulo

Es sabida la diversidad climática que existe en nuestro país, no tan solo de norte a sur, sino también de cordillera a mar se tienen variaciones. Esta multiplicidad de climas exige tener diferentes soluciones para afrontar las temperaturas, lluvias y vientos que en cada uno de ellos se hacen presentes, lo que hasta hace pocos años no se aplicaba en la construcción, teniendo prácticamente viviendas iguales en todo Chile, y por lo tanto asumiendo las condiciones desfavorables de confort térmico y su correspondiente consumo energético.

Conocer de buena forma los climas de cada una de las zonas permite un correcto diseño de las edificaciones, así como también un adecuado reacondicionamiento de las que ya fueron mal diseñadas, y, por lo tanto, como se menciona anteriormente, obtener un consumo energético sustentable. Es importante señalar que conocer el clima de la zona no solamente se refiere a las temperaturas o lluvias de esta, que parecen ser los únicos factores tomados en cuenta a la hora de construir, sino a todos los factores que puedan ser relevantes para la edificación como lo son el soleamiento, la nubosidad, la presencia de nieve por temporadas, la humedad, entre otros.

También es relevante proponer modificaciones a la reglamentación térmica, que tomen en cuenta los diversos factores y no tan solo los Grado-día de calefacción, sino además incorporando por ejemplo la energía necesaria para disminuir la temperatura de las viviendas durante el día.

De forma adicional, se requiere estudiar el probable cambio climático que se produce en todo el mundo, y como afecta a las zonas ya definidas, para finalmente preparar las viviendas que se encuentran en ellas.

Capítulo 3: Caracterización de la vivienda en Chile

3.1 Generalidades de la vivienda en Chile

En Chile hay una gran diversidad de viviendas, variando en su materialidad, agrupación, número de pisos, superficie, etc. Para caracterizarlas, se realizan estudios que recopilan información sobre los aspectos anteriores, como lo son el Censo, que básicamente realiza preguntas sobre materialidad de pisos, techos y muros perimetrales de la vivienda, y otros más detallados como lo es el *Estudio de usos finales y curva de oferta de conservación de la energía en el sector residencial de Chile* (2010) desarrollado por el CDT, en conjunto con el ministerio de energía y que coleccionan todos los tópicos nombrados, además de proporcionar información sobre el consumo energético de las viviendas. También existen otras fuentes como el Observatorio Habitacional, que también tiene en su base de datos la materialidad de las viviendas.

En Chile existen 6.421.382 viviendas, entre casas y departamentos, las cuales se distribuyen en Chile según la siguiente tabla, con datos obtenidos del Instituto Nacional de Estadísticas (INE).

Tabla 8: Número de viviendas por Región, según INE 2016².

Región	Número de viviendas	%
Arica	73.915	1,2
Iquique	118.326	1,8
Antofagasta	191.747	3,0
Copiapó	120.094	1,9
La Serena	305.823	4,8
Valparaíso	787.385	12,3
Santiago	2.334.498	36,4
Rancagua	349.279	5,4
Talca	410.909	6,4
Concepción	761.805	11,9
Temuco	377.230	5,9
Valdivia	152.888	2,4
Puerto Montt	327.830	5,1
Coyhaique	44.602	0,7
Punta Arenas	65.051	1,0
Total	6.421.382	100

Como se puede ver las Regiones de Valparaíso, Biobío y Metropolitana son las que tienen mayor porcentaje de viviendas, concentrando también la mayor población.

² Tabla recuperada de <http://www.ine.cl/estadisticas/economicas/construccion/edificaci%C3%B3n-superficie-autorizada>

Además del estudio del CDT es posible obtener las siguientes distribuciones de las viviendas, según año de construcción y superficie promedio.

Tabla 9: Porcentaje de viviendas según periodo de construcción.

Año vivienda	% del total
Antes 1976	41%
1977-2000	45%
2001-2007	12%
desde 2008	2%

Tabla 10: Superficie de viviendas promedio.

Superficie promedio m²	
Casa aislada	84
Casa fila	71
Casa pareada	72
Departamento	76
Promedio general	77

3.2 Materialidad

Las materialidades predominantes de las viviendas en Chile son la albañilería, la madera y el hormigón, siendo las dos primeras las de mayor representatividad en las viviendas tipo casa.

La materialidad según región está dada por la siguiente tabla, con datos obtenidos del INE.

Tabla 11: Materialidad por región. Fuente INE.

Región	Albañilería	Madera	Otros
Arica	67%	22%	7%
Iquique	63%	27%	6%
Antofagasta	67%	20%	8%
Copiapó	53%	38%	9%
La Serena	50%	34%	13%
Valparaíso	49%	40%	9%
Santiago	71%	16%	5%
Rancagua	68%	19%	13%
Talca	75%	13%	12%
Concepción	41%	54%	5%
Temuco	18%	80%	2%
Valdivia	7%	90%	3%

Región	Albañilería	Madera	Otros
Puerto Montt	4%	91%	5%
Coyhaique	5%	78%	17%
Punta Arenas	5%	91%	4%

Como se observa de Concepción al sur, la materialidad predominante es la madera, correspondiente con la gran disponibilidad de dicho material en la zona. En contraste hacia el norte, la albañilería es la que se encuentra en mayor porcentaje.

3.3 Tipologías

Básicamente en Chile, existen casas de tres agrupamientos, las aisladas, las en fila y las pareadas, y estas a su vez pueden tener uno o dos pisos. En el estudio del CDT se detallan los porcentajes de cada uno de los cruces de agrupamiento y cantidad de pisos, pero para tres macrozonas denominadas GTZ B, C y D. Luego estos porcentajes se muestran en la tabla.

Tabla 12: Tipología de viviendas por macrozona.

Zona térmica	Casa aislada		Casa fila		Casa pareada		Total	Total incluyen do deptos.
	1 piso	2 pisos	1 piso	2 pisos	1 piso	2 pisos		
GTZ B (1 y 2)	7,0%	2,9%	2,0%	1,8%	4,0%	2,6%	20,3%	23,4%
GTZ C (3,4 y 5)	19,2%	4,2%	3,6%	1,9%	19,2%	11,5%	59,6%	70,5%
GTZ D (6 y 7)	3,2%	1,2%	0,1%	0,0%	0,7%	0,7%	5,9%	6,0%
Total	29,4%	8,3%	5,7%	3,7%	23,9%	14,8%	85,8%	100%

La zona GTZ C es la que mayor porcentaje (número) de viviendas concentra, con un 59.6% del total, además las casas aisladas de 1 piso, y las casas pareadas de 1 piso, son las que representan un mayor porcentaje, no tan solo en su zona, sino también a nivel nacional. El porcentaje de faltante corresponde a viviendas que no caen dentro de las tipologías presentadas.

3.4 Caracterización predominante

Para determinar la caracterización predominante se cruzan los datos mostrados con anterioridad de la siguiente forma:

- i. En primer lugar, se determina la proporción de cada tipología por zona (TZ), dividiendo el porcentaje de la tipología correspondiente, por el porcentaje total incluyendo departamentos según zona. Por ejemplo, para la tipología casa aislada de 1 piso de la GTZ B (7,0% nacional), se tiene que es un 29,9% de la zona GTZ B ($29,9\% = 7,0/23,4$)³.

³ Ver Tabla 81 del Anexo B.

- ii. Luego, se multiplica la proporción de materialidad de viviendas por región por su correspondiente porcentaje de tipología por zona, por ejemplo, la proporción de albañilería en Arica (67%) por la tipología de casa aislada de 1 piso de la GTZ B (29,9%) quedando un 20%.⁴
- iii. En tercer lugar, se multiplica el porcentaje obtenido en el punto ii por el número de viviendas por región y se divide por el número de viviendas total para obtener el porcentaje de la caracterización a nivel nacional. Por ejemplo, el porcentaje de las viviendas aisladas de 1 piso de albañilería de Arica (20%), por el número total de viviendas de Arica (73.915) dividido por el total nacional (6.421.382) resulta en un 0,23% del total nacional.
- iv. Finalmente, se suman los porcentajes de las correspondientes ciudades de cada zona. Por ejemplo, las casas aisladas de 1 piso de albañilería de la GTZ B es la suma de Arica (0,23%), Iquique (0,35%), Antofagasta (0,60%), Copiapó (0,30%), La Serena (0,71%) y Valparaíso (1,80%).

Luego de cruzar los datos de materialidad y tipología se obtienen las siguientes caracterizaciones.

Tabla 13: Tipología de viviendas de albañilería.

Albañilería	Casa Aislada	Casa Aislada	Casa Fila	Casa Fila	Casa Pareada	Casa Pareada
	1 Piso	2 Pisos	1 Piso	2 Pisos	1 Piso	2 Pisos
GTZ B	3,98%	1,65%	1,14%	1,02%	2,28%	1,48%
GTZ C	11,00%	2,41%	2,06%	1,09%	11,00%	6,59%
GTZ D	0,15%	0,06%	0,00%	0,00%	0,03%	0,03%
Total	15,14%	4,11%	3,21%	2,11%	13,31%	8,10%

Tabla 14: Tipología de viviendas de madera.

Madera	Casa Aislada	Casa Aislada	Casa Fila	Casa Fila	Casa Pareada	Casa Pareada
	1 Piso	2 Pisos	1 Piso	2 Pisos	1 Piso	2 Pisos
GTZ B	2,57%	1,06%	0,73%	0,66%	1,47%	0,95%
GTZ C	5,70%	1,25%	1,07%	0,56%	5,70%	3,41%
GTZ D	3,26%	1,22%	0,10%	0,00%	0,71%	0,71%
Total	11,53%	3,53%	1,90%	1,22%	7,88%	5,08%

De donde se deduce que principalmente, GTZ B, que comprende las zonas térmicas 1 y 2, tiene como tipo de viviendas preponderante las casas de albañilería, 1 piso y aisladas (4% del total nacional), seguidas de casas de madera, 1 piso y aisladas (2,6% del total nacional). GTZ C, que comprende las zonas térmicas 3, 4 y 5, se tiene como tipo de viviendas preponderante las casas de albañilería, 1 piso y aisladas (11% del total nacional), seguidas de casas de albañilería, 1 piso y pareadas (11% del total nacional).

⁴ Ver Tablas 82 y 83 del Anexo B.

GTZ D, que comprende las zonas térmicas 6 y 7, se tiene como tipo de viviendas preponderante las casas de madera, 1 piso y aisladas (3% del total nacional), seguidas de casas de madera, 2 pisos y aisladas (1% del total nacional).

Es importante mencionar que el cruce de dato se realiza como una superposición de porcentajes, ya que, de los antecedentes obtenidos, no es posible conseguir una tipología exacta y que cumpla con todas las caracterizaciones que se exponen en el capítulo.

3.5 Caracterización del consumo energético.

En Chile existe el consumo de diversos generadores energéticos, como son la electricidad, leña, los cuatro combustibles fósiles, como lo son el gas licuado de petróleo (GLP), gas natural (GN), parafina y carbón, entre otros. Estos energéticos se combinan en los hogares, de forma de satisfacer las diferentes necesidades.

Del estudio: Centro de Desarrollo Tecnológico (CDT). *Usos finales y curva de oferta de conservación de la energía en el sector de residencial de Chile* (2010) se obtienen los consumos desglosados según zona climática en Chile. Se presentan los consumos promedios en kWh por hogar según zona.

Tabla 15: Consumo promedio de energía por hogar.

País	Zona 1	Zona 2	Zona 3	Zona 4	Zona 5	Zona 6	Zona 7
10.229,5	3.728,5	5.071,4	7.313,4	13.483,4	19.547,1	24.225,6	42.041,8

Además del estudio es posible obtener el consumo promedio de energéticos según zona. Los que se presentan a continuación en kWh.

Tabla 16: Consumo promedio de energéticos por zona a nivel residencial.

	País	Z 1	Z 2	Z 3	Z 4	Z 5	Z 6	Z 7
GLP	2185,8	2070,9	1879,8	2509,7	2086,0	1846,7	1888,8	801,3
GN	1035,9	30,4	904,0	1046,8	400,4	38,5	0,0	19549,7
Electricidad	1805,7	1619,5	1644,9	2056,7	1656,8	1411,3	1656,6	1713,1
Leña	4772,6	3,4	596,9	1011,8	8829,4	15964,2	20606,2	19770,4
Parafina	341,0	1,5	66,2	1260,4	1042,4	49,1	22,3	102,3
Carbón	84,5	0,3	1,8	170,1	690,6	46,1	1,8	8,1
Otros	4,7	0,0	0,0	14,2	28,1	0,8	0,0	1,8

Además, el estudio entrega el destino final del consumo de estos energéticos, lo que se muestran en los siguientes gráficos y tablas.

Primero se muestra el consumo de energía a nivel país, desglosado por los diferentes usos.

Tabla 17: Porcentaje de consumo

Consumo Energía	
Hervidor	0,5%
Lavado de ropa	0,8%
Aspiradora	0,8%
Computador	0,9%
Horno	1,4%
Stand-by	1,8%
Televisión	2,2%
Iluminación	2,8%
Refrigeración	5,0%
Cocina	7,6%
ACS	17,6%
Calefactores	56,3%
Otros	2,3%

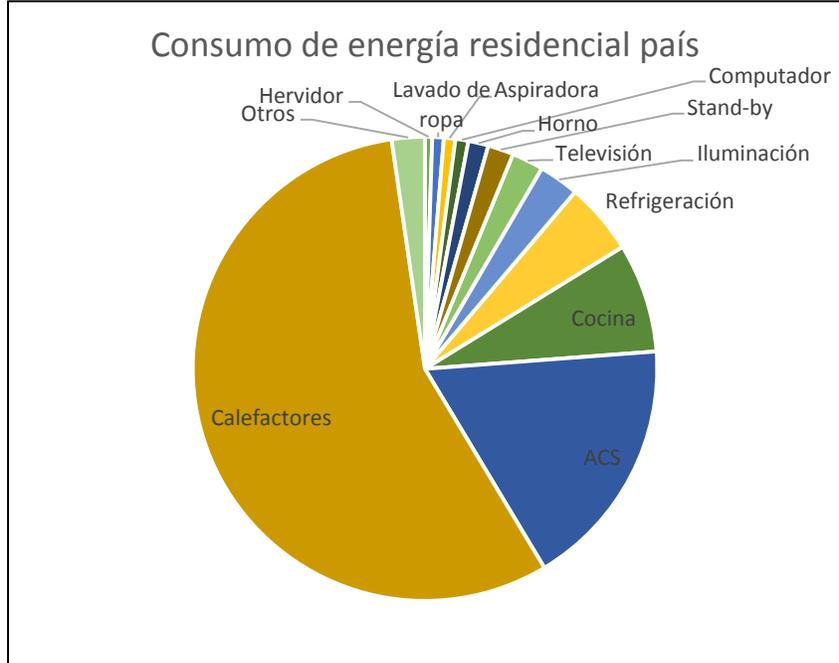


Figura 6: Gráfico de consumo de energía a nivel residencial

Ahora se muestra desglosado según energético, es decir electricidad, gas y leña.

Tabla 18: Porcentaje de consumo

Consumo Electricidad	
Riego	1,7%
Lavado de ropa	3,4%
Aspiradora	4,7%
Calefactores	2,3%
Hervidor	2,9%
Aspiradora	4,7%
Computador	4,9%
Stand-by	10,3%
Televisión	12,4%
Iluminación	16,0%
Refrigeración	28,6%
Otros	8,1%

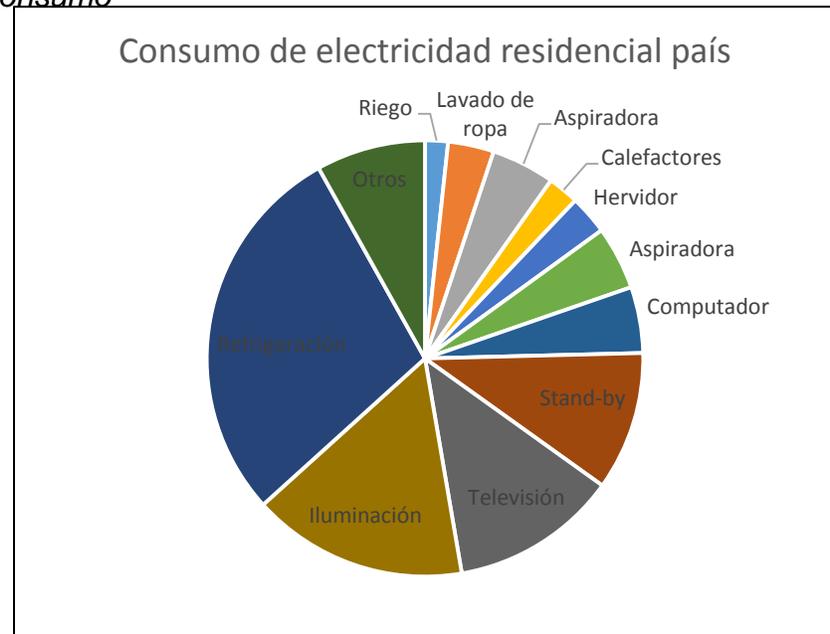


Figura 7: Gráfico de consumo de electricidad a nivel residencial del país.

Tabla 19: Porcentaje de consumo

Consumo Gas	
Lavado de ropa	0,5%
Horno	2,9%
Calefactores	19,9%
Cocina	22,2%
ACS	54,4%
Otros	0,1%

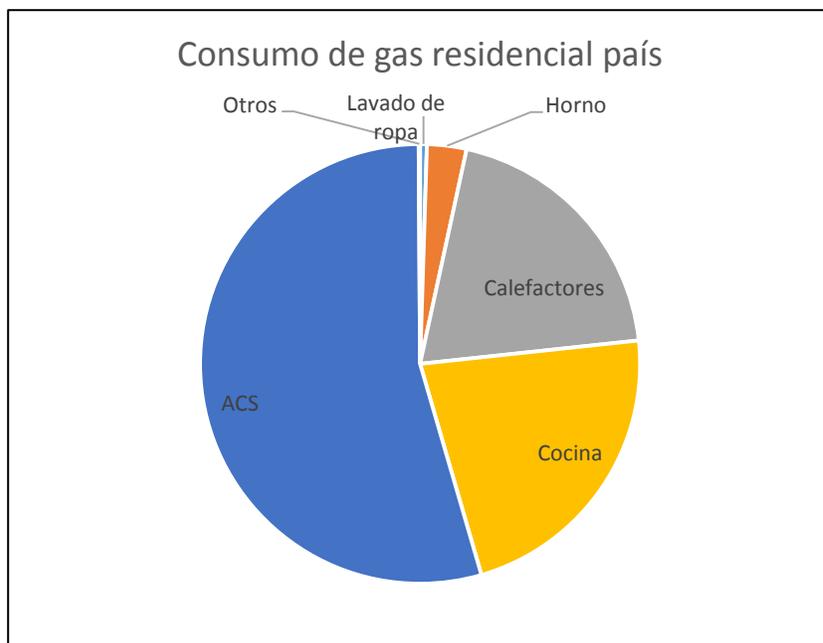


Figura 8: Gráfico de consumo de gas a nivel residencial del país.

Tabla 20: Porcentaje de consumo

Consumo de leña	
ACS	0,3%
Horno	0,9%
Cocina	1,1%
Calefactores	97,6%
Otros	0,1%

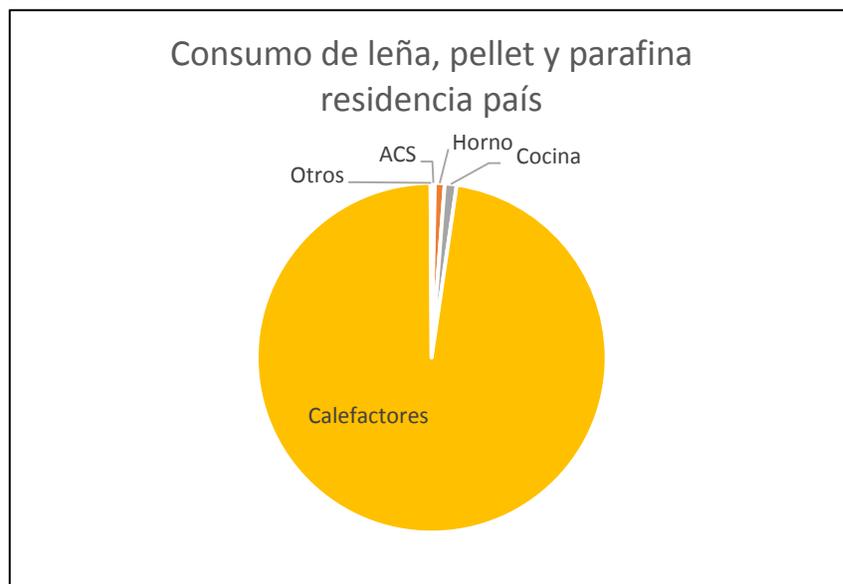


Figura 9: Gráfico de consumo de leña, pellet y parafina del país a nivel residencial.

Por último, se muestra el consumo según las macrozonas definidas, y su desglose correspondiente.

Tabla 21: Porcentaje de consumo

Consumo energía Z1 y Z2	
Hervidor	1,2%
Lavado de ropa	1,2%
Aspiradora	1,5%
Horno	1,7%
Computador	2,0%
Stand-by	3,8%
Televisión	5,3%
Iluminación	5,3%
Refrigeración	11,2%
Calefactores	12,0%
Cocina	16,2%
ACS	34,9%
Otros	3,7%

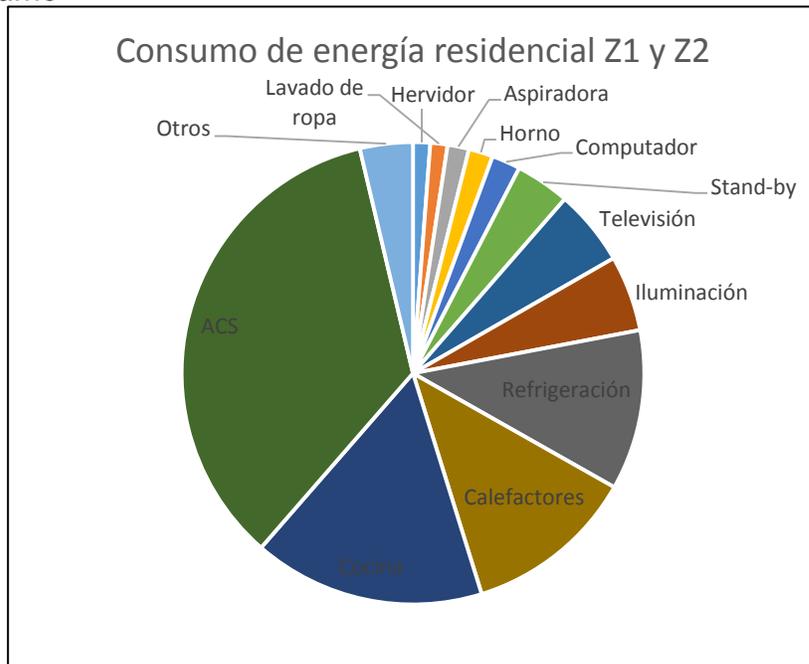


Figura 10: Gráfico de consumo de energía para las zonas 1 y 2 a nivel residencial.

Tabla 22: Porcentaje de consumo

Consumo energía Z3, Z4 y Z5	
Hervidor	0,5%
Lavado de ropa	0,8%
Aspiradora	0,9%
Horno	1,2%
Computador	0,9%
Stand-by	1,9%
Televisión	2,1%
Iluminación	2,9%
Refrigeración	5,0%
Calefactores	56,7%
Cocina	7,3%
ACS	17,5%
Otros	2,3%

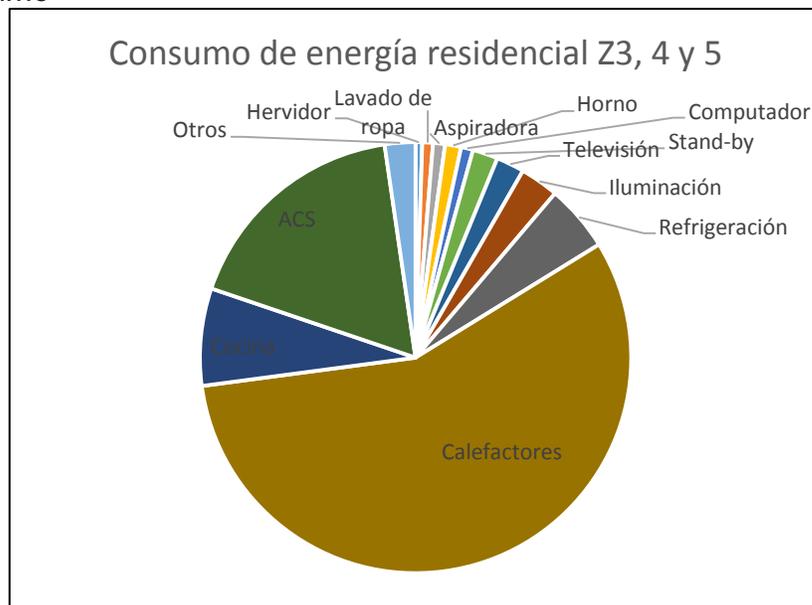


Figura 11: Gráfico de consumo de energía para zonas 3, 4 y 5 a nivel residencial.

Tabla 23: Porcentaje de consumo

Consumo energía Z6 y Z7	
Televisión	0,7%
Iluminación	1,0%
Horno	2,2%
Refrigeración	1,6%
Calefactores	80,7%
Cocina	3,8%
ACS	7,7%
Otros	2,3%

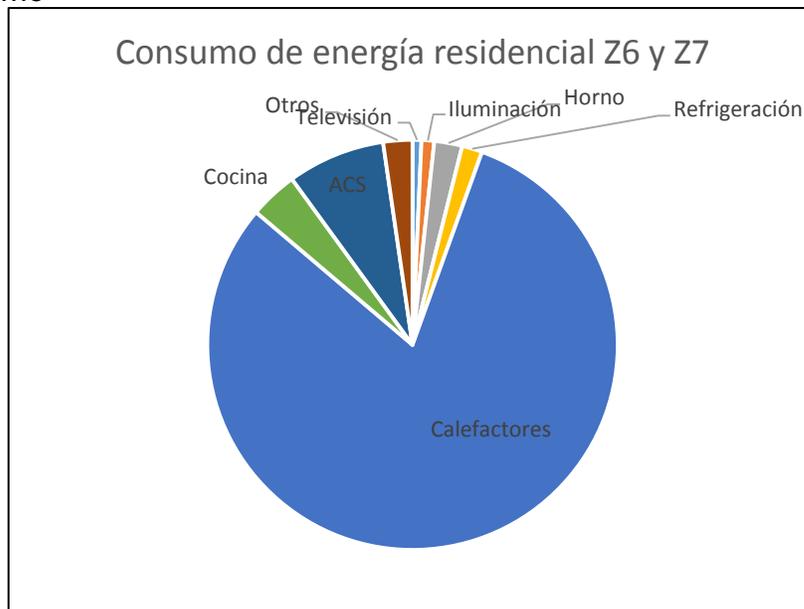


Figura 12: Gráfico de consumo para zonas 6 y 7 a nivel residencial.

De lo mostrado en los gráficos se puede inferir que los principales usos de las fuentes energéticas están ligados a calefacción y agua caliente sanitaria, con participaciones sumadas que van desde el 46,9% al 88.4% del total de consumo de energía residencial. Estos dos aspectos son los cuales se buscan disminuir con la aplicación de las medidas de reacondicionamiento propuestas en el siguiente capítulo.

3.6 Conclusiones del capítulo

Con un número cercano a los seis millones y medio de viviendas, donde el 98% de ellas son anteriores al año 2007, es decir, que no se encuentran dentro de la normativa térmica vigente, y que con una superficie promedio de 77 metros cuadrados, la materialidad predominante para los muros de la envolvente térmica es el ladrillo. Además, la casa aislada de un piso es la de mayor preponderancia dentro de estas con lo cual la casa aislada de un piso de albañilería es la caracterización predominante del país con un estimado de un 15,14% del total de viviendas (GTZ con un 2,28% más GTZ C con un 11% más GTZ D con un 0,03%), es decir, un número cercano al millón de viviendas. En segundo lugar, se tiene la tipología de la casa pareada de 1 piso de albañilería con un porcentaje estimado de 13,31% (GTZ con un 3,98% más GTZ C con un 11% más GTZ D con un 0,15%). Para las anteriormente mencionadas caracterizaciones se enfocarán las medidas de reacondicionamiento, sin descartar que sean aplicables para las demás, en particular las casas de ladrillo de las tipologías restantes. Como se menciona en el capítulo, las caracterizaciones descritas y su porcentaje sobre el total de viviendas, viene dada de un cruce de información que se basa en una suposición, en la que se asume que las proporciones de materialidades se cumplen de igual forma que en el global presentado.

En cuanto al consumo energético, como se observó durante el capítulo, los principales energéticos utilizados son el gas licuado, la leña y la electricidad, donde los dos primeros tienen como uso primordial la calefacción los hogares, y calentar el agua para su uso sanitario. En cuanto a la electricidad, su uso radica en varias formas destacando, entre ellas, la refrigeración. Si se desagrega el consumo según zona térmica, es posible evidenciar que en las zonas de mayor número de grados-día, el consumo de energía se enfoca principalmente en calefacción. Como factor importante, resulta contradictorio el uso de leña en los hogares, ya que no cumplen con los objetivos de sostenibilidad adoptados por el país, dada su alta contaminación al medio ambiente.

Visto lo anterior y teniendo en consideración el número de viviendas por región expuesto en el capítulo, se concluye que se concentrarán las soluciones de reacondicionamiento para las tres localidades que presentan un mayor número de viviendas, las cuales son Santiago, Valparaíso y Concepción, sin dejar de suponer que estas soluciones pueden también ser aplicables a las demás zonas, pero su eficacia puede diferir de lo que se calculará.

Capítulo 4: Medidas de reacondicionamiento de viviendas

En el presente capítulo se muestran las medidas de reacondicionamiento seleccionadas además de cómo se justifica dicha elección.

4.1 Metodología de elección

En Chile existe un amplio número de soluciones de reacondicionamiento, las principales, o de mayor conocimiento público y, por lo tanto, mayor disponibilidad en el mercado nacional, son las siguientes.

De manejo de Demanda:

- Aislación de la envolvente:
 - Poliestireno expandido
 - Lana mineral
 - Lana de vidrio
 - Lana poliéster
 - Soluciones compuestas (Poligyp o Volcapol)
- Ventanas termopanel, DVH, Low-E.
- Luces Led

De manejo de Oferta:

- Colectores Solares
- Paneles fotovoltaicos
- Sistemas Eólicos.

Para seleccionar las medidas adecuadas de reacondicionamiento, primero se debe tomar en cuenta la vivienda escogida, seguido de la influencia de la medida en la reducción del consumo energético, además de su costo, privilegiando la que produzca un mayor ahorro a un menor costo.

Como publica Ma, Z., Cooper, P., Daly, D. & Ledo, L. (2012), el mayor ahorro energético con un menor costo monetario se logra con las medidas de aislamiento térmico de la

envolvente térmica.⁵ A continuación, se eligen dos soluciones constructivas, que sean de terminación, para la aislación térmica de muros perimetrales, además se escogen distintos espesores, para cumplir con las resistencias térmicas requeridas según norma.

La última selección es de una fuente de energía renovable no convencional, tomando dos artefactos que aporten a la captación de energía solar para su uso en agua caliente sanitaria y generación eléctrica, esto debido a la alta radiación que existe en parte importante del territorio nacional, como se muestra en la tabla siguiente. Se escoge un panel fotovoltaico ya que es una solución conocida, además de que posee una gran presencia en el mercado y como segunda fuente de ERNC, se selecciona un colector solar termal, dadas las mismas condiciones que se mencionan para el panel fotovoltaico y a la preponderancia del consumo de energéticos para el agua caliente sanitaria en gran parte del país demostrado en el capítulo anterior.

Tabla 24: Radiación solar en Chile.

	Radiación media [kWh/m ²]
Arica	2.509
Iquique	2.464
Antofagasta	2.438
Copiapó	2.187
La Serena	2.126
Valparaíso	1.962
Santiago	2.072
Rancagua	1.955
Talca	1.857
Concepción	1.759
Temuco	1.554
Valdivia	1.360
Puerto Montt	1.222
Coyhaique	969
Punta Arenas	833

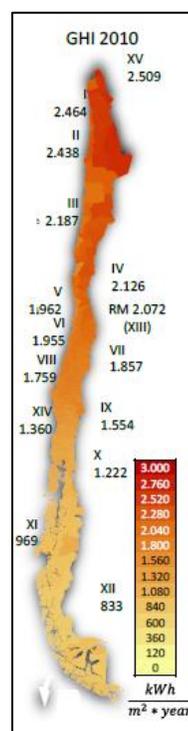


Figura 13: Esquema de radiación solar en Chile

4.1 Aislamiento de envolvente térmica

Para la elección del aislamiento de la envolvente térmica, se toma en consideración la tipología predominante, de forma particular la materialidad. En este caso, el ladrillo es la principal materialidad de construcción en el país. Además, es importante conocer el espesor de los muros, dado por el espesor de los ladrillos, para este caso se considera 15 cm. Luego, de la norma NCh853 se extrae el valor de la conductividad del ladrillo, obteniéndose $\lambda=0,5$ [W/m°C], por lo que el muro exterior tiene una resistencia térmica

⁵ Ma, Z., Cooper, P., Daly, D. & Ledo, L. (2012). Existing building retrofits: Methodology and state-of-the-art.

$R_t=0,28$ [m^2C/W]. Con este valor se puede ver en qué zonas térmicas cumple la resistencia señalada por la norma.

Una vez finalizado lo anterior, se eligen soluciones constructivas que provean con solventar la diferencia de resistencia térmica necesaria para cumplir con la norma. Se escogen dos soluciones de aislante principal, que son fáciles de obtener en el mercado nacional, además de cumplir con una baja conductividad comparado con los demás materiales, el poliestireno expandido y la lana mineral. También, dadas las características físicas de estos aislantes, es necesario un revestimiento final que dé una mejor terminación a la solución, para ello se escogen también dos opciones presentes en forma amplia en el mercado, el yeso cartón y la madera MDF (Medium Density Fibreboard).

A continuación, se presentan las conductividades térmicas, λ , de cada uno de los materiales a utilizar, según se presentan en la norma NCh853 en [$W/m^{\circ}C$].

Tabla 25: Coeficientes de conductividad térmica para los elementos señalados.

Poliestireno Expandido	Lana Mineral	MDF	Yeso Cartón
0,042	0,04	0,28	0,26

Posteriormente, sigue determinar los espesores de los materiales. Cabe notar que, para ambos casos se tienen conductancias similares, por lo que sus espesores serán también parecidos. En el primer caso de los revestimientos de terminación, yeso cartón y MDF, se escoge los menores espesores disponibles en mercado, dada su alta conductividad térmica y por lo tanto su bajo aporte a la resistencia del conjunto, por lo tanto, como el menor espesor de yeso cartón es 10 mm, se impone que el de MDF sea 9 mm para que sea comparable con el anterior.

Se muestra la resistencia térmica de la placa de yeso cartón de 10 mm, y la placa de MDF de 9 mm.

Tabla 26: Resistencia térmica de los elementos analizados.

Yeso cartón			MDF		
e [m]	λ [$W/m^{\circ}C$]	R [m^2C/W]	e [m]	λ [$W/m^{\circ}C$]	R [m^2C/W]
0,008	0,26	0,031	0,009	0,28	0,032

Ahora se determinan los espesores de la lana mineral y el poliestireno expandido, para lo cual se necesita saber la diferencia entre la resistencia térmica del muro de ladrillo, y lo señalado en la norma según cada zona. A continuación, se muestra la resistencia térmica del muro (sin aislación), lo especificado por norma y la diferencia a ser cubierta.

Tabla 27: Resistencia térmica del muro de albañilería.

	Norma	Albañilería					
Z	R [m^2C/W]	λ [$W/m^{\circ}C$]	e [m]	R muro [m^2C/W]	Rsi [m^2C/W]	Rse [m^2C/W]	[m^2C/W]
2	0,33	0,5	0,14	0,28	0,12	0	0,07
3	0,53	0,5	0,14	0,28	0,12	0,05	-0,8
4	0,59	0,5	0,14	0,28	0,12	0	-0,19

Como se observa en las zonas 3 y 4, requieren aislación adicional en sus muros.

Tabla 28: Espesores requeridos según norma.

Z	Delta [m ² C/W]	RT y-c o MDF [m ² C/W]	λ lana [W/m ² C]	e lana [m]	λ PE [W/m ² C]	e PE [m]
3	-0,13	0,031	0,042	0,007	0,04	0,006
4	-0,19	0,031	0,042	0,009	0,04	0,009

Lo que muestra la similitud entre los espesores requeridos de poliestireno y lana mineral.

Ahora llevando a espesores comerciales se obtiene la resistencia térmica con la solución respectiva.

Tabla 29: Resistencia térmica con espesores comerciales.

Zona	λ lana [W/m ² C]	e lana [m]	RT lana [m ² C/W]	λ PE [W/m ² C]	e PE [m]	RT PE [m ² C/W]
3	0,042	0,01	0,24	0,04	0,01	0,25
4	0,042	0,01	0,24	0,04	0,01	0,25

Ahora, de acuerdo con el cálculo utilizando el valor de R100 se muestran los espesores necesarios para las tres zonas térmicas consideradas.

Tabla 30: Espesores requeridos de acuerdo con R100.

Zona	e lana [m]	e PE [m]
2	0,009	0,010
3	0,016	0,017
4	0,018	0,019

Llevando estos valores a espesores comerciales, se obtiene la siguiente resistencia térmica.

Tabla 31: Resistencia térmica con espesores comerciales de R100.

Zona	e lana [m]	RT lana [m ² C/W]	e PE [m]	RT PE [m ² C/W]
2	0,01	0,24	0,01	0,25
3	0,02	0,48	0,02	0,5
4	0,02	0,48	0,02	0,5

Luego como la segunda condición resulta ser más restrictiva, por lo cual se utiliza esa para los cálculos. Con lo cual la solución a utilizar es de:

- Zona térmica 2: plancha de yeso cartón o MDF, con 10 mm de aislante (Poliestireno o Lana mineral).
- Zona térmica 3: plancha de yeso cartón o MDF, con 20 mm de aislante (Poliestireno o Lana mineral).

- Zona térmica 4: plancha de yeso cartón o MDF, con 20 mm de aislante (Poliestireno o Lana mineral).

Algunas dimensiones comerciales necesarias para el desarrollo son las que se presentan a continuación

Tabla 32: Medidas comerciales de planchas de recubrimiento.

Plancha	Yeso cartón	MDF
Ancho [cm]	120	152
Alto [cm]	240	244
Espesor [mm]	8	9
Peso [kg]	18,72	22,08

4.2 Uso de Fuente de Energías Renovables No Convencionales

Para el uso de fuentes alternativas de obtención de energía, se elige dos opciones, por una parte, está el panel de celdas fotovoltaicas y por el otro un calentador solar de agua, o termo solar.

Panel Solar: El kit de panel solar consiste en los artefactos necesarios para conectar el sistema a la red de electricidad (Net Billing-On Grid) y proporcionar la energía, los cuales son los paneles fotovoltaicos, un inversor y cables.

Las características técnicas del producto elegido son:

- 4 paneles policristalinos certificados
- Potencia peak: 1kWp
- Energía limpia generada al año: 1500 kWh (valor estimado según proveedor)
- Área de paneles: 6 m²
- Eficiencia nominal panel: 16%
- Eficiencia del inversor: 96%
- Factor de pérdidas del sistema fotovoltaico: 14%

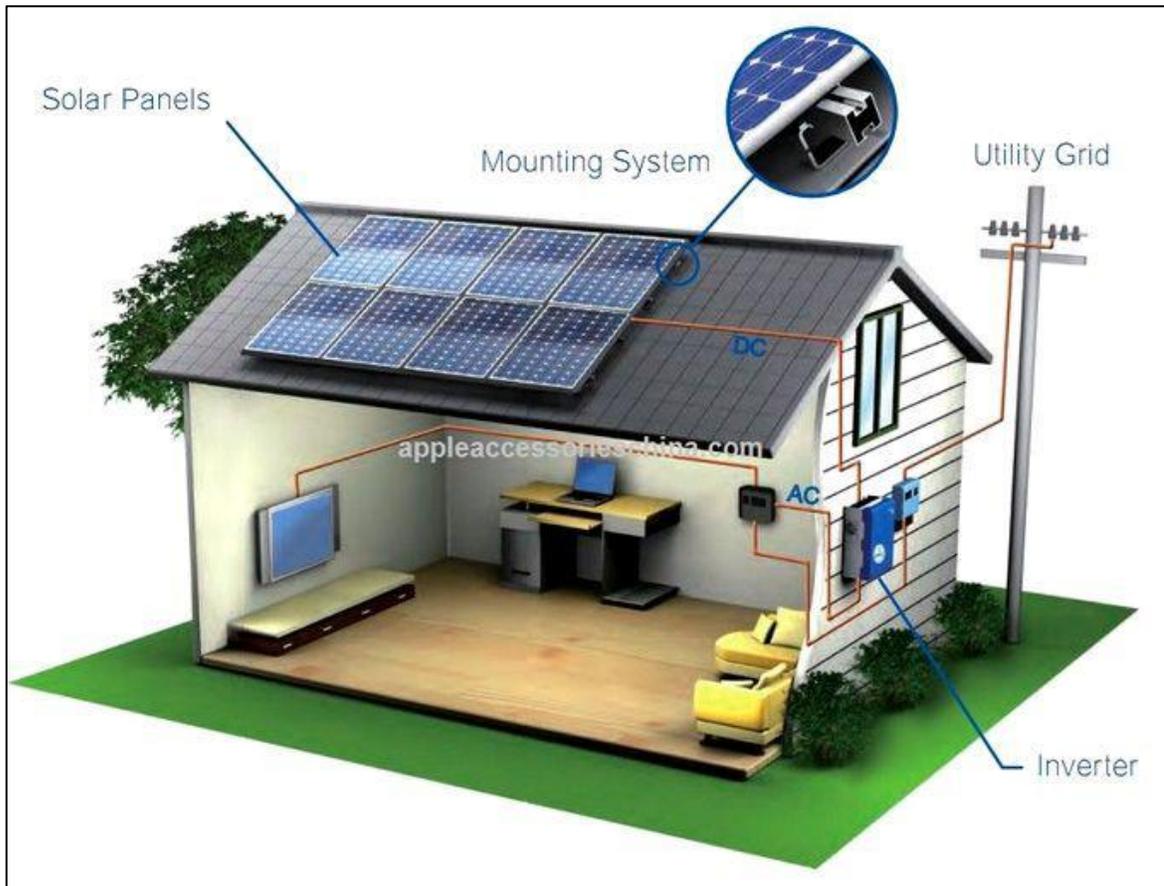


Figura 14: Esquema de Instalación de panel solar.

Colector Solar: Consistente en la instalación de un panel o tubos que calienten el agua que pasa por ellos, para almacenarla en un contenedor que se encuentra aislado térmicamente.

Algunas de las características del colector seleccionado son:

- Área total colector: 2 [m²]
- Área abertura colector: 1,97 [m²]
- Volumen estanque: 150 [litros]
- Eficiencia óptica: 62 %
- Coeficiente global de pérdidas: 5 %



Figura 15: Colector solar tipo placa plana a la izquierda y colector solar de tubos en la derecha.

4.3 Conclusiones de capítulo

Como es posible obtener de la bibliografía revisada, las medidas que producen una mayor eficiencia térmica de los hogares son la que se toman en la etapa de diseño, como esto no es posible hacer en las viviendas ya construidas sin una intervención mayor, es necesario aplicar las medidas de reacondicionamiento, en particular las que se mencionan durante el capítulo, que son el aislamiento de la envolvente térmica, además de la aplicación de fuentes de ERNC. En esta memoria se considera el aislamiento de los elementos verticales, en específico las que se encuentran en las viviendas de albañilería. En cuanto a este punto es posible decir que la aislación es aplicable en toda la envolvente, aunque el análisis en muros es más interesante que en el techo, pues implica una complejidad extra que la solución final sea de una terminación fina y presentable para el residente. Además, la elección de analizar la aislación sobre un muro de ladrillo puede ser justificada de dos formas, en primer lugar, por la mayor presencia en el país como se demuestra en el capítulo, y en segundo lugar por su facilidad de caracterización, dadas sus medidas estándar y su resistencia térmica conocida. Luego los elementos utilizados para la aislación son los de mayor utilización en el país, además de tener buenas características de resistencia térmica. También los elementos de terminación son de amplia utilización y su superficie es lisa por lo que es deseable para el interior de la vivienda. Cabe destacar con respecto a lo último, que la aislación interior presenta una desventaja, ya que disminuye el espacio interior de las viviendas, sin embargo, se requiere menor cantidad de materiales con respecto a la aislación exterior, y también, no requiere tratamiento especial para protegerla de la humedad y radiación solar.

En cuanto a las fuentes de energía renovable no convencional, los sistemas elegidos son los de mayor presencia en el país para generación intradomiciliaria, siendo posible observarlos en algunos hogares, además el importante potencial solar del país hace de estas soluciones idóneas mayormente en las ciudades del norte y centro de este.

Además, ambas soluciones son aplicables simultáneamente ya que aportan a consumos de diferentes fuentes, el panel solar lo hace al consumo eléctrico y el colector al consumo de gas y leña principalmente, por lo que el análisis económico de estas es de alta importancia.

Capítulo 5: Cálculo de ahorro.

5.1 Metodología

51.1. Metodología para Aislamiento de la envolvente térmica

Para el cálculo de ahorro energético que se alcanza al aplicar las medidas de aislamiento térmico, se recurre a la teoría. Para esto, se estiman las pérdidas de calor a través de fórmulas, derivadas de la ecuación del Calor. Las pérdidas de calor que se consideran para este cálculo son todas aquellas que se dan a través de la envolvente, en este caso techumbre, muros perimetrales, ventanas, puertas y piso, además se incluyen las pérdidas por renovación de aire y filtraciones que tenga la envolvente. Para el cálculo de las pérdidas nombradas, también es necesario conocer geometría de la vivienda, en particular las áreas expuestas de cada uno de los elementos de la envolvente nombrados, además es necesario conocer el espesor de estos elementos y su conductividad térmica, esto último es posible de obtener de la norma chilena NCH 853. En cuanto a las renovaciones de aire, se estiman al menos una renovación completa de aire por hora, y adicionalmente se adiciona a esta un 30% como pérdida de aire por filtración.

Los datos que se necesitan, y que son utilizados en las fórmulas, son los siguientes

- St: Superficie de techo de la envolvente térmica.
- Sm: Superficie expuesta de la envolvente de muros.
- Sp: Superficie de puertas de la envolvente térmica.
- Sv: Superficie de ventanas.
- Lp: Perímetro de la vivienda.
- Ut: Transmitancia térmica del techo, obtenida del cociente entre la conductividad térmica y el espesor del elemento.
- Um: Transmitancia térmica del muro, obtenida del cociente entre la conductividad térmica y el espesor del elemento.
- Up: Transmitancia térmica de las puertas, obtenida del cociente entre la conductividad térmica y el espesor del elemento.
- Uv: Transmitancia térmica de las ventanas, obtenida del cociente entre la conductividad térmica y el espesor del elemento.
- Kp: Transmitancia térmica lineal del piso.

- Q_{ev} : Pérdidas de la envolvente térmica.
- Q'_{ev} : Pérdidas de la envolvente con los cambios.
- N : número de renovaciones de aire.
- V : Volumen de la vivienda.

$$Q_{ev} = \sum (U_i \cdot S_i \cdot \Delta T) + K_p \cdot L_p \cdot \Delta T + 0,35 \cdot N \cdot V \cdot \Delta T [W/m^3 \text{ } ^\circ C]$$

$$Q'_{ev} = \sum (U'_i \cdot S_i \cdot \Delta T) + K'_p \cdot L_p \cdot \Delta T + 0,35 \cdot N \cdot V \cdot \Delta T [W/m^3 \text{ } ^\circ C]$$

$$\Delta Q_{ev} = Q_{ev} - Q'_{ev}$$

$$\%Ahorro = \frac{\Delta Q_{ev}}{Q} \cdot 100$$

$$\%Ahorro = \frac{\sum ((U_i - U'_i) \cdot S_i) + (K_p - K'_p) \cdot L_p}{\sum (U_i \cdot S_i) + K_p \cdot L_p + 0,35 \cdot N \cdot V [W/m^3 \text{ } ^\circ C]} \cdot 100$$

$$\%Ahorro = \frac{(U_m - U'_m) \cdot S_m}{\sum (U_i \cdot S_i) + K_p \cdot L_p + 0,35 \cdot N \cdot V [W/m^3 \text{ } ^\circ C]} \cdot 100$$

Obteniéndose una expresión simplificada para el cálculo del porcentaje de ahorro.

En cuanto a las entradas o datos necesarios, se utilizan los que se presentan en el *Anexo 1: Materialidad y características térmicas de los elementos de la envolvente térmica de cada tipología de vivienda*, de la Memoria de título: *Consumo de energía a nivel residencial en Chile y análisis de eficiencia energética en calefacción* (2011). Esto con el fin de poder cotejar resultados y utilizar los que ella presenta en su trabajo. Luego se obtienen los porcentajes de ahorros producidos por la aplicación de aislación en los elementos verticales de la envolvente térmica.

5.1.2 Metodología para Uso de fuente de Energía Renovable no Convencional

En tanto, para las ERNC se recurre a una herramienta propiciada por el Ministerio de Energía, que permite estimar la generación energética, en este caso eléctrica y calórica, de ambas fuentes.

La herramienta tecnológica, es una plataforma online, dispuesta por el Ministerio de energía, que recibe el nombre de Explorador Solar (y que como lo indica en su página: *“El Explorador Solar es la herramienta pública más completa y detallada sobre el recurso solar en Chile. Con 13 años de información permite, a través de sus herramientas de*

cálculo, estimar el potencial fotovoltaico de manera simple y rápida” (www.minenergia.cl/exploradorsolar, 2017).

Para este caso, se escogen tres localidades, Santiago, Valparaíso y Concepción, con las latitudes y longitudes, correspondientes, que se explicitan en la tabla siguiente, además para el caso del colector solar se utiliza una única configuración, en su contra parte el análisis del panel solar incluye una configuración para cada localización y que maximiza su funcionamiento.

Tabla 33: ubicación geográfica de las ciudades estudiadas.

Ciudad	Latitud	Longitud
Santiago	33.44°S	70.65°O
Valparaíso	33.05°S	71.61°O
Concepción	36.82°S	73.04°O

5.2 Aislamiento de la envolvente térmica

Las trasmittancias térmicas (U) que se utilizan en el cálculo del porcentaje de ahorro mostrado anteriormente, con y sin medidas de reacondicionamiento, correspondiente a la aislación de los juro perimetrales, son las siguientes:

Tabla 34: Transmittancia térmicas utilizadas.

Ítem	U [W/m ² C] sin aislación			U [W/m ² C] con aislación		
	Santiago	Valparaíso	Concepción	Santiago	Valparaíso	Concepción
Muro	2,2	2,5	2,5	1,07	1,55	1,13
Ventana	5,8	8,16	8,16	5,8	8,16	8,16
Puerta	1,54	1,66	1,66	1,54	1,66	1,66
Techo	0,45	0,51	0,38	0,82	0,95	0,72
Piso	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4

Es importante notar que la Transmittancia de muros en Santiago es menor que en Valparaíso y Concepción, debido principalmente a la velocidad de los vientos.

Las dimensiones de las viviendas utilizadas para el cálculo del porcentaje de ahorro son los siguientes.

Tabla 35: Dimensiones de viviendas estimadas.

	Casa Aislada	Casa Pareada
	1 Piso	1 Piso
Ítem	S [m ²]	S [m ²]
Muro	57,23	81,18
Ventana	14,67	10,65
Puerta	3,93	1,94
Techo	54,95	72,92

	Casa Aislada	Casa Pareada
	1 Piso	1 Piso
	L [m]	L [m]
Piso	32,97	38,12
	V [m ³]	[m ³]
Volumen	126,39	179,37

Luego los ahorros obtenidos por aislación de los muros perimetrales, al aplicar la fórmula de porcentaje de ahorro, se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 36: Porcentaje de ahorro obtenido.

Porcentaje de ahorro	Casa Aislada	Casa Pareada
	1 Piso	1 Piso
Santiago	16,6	19,6
Valparaíso	11,2	13,5
Concepción	17,5	21,3

Para permitir un desarrollo unificado, se ponderan los ahorros por el número de viviendas según cada ciudad y tipología, el cual se muestra a continuación

Tabla 37: Número de viviendas según tipología y ciudad.

	Casa Aislada	Casa Pareada
	1 Piso	1 Piso
Santiago	451403	451403
Valparaíso	115416	65952
Concepción	85063	85063

Por lo que se determina un ahorro promedio para cada ciudad de:

Tabla 38: ahorro promedio según ciudad.

Ciudad	Porcentaje de ahorro
Santiago	18,1
Valparaíso	12,0
Concepción	19,4

Ahora, cotejando los ahorros promedios obtenidos con los consumos de energía en calefacción que se muestran en el capítulo 3, se obtiene la siguiente tabla de ahorro energético en kWh.

Tabla 39: ahorro energético según ciudad

Ciudad	% Ahorro	Consumo promedio anual en kWh			Calefacción ⁶	Ahorro
		Electricidad	Gas	Leña, Pellet, parafina		
Santiago	18%	2056,7	3556,5	2272,2	2972,7	538,1
Valparaíso	12%	1644,9	2783,8	663,1	1239,0	148,7
Concepción	19%	1656,8	2486,4	9871,8	10167,8	1972,5

Se calcula el precio de 1 kWh generado en calefacción para cada zona térmica y se multiplica por lo generado, obteniéndose el ahorro anual.

Tabla 40: ahorro monetario según ciudad.

Ciudad	Electricidad	Gas	Parafina	Precio	Ahorro
	\$ 110	\$ 94	\$ 65		
Santiago	1,6%	23,8%	74,6%	\$ 72,7	\$ 39.114
Valparaíso	3,1%	44,7%	52,2%	\$ 79,5	\$ 11.817
Concepción	0,4%	4,9%	94,8%	\$ 66,6	\$ 131.362

5.3 Uso de Fuente de Energías Renovables No Convencionales

Colector solar

A continuación, se muestran las tablas extraídas desde Explorador Solar para tres localidades de Chile, que son Santiago, Valparaíso y Concepción. Además, se indica la configuración de la herramienta.

Tabla 41: energía generada por SST según ciudad

Localidad	Energía anual generada SST [kWh]
Santiago	1362,4
Valparaíso	1384,3
Concepción	1305,4

⁶ Se calcula el Consumo en Calefacción de acuerdo con la participación de cada energético en el uso de calefactores.

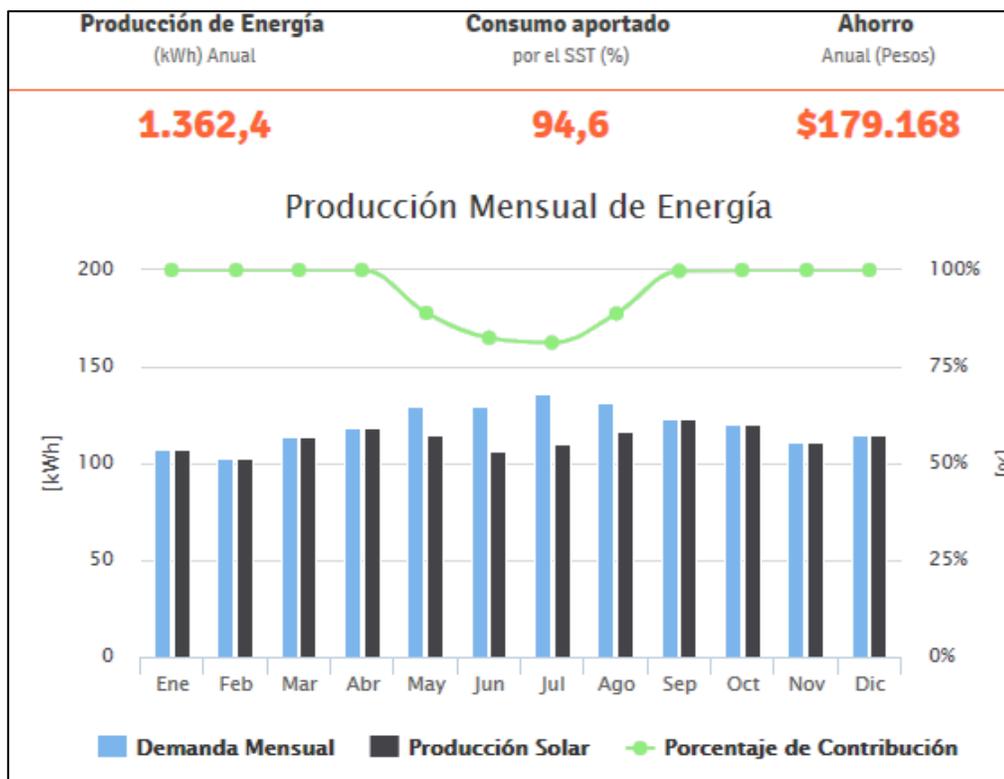


Figura 16: Producción de energía de Colector Solar para Santiago.

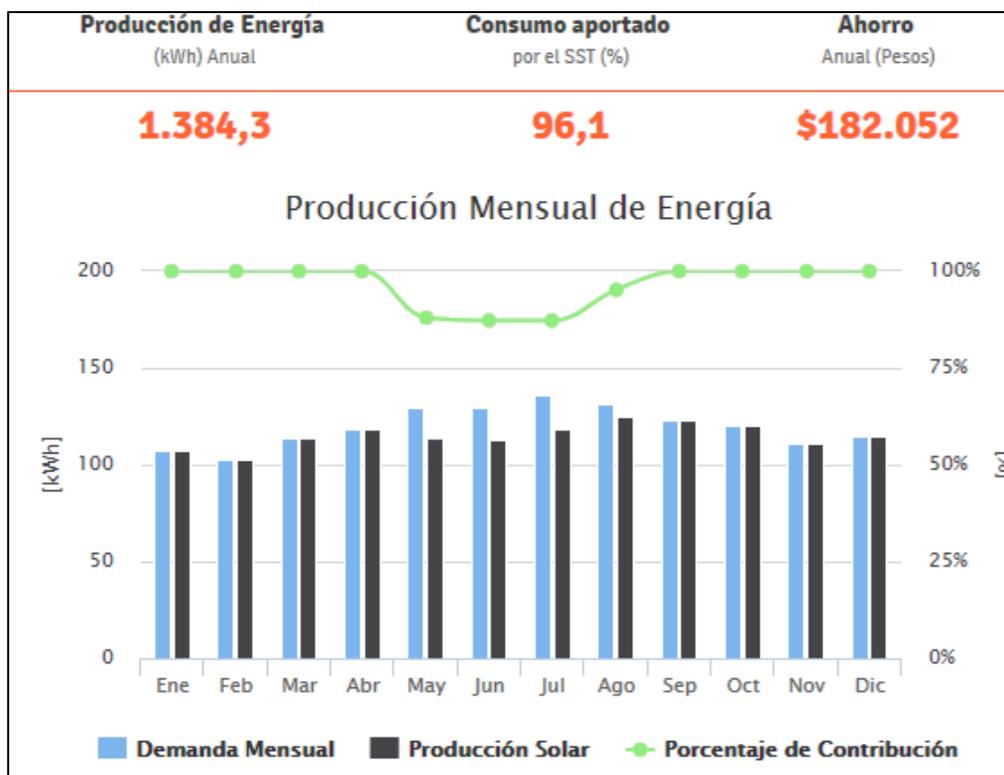


Figura 17: Producción de energía de Colector Solar para Valparaíso.

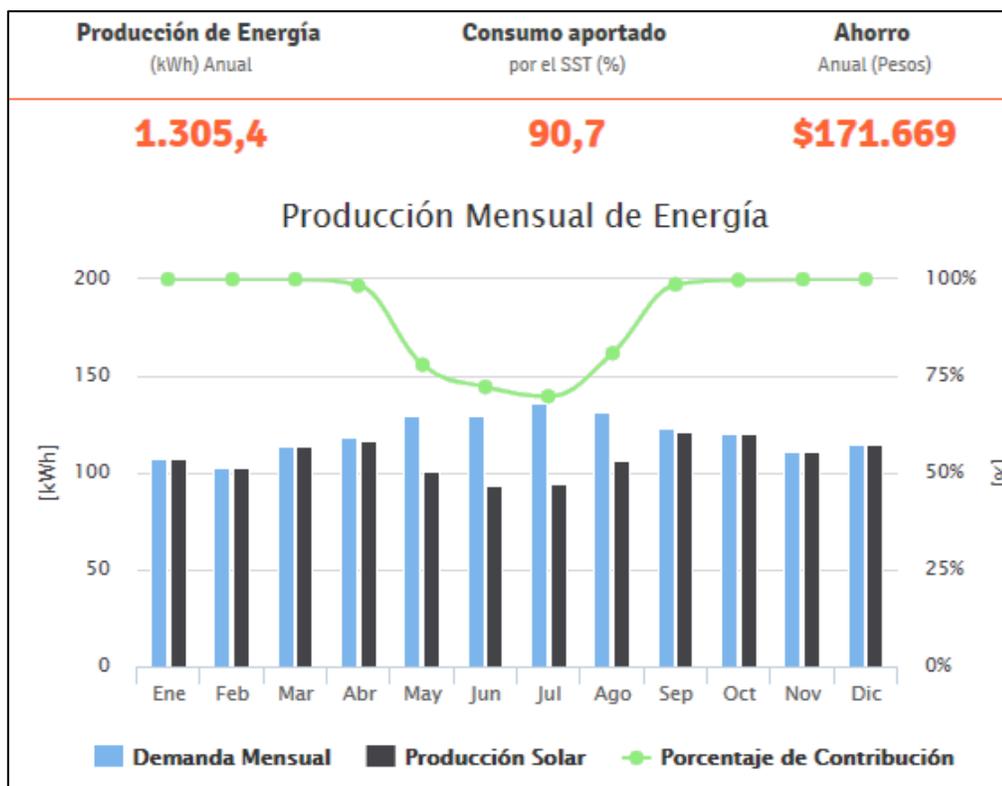


Figura 18: Producción de energía de Colector Solar para Concepción

CARACTERÍSTICAS DE SISTEMA SOLAR TÉRMICO (OPCIONAL)

Volumen de almacenamiento (L)	<input type="text" value="150"/>
Superficie de los colectores (m ²)	<input type="text" value="2"/>
Inclinación (°)	<input type="text" value="55"/>
Orientación (Azimut) (°)	<input type="text" value="0"/>
Factor global de pérdidas (W/m ² K)	<input type="text" value="3,7"/>
Eficiencia Óptica (%)	<input type="text" value="67"/>
Pérdida por Sombras (%)	<input type="text" value="0"/>

Figura 19: Configuración de Colector Solar

Paneles fotovoltaicos

Se muestran los resultados extraídos de los reportes del Explorador Solar, para las tres localidades antes mencionadas, Santiago, Valparaíso y Concepción. Cabe señalar que los ángulos de inclinación y azimut, que son muy relevantes para el proceso de captación solar, se optimizan de forma automática con la misma herramienta computacional.

Tabla 42: configuración de paneles PV según ciudad y su generación.

Localidad	Inclinación	Azimut	Generación diaria promedio	Generación anual total	Factor de planta
	grados	grados	kWh	kWh	%
Santiago	26	-4	4,15	1513	17
Valparaíso	29	-14	4,09	1493	17
Concepción	30	-6	4,05	1476	17

Tabla 43: Características del PV utilizado.

Coefficiente temperatura	Eficiencia Inversor	Pérdidas	Capacidad Instalada
-45%/°C	96%	14%	1kW

También se presentan gráficas de la generación mensual para cada ciudad.

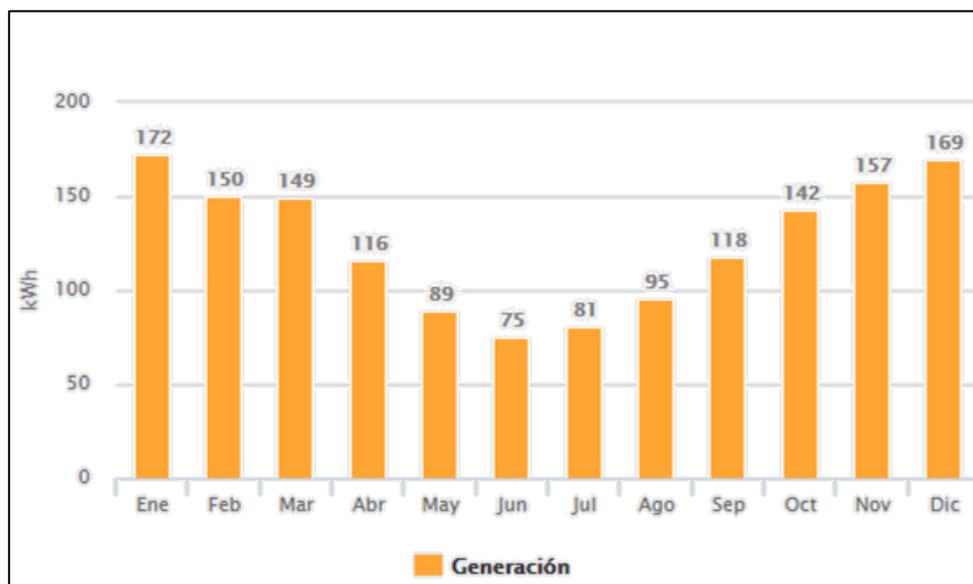


Figura 20: Gráfico de generación eléctrica con Panel Fotovoltaico en Santiago.

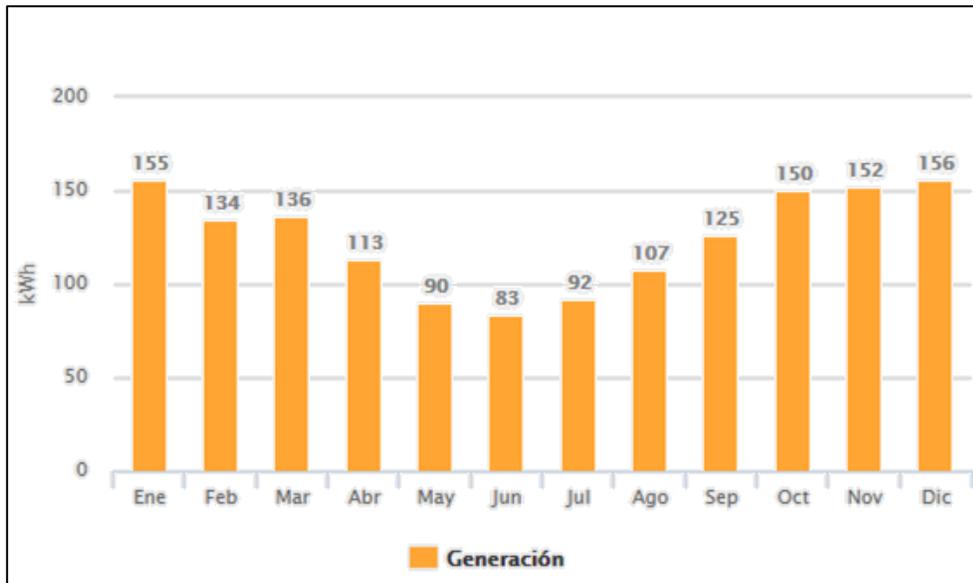


Figura 21: Gráfico de generación eléctrica con Panel Fotovoltaico en Valparaíso

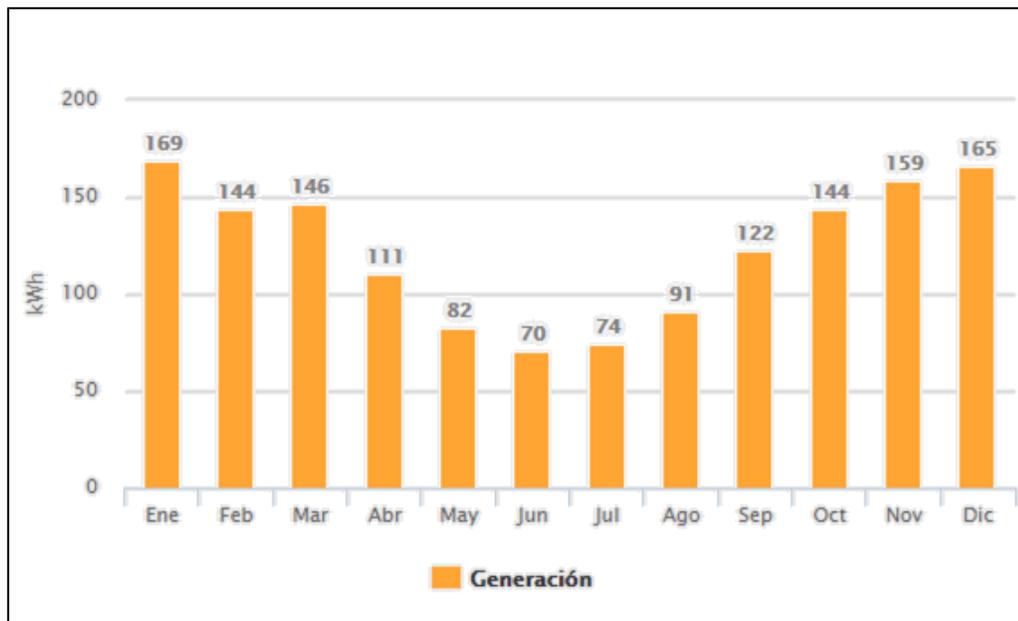


Figura 22: Gráfico de generación eléctrica con Panel Fotovoltaico en Concepción.

Es importante señalar que la estimación de la generación energética tanto para colector solar como para panel fotovoltaico es hecha en base a la posición óptima, lo que implica que se debe aplicar un factor de corrección para las viviendas que no puedan lograr esta configuración. Este factor se estima tomando en consideración lo que se señala en el trabajo de título: *PV Installation on building rooftops and facades in Chile: Technical and economic potential, 2014*, de Joaquín Esteban Molina, donde se muestra que la generación logra un 100% de eficacia en paneles horizontales sobre techos, y en dirección norte vertical, un 65%. Como se tiene una configuración mixta entre esos dos casos, se considera que la generación estimada es el 100% para la posición inclinada y de ello se obtiene los porcentajes para techos con orientación este, oeste y sur.

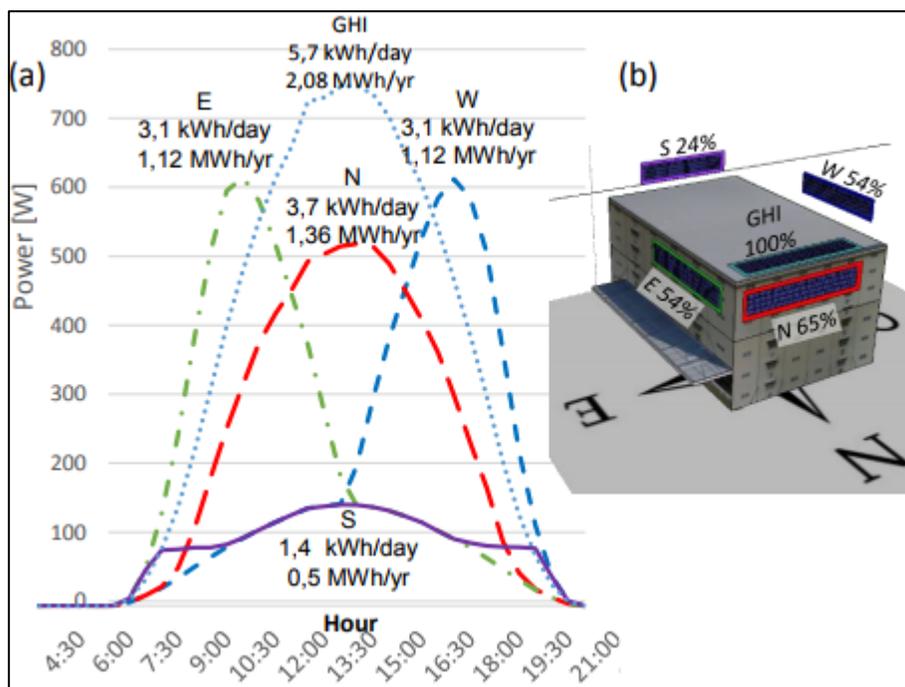


Figura 23: Generación por orientación de fachada. Fuente: PV Installation on building rooftops and facades in Chile: Technical and economic potential.

Considerando que no se tiene información de las orientaciones de los techos de las viviendas del país, se considera que estas se distribuyen igualmente para todas direcciones, con lo que se procede a promediar el porcentaje de eficacia, y se obtiene que es de un 76%.

Se ponderan las generaciones obtenidas con anterioridad por un 76%.

Se calcula el ahorro producido tomando el precio de ACS y electricidad por kWh.

El precio de 1kWh generado con gas es de \$94, en tanto 1 kWh generado con electricidad se valoriza en \$110.

Tabla 44: Ahorro monetario por Colector solar.

ACS Colector solar		
Ciudad	Generación [kWh]	Ahorro
Santiago	1035,4	\$ 97.651
Valparaíso	1052,1	\$ 99.220
Concepción	992,1	\$ 92.942

Tabla 45: ahorro monetario por Panel PV.

Electricidad Panel fotovoltaico		
Ciudad	Generación [kWh]	Ahorro
Santiago	1149,9	\$ 126.487
Valparaíso	1134,7	\$ 124.815
Concepción	1121,8	\$ 123.394

5.4 Conclusiones del capítulo

A continuación, se presenta una tabla resumen de ahorro por medida de reacondicionamiento para las tres ciudades elegidas.

Tabla 46: Resumen de Ahorro monetario por utilización de sistemas.

Ciudad	Ahorro por Aislación en Muros	Ahorro por Colector Solar	Ahorro por Panel Fotovoltaico
Santiago	\$ 39.114	\$ 97.651	\$ 126.487
Valparaíso	\$ 11.817	\$ 99.220	\$ 124.815
Concepción	\$ 131.362	\$ 92.942	\$ 123.394

Como es posible ver, el mayor ahorro en Santiago se produce con la utilización del Panel Fotovoltaico, al igual que en Valparaíso. En segundo lugar, se encuentra el uso del Colector Solar para Santiago y Valparaíso; la excepción se produce en Concepción donde el ahorro producido por la Aislación de los Muros perimetrales es mayor que el ahorro por uso del Panel y Colector Solar, esto se explica por la diferencia entre la situación Con y Sin Reglamentación térmica, además de que el ahorro por uso de fuentes solares disminuye de norte a sur. Es importante notar que se puede variar el ahorro de la vivienda por aislación dependiendo de las medidas de esta, y sus elementos componentes como ventanas y puertas, pero para las fuentes de ERNC este ahorro depende directamente del artefacto, por lo que es transversal a cualquier tipo de viviendas en el sector seleccionado. Como se puede ver el precio de los combustibles según la zona térmica, además del propio uso de estos, influye en el ahorro de cada localidad.

Para la medida de aislación de la envolvente, es posible notar que el ahorro aumenta de norte a sur, dado principalmente por la diferencia entre la situación sin medidas y llevar la vivienda a la reglamentación térmica, que es más restrictiva en la misma dirección.

En cuanto a las fuentes de ERNC se puede ver que la generación aumenta de sur a norte, por la mayor radiación solar, sin embargo, se registra una mayor generación de energía eléctrica con el panel solar en Santiago en desmedro de Valparaíso, siendo que están en una latitud similar, presumiblemente por la mayor radiación solar en Santiago. Además, se registra el caso contrario para el colector solar térmico, dada principalmente por la menor oscilación térmica que se produce en la región. Con respecto al último sistema, se puede ver que este tiene su punto máximo de generación los meses de verano, igual que el sistema fotovoltaico, sin embargo, hay energía potencial térmica desaprovechada pues el sistema no permite una mayor generación que 200 kWh teóricos.

Por lo tanto, por ahora es posible asumir que el panel Fotovoltaico produce un mayor ahorro económico en Santiago y Valparaíso y que la aislación térmica hace lo mismo en Concepción. Falta comparar dicho ahorro con el impacto ambiental y con su costo económico, así como también evaluar su factibilidad técnica.

A modo de ejercicio si las medidas fueran efectuadas en el 50% de las viviendas posibles donde se realiza el estudio, es decir, las casas asiladas y pareadas de 1 piso de la región metropolitana, de Valparaíso y del Biobío, se lograrían los siguientes ahorros globales.

Tabla 47: GWh de ahorro anual al implementar en el 50% viviendas estudiadas.

GWh de ahorro anual			
Ciudad	Aislación en Muros	Colector Solar	Panel Fotovoltaico
Santiago	243	467	519
Valparaíso	13	95	103
Concepción	168	84	95
Total	424	647	717

Capítulo 6: Estimación y comparación de impactos ambientales

6.1 Metodología de obtención de impactos

Para dar contexto al análisis de impacto ambiental, es necesario definir la herramienta que es factor común de los métodos empleados y que corresponde al Análisis de Ciclo de Vida (ACV).

ACV: como lo indica su nombre, un análisis de ciclo de vida es un proceso analítico que permite determinar y evaluar los impactos ambientales que generan un producto o servicio en particular, a lo largo de ciclo de vida, lo que puede interpretarse como desde la cuna a la tumba. Para ello se debe recopilar y evaluar: “las entradas, las salidas y los impactos ambientales potenciales de un sistema producto”⁷ a través de los procesos de extracción, producción, transporte, distribución, uso, reciclaje y disposición final.

En la norma UNE-EN ISO 14040 se definen las cuatro fases de un ACV, las que son:

- La definición del objetivo y el alcance,
- El análisis del inventario,
- La evaluación del impacto, y
- La interpretación.

Las metodologías o herramientas que se basan en el ACV, y que se ocupan para el análisis de impacto en este capítulo son:

- DAP: Corresponde a las Declaraciones de Impacto Ambiental de Productos, generadas con antecedente provistos por los productores, los que consideran los procesos a evaluar, así como también los inventarios, los resultados son expresados en base a una unidad funcional definida en el alcance, y se presentan mediante un informe o declaración. Se utiliza en este trabajo para la comparación de impactos entre la lana mineral y el poliestireno expandido. Los impactos que se incluyen dentro de las DAP se describen a continuación:

ADP (elements): Abiotic depletion elements potential, que se traduce en potencial de agotamiento abiótico, y corresponde al impacto por extracción de elementos.

AP: Acidification potential, que se traduce en potencial de acidificación, y que corresponde a la medida de la tendencia de un elemento de volverse acidificante.

⁷ NTC-ISO 14040, 2006, p.10.

EP: Eutrophication potential, que se traduce en potencial de eutrofización, y corresponde a la adición de nutrientes en exceso a un ecosistema.

GWP: Global warming potential, que se traduce en calentamiento global, y corresponde a la medida relativa de cuanto calor puede absorber un gas atrapado en la atmosfera.

ODP: Ozone layer depletion potential, que se traduce en agotamiento de la capa de ozono, y es relativo a la destrucción de la capa de esta en relación a una masa similar de CFC-11.

POCP: Photochemical ozone creation potential, que se traduce en el potencial de oxidación fotoquímica por formación de ozono.

- Ecobase: Catálogo de impactos para una serie de productos en el mercado de la construcción y alimentos, que incluye diferentes productores a nivel nacional. Los resultados de los impactos se presentan en una plantilla de cálculo que permite ir seleccionando entre los diferentes productos y categorías. Los impactos son calculados en base a unidades que pueden ser modificadas en su valor. En este trabajo se utiliza el catálogo para comparar el impacto producido por 1 metro cuadrado de Yeso Cartón contra 1 metro cuadrado de MDF. Los impactos que se recogen del catálogo Ecobase son los siguientes:

Huella de carbono: Recuento de emisiones de dióxido de carbono liberadas a la atmósfera.

Formación de smog fotoquímico: Contaminación por formación de ozono por reacciones fotoquímicas.

Formación de material particulado: Impacto por la liberación de pequeñas partículas al ambiente.

Huella de Agua (Consuntiva): Utilización de agua no devuelta al medio ambiente.

Agotamiento de minerales: Utilización de elementos minerales no renovables.

Huella energética (Por agotamiento combustibles fósiles): Utilización de combustibles fósiles para la generación energética.

- Software SimaPro: es un programa desarrollado por la empresa holandesa PRé Consultants, que permite realizar Análisis de Ciclo de Vida (ACV), mediante el uso de bases de datos de inventario propias (creadas por el usuario) y bibliográficas. En este trabajo se utiliza para determinar el impacto evitado debido a la implementación de las fuentes de ERNC y aislación de muros, extrayendo el impacto de huella de carbono (Carbon footprint) de las diferentes fuentes de energía.

Cabe señalar, que los cálculos se basan en la fabricación, propiamente tal, de los productos, y todo lo necesario para realizar dicho proceso, descartando los impactos producidos por la mantención de estos, ya que se asume son idénticos para el efecto de comparar. El detalle de los procesos incluidos en las herramientas, se presentan en el Anexo A: Análisis de las herramientas de impacto ambiental, del presente trabajo.

6.2 Metodología de Comparación de impactos ambientales

Como la comparación entre distintas herramientas de cálculo depende las metodologías y alcance de cada una, se realizará el cotejo solo entre las herramientas correspondientes. Además, es importante destacar que se compara impacto a impacto.

Es así como para las medidas de aislamiento térmico, se compara en primer lugar los revestimientos, es decir, las placas de yeso cartón y madera, que usan el catálogo de Ecobase. Para esto se determina el volumen utilizado por metro cuadrado de MDF, y la masa utilizada por metro cuadrado de yeso cartón. Luego ambas cantidades son ingresadas en el catálogo y se logra determinar los impactos por metro cuadrado de los revestimientos. Estos impactos son Huella de carbono, Formación de smog fotoquímico, Formación de material particulado, Huella de Agua (Consuntiva), Agotamiento de minerales y Huella energética (Por agotamiento combustibles fósiles). Se compara cada uno de los impactos obtenidos para 1 metro cuadrado de MDF con los impactos obtenidos para 1 metro cuadrado de yeso cartón, impacto a impacto. Por ejemplo, se compara la huella de carbono de 1 metro cuadrado de MDF con la Huella de carbono de 1 metro cuadrado de yeso cartón.

Luego se comparan los aislantes internos principales del sistema, poliestireno expandido y lana mineral, utilizando Declaración Ambiental de Producto de dos países, en este caso, Italia y México, donde se presume que los procesos de fabricación son similares a los que se utilizan en el país y que por lo tanto los impactos producidos tienen órdenes de magnitud similares. Para esto se dividen los impactos obtenidos en las DAP por un factor igual al espesor del producto por 10, de tal forma que el impacto ponderado es el de producir el aislante en un espesor de 10 mm. Con esto es posible comprar entre productores y productos, impacto a impacto, así como también promediar cada impacto de cada producto entre los dos productores.

Finalmente para determinar cuál de las medidas produce un mayor ahorro de impacto ambiental, en particular de Huella de Carbono, se utilizan los resultados obtenidos del software Simapro, de donde se extrae la huella de carbono de cuatro fuentes energéticas: Electricidad del SIC (Energy, electricity country mix, high voltaje); Energía térmica de una fuente solar (Energy, heat, solar); Energía térmica de gas (Energy, heat, gas) y Energía Térmica de parafina (Energy, heat, oil, furnace). Se obtiene la huella de carbono por cada kWh generado con dichas fuentes, y se multiplica por el ahorro de la medida de aislamiento térmica, así como también con la generación lograda por el panel fotovoltaico y el colector solar. Estos ahorros de huella de carbono son comparados uno a uno.

6.3 Aislamiento de la envolvente térmica

Yeso Cartón (Ecobase)

Se obtienen los impactos para un metro cuadrado (6,5 kg) y para una plancha comercial (120cm x 240cm)

Tabla 48: Impactos por la producción de 1 m² de yeso cartón

Impacto por volumen total de producción	6,5 kg=1m²	
Impacto	Cantidad	Unidades
Huella de carbono	2,292	kg CO ₂ eq
Formación de smog fotoquímico	0,005	kg COVDM
Formación de material particulado	0,007	kg PM ₁₀ eq
Huella de Agua (Consuntiva)	0,006	m ³
Agotamiento de minerales	0,003	kg Fe eq
Huella energética (Por agotamiento combustibles fósiles)	0,624	kg petróleo eq

Tabla 49: Impactos por la producción de 1 plancha de yeso cartón.

Impacto por total formato de producto	1 plancha=18,72 kg	
Impacto	Cantidad	Unidades
Huella de carbono	6,600	kg CO ₂ eq
Formación de smog fotoquímico	0,014	kg COVDM
Formación de material particulado	0,021	kg PM ₁₀ eq
Huella de Agua (Consuntiva)	0,018	m ³
Agotamiento de minerales	0,008	kg Fe eq
Huella energética (Por agotamiento combustibles fósiles)	1,797	kg petróleo eq

MDF (Ecobase)

Se obtienen los impactos para un metro cuadrado (0,009 m³) y para una plancha comercial (152cm x 244cm)

Tabla 50: Impacto por la producción de 1 m² de MDF.

Impacto por volumen total de producción	1m² =0,009 m³	
Impacto	Cantidad	Unidades
Huella de carbono	4,406	kg CO ₂ eq
Formación de smog fotoquímico	0,027	kg COVDM
Formación de material particulado	0,034	kg PM ₁₀ eq
Huella de Agua (Consuntiva)	0,250	m ³
Agotamiento de minerales	0,129	kg Fe eq
Huella energética (Por agotamiento combustibles fósiles)	1,625	kg petróleo eq

Tabla 51: Impacto por producción de 1 tablero de MDF.

Impacto por total formato de producto	1 plancha=0,033m³	
Impacto	Cantidad	Unidades
Huella de carbono	16,341	kg CO2 eq
Formación de smog fotoquímico	0,102	kg COVDM
Formación de material particulado	0,128	kg PM10 eq
Huella de Agua (Consuntiva)	0,929	m ³
Agotamiento de minerales	0,479	kg Fe eq
Huella energética (Por agotamiento combustibles fósiles)	6,026	kg petróleo eq

Tabla 52: comparación de impactos entre Yeso Cartón y MDF.

Impacto	Unidades	Yeso cartón (1)	MDF (2)	Relación (2)/(1)
Huella de carbono	kg CO2 eq	2,292	4,406	1,9
Formación de smog fotoquímico	kg COVDM	0,005	0,027	5,4
Formación de material particulado	kg PM10 eq	0,007	0,034	4,9
Huella de Agua (Consuntiva)	m ³	0,006	0,25	41,7
Agotamiento de minerales	kg Fe eq	0,003	0,129	43,0
Huella energética (Por agotamiento combustibles fósiles)	kg petróleo eq	0,624	1,625	2,6

Como es posible ver, la huella de carbono del yeso cartón es cercana a la mitad de la huella de carbono del MDF, siendo la relación de menor valor. Por lo tanto, se puede ver que el impacto ambiental para

En tanto para la lana mineral y el poliestireno expandido se utilizan DAP obtenidas de dos productores extranjeros, uno de México y otro de Italia, con el afán de comparar ambos productos, país a país. Los resultados obtenidos se muestran en la siguiente tabla.

Tabla 53: Impactos según DAP de Lana Mineral

DAP Lana Mineral			
Productor		CADIS/México	Mapei/Italia
Espesor		36 mm	80 mm
Impacto	unidad	total	total
ADP	kg Sb eq	0,0685	0,00629
AP	kg SO2 eq	0,0455	0,091
EP	kg PO4 eq	0,007	0,015
GWP	Kg CO2 eq	6,5961	24,3
ODP	kg CFC-11 eq	0	0,00000214
POCP	kg C2H4	0,0032	0,00597

Tabla 54: Impactos según DAP de PE

DAP Poliestireno expandido (PE)			
Productor		CADIS/México	Mapei/Italia
Espesor		36 mm	80 mm
Impacto	Unidad	Total	Total
ADP	kg Sb eq	0,0489	0,00629
AP	kg SO2 eq	0,0292	0,0337
EP	kg PO4 eq	0,0044	0,00378
GWP	Kg CO2 eq	5,353	10,7
ODP	kg CFC-11 eq	0,000000306	0,00000123
POCP	kg C2H4	0,002	0,0306

Los valores son ponderados por su espesor, para poder comparar entre productores.

Tabla 55: Impactos para 10 mm de las DAP expuestas.

Productor		CADIS/México		Mapei/Italia	
Producto		Lana Mineral	PE	Lana Mineral	PE
Espesor		10 mm		10 mm	
Impacto	Unidad	Ponderado	Ponderado	Ponderado	Ponderado
ADP	kg Sb eq	1,90E-02	1,36E-02	7,86E-04	7,86E-04
AP	kg SO2 eq	1,26E-02	8,11E-03	1,14E-02	4,21E-03
EP	kg PO4 eq	1,94E-03	1,22E-03	1,88E-03	4,73E-04
GWP	Kg CO2 eq	1,83E+00	1,49E+00	3,04E+00	1,34E+00
ODP	kg CFC-11 eq	0,00E+00	8,33E-08	2,50E-07	1,25E-07
POCP	kg C2H4	8,89E-04	5,56E-04	7,46E-04	3,83E-03

A modo de ejercicio se promedian los impactos de ambos productores y productos.

Tabla 56: Impactos promedios de las DAP expuestas.

Impacto	Unidad	Lana Mineral	PE
ADP	kg Sb eq	9,91E-03	7,18E-03
AP	kg SO2 eq	1,20E-02	6,16E-03
EP	kg PO4 eq	1,91E-03	8,47E-04
GWP	Kg CO2 eq	2,43E+00	1,41E+00
ODP	kg CFC-11 eq	1,25E-07	1,04E-07
POCP	kg C2H4	8,18E-04	2,19E-03

De los resultados anteriores se puede apreciar que:

- (1) El yeso cartón tiene menor impacto en todas las categorías seleccionadas.

- (2) El poliestireno expandido tiene menor impacto en la mayoría de las categorías seleccionadas, y al tomar el promedio de ambos fabricantes, tiene menor impacto en todas las categorías.

Por lo tanto, desde el punto de vista de impacto ambiental, la mejor solución es el yeso cartón junto al poliestireno expandido.

6.4 Uso de Fuentes de Energías Renovables No Convencionales

Del catálogo de Simapro, se obtienen los impactos de producir 1 kWh de energía en diferentes categorías.

Tabla 57: Huella de carbono por generación de 1kWh.

Carbon footprint [kg Co2 equiv.]		
Type	Procces	Value
Energy, electricity country mix, high voltage	Electricity, high voltage, production mix CL	0,162
Energy, heat, solar	Heat, at flat plate collector, multiple dwelling, for hot water/CH S	0,000813
Energy, heat, gas	Heat, natural gas, at boiler atmospheric low-NOx non-modulating <100kW/RER S	0,0228
Energy, heat, oil, furnace	Light fuel oil, burned in boiler 10kW condensing, non-modulating/CH S	0,025

Luego, al multiplicar la generación de energía para cada localidad y cada fuente de ERNC, por su impacto en los procesos que participan, se obtiene la tabla siguiente que representa el impacto evitado.

Tabla 58: huella de carbono evitada al implementar las fuentes solares.

Huella de carbono evitada [kg CO2 equiv.]		
Localidad	Panel Fotovoltaico	Colector Solar
Santiago	186,6	22,8
Valparaíso	184,1	23,2
Concepción	182,0	21,9

Para calcular el Impacto evitado por el Panel fotovoltaico se utiliza la matriz eléctrica chilena, en tanto para el colector solar se utilizan fuentes internacionales, pues no se cuenta con el registro del país. También cabe señalar que el colector solar tiene una huella, la cual se descuenta del impacto evitado.

De igual modo, y para complementar el análisis se presentan el impacto evitado, de huella de carbono, al implementar la aislación de muros perimetrales.

Tabla 59: Huella de carbono evitada al implementar aislación de muros.

Huella de carbono evitada [kg CO2 equiv.]	
Localidad	Aislación de muros
Santiago	4,2
Valparaíso	14,4
Concepción	50,1

6.5 Conclusiones del capítulo.

Es importante destacar de este capítulo que la comparación debe realizarse entre cada impacto generado por cada elemento, ya que no es posible comprar entre impactos de diferente categoría, ni tampoco crear un impacto único, pues no existe metodología que pondere adecuadamente cada uno de ellos según sea necesario. También, se excluye del todo análisis la mantención de las correspondientes medidas.

Se concluye que el impacto generado por producir el aislante poliestireno expandido es menor el producido por la Lana mineral. También se concluye que el revestimiento de yeso cartón produce un menor impacto que el de MDF. Por lo tanto, la mejor solución de aislación es la combinación entre yeso cartón y poliestireno expandido.

En cuanto al impacto evitado por las fuentes solares se puede concluir que al utilizar la generación del panel fotovoltaico es mayor que la huella de carbono evitada por utilizar la generación proveniente del colector solar, evitando producir 184 kilogramos de CO2 equivalente en promedio versus 23 kilogramos de CO2 equivalente. Así mismo ambas son superiores a la huella de carbono evitada por aislación de muros, con excepción de Concepción, donde influye el gran ahorro que produce la medida.

Tabla 60: tabla resumen de impacto evitado.

Huella de carbono evitada [kg CO2 equiv.]			
Localidad	Panel Fotovoltaico	Colector Solar	Aislación de muros
Santiago	186,6	22,8	14,4
Valparaíso	184,1	23,2	4,2
Concepción	182,0	21,9	50,1

A modo de ejercicio si las medidas fueran efectuadas en el 50% de las viviendas posibles donde se realiza el estudio, es decir, las casas asiladas y pareadas de 1 piso de la región metropolitana, de Valparaíso y del Biobío, se lograrían los siguientes ahorros medio ambientales globales.

Tabla 61: Huella de carbono evitada al implementar medidas en el 50% de las viviendas estudiadas.

Toneladas de CO2 equiv evitadas			
Ciudad	Aislación de muros	Colector Solar	Panel Fotovoltaico
Santiago	6.500	10.292	84.232
Valparaíso	381	2.104	16.695
Concepción	4.262	1.863	15.481
Total	11.143	14.259	116.408

Resta por analizar la eficiencia de las medidas de reacondicionamiento, en evitar el impacto ambiental, ponderándolas por su costo.

Capítulo 7: Cálculo de costos.

7.1 Metodología

Para el cálculo de los costos asociados a las medidas, se tomará el precio asociado a 1m² de asilamiento de envoltorio, además se le agregará el precio de la mano de obra. Además, para las ERNC, se toma el valor de los equipos, incluyendo su instalación y puesta en marcha. Los valores de mano de obra se obtienen del Manual de Costos ONDAC, en tanto a los valores de los materiales y equipos, se obtienen de un ponderado de diferentes productores.

7.2 Envoltorio térmico

Para la envoltorio térmico se obtienen los siguientes valores de materiales

Tabla 62: Precio promedio de elementos por metro cuadrado.

Elemento	e mm	Unidad	Sodimac	Easy	Construmart	Promedio por unidad	Promedio 1 m ²
Lana mineral	30	1 m ²	\$3.533	\$2.612	\$2.980	\$ 3.041	\$ 3.041
PE	30	1 m ²	\$1.180	\$1.199	\$1.300	\$1.226	\$1.226
MDF	9	1,52x2,44	\$10.990	\$10.990	\$13.990	\$11.990	\$3.233
Yeso cartón	8	1,2x2,4	\$4.490	\$4.490	\$4.490	\$4.490	\$1.559

Por lo tanto, el aislante más de menor costo es el Poliestireno expandido (PE), con un valor de \$1.226 por metro cuadrado. En cuanto al recubrimiento, el de menor costo es el yeso cartón, con un valor de \$1.559 por metro cuadrado.

Es importante mencionar que se considera un valor de instalación de estas soluciones igual, tanto para el aislante como para el recubrimiento. Ahora se muestra el valor de la solución, incluyendo mano de obra para su instalación, además de pintura. Se utiliza una superficie de muros ponderada por el número de viviendas, al igual que se hizo con el ahorro.

Tabla 63: Precio de la solución incluyendo mano de obra.

Ciudad	Sm m ²	Yeso cartón	e PE [m]	PE	Total
2	68,7	\$ 107.156	0,01	\$ 28.096	\$ 474.170
3	68,7	\$ 107.156	0,02	\$ 56.193	\$ 502.266
4	68,7	\$ 107.156	0,02	\$ 56.193	\$ 502.266

7.3 Fuente de ERNC

El sistema de panel fotovoltaico, con su instalación en techo y conexión a la red NetBilling, es cotizado a través de la plataforma de Enel (www.enel.cl). En cuanto al sistema de Colector solar, su instalación en techo y conexión a las cañerías del domicilio, son calculados aparte y añadidos al precio de mercado del producto.

Los costos que se obtienen son los siguientes.

Tabla 64: costos de ERNC residencial.

Sistema	Costo
Panel Solar + instalación	\$ 1.990.000
Colector Solar + instalación	\$ 890.860

7.4 Conclusiones del capítulo.

A continuación, se presenta una tabla resumen con los costos de las medidas de reacondicionamiento.

Tabla 65: Resumen de costos de medidas.

Ciudad	Aislación de muros	Colector Solar	Panel Fotovoltaico
Santiago	\$ 502.266	\$ 890.860	\$ 1.990.000
Valparaíso	\$ 474.170	\$ 890.860	\$ 1.990.000
Concepción	\$ 502.266	\$ 890.860	\$ 1.990.000

Como es posible ver la medida de menor costo es la Aislación de muros, seguida de la incorporación de un Colector Solar. Aún queda por ver la relación precio y ahorro, y que finalmente determina la mejor solución con respecto al costo económico.

A modo de ejercicio si las medidas fueran efectuadas en el 50% de las viviendas posibles donde se realiza el estudio, es decir, las casas asiladas y pareadas de 1 piso de la región metropolitana, de Valparaíso y del Biobío, se tendrían los siguientes costos.

Tabla 66: Inversión necesaria para implementar medidas en 50% de viviendas estudiadas.

Inversión total en MM\$			
Ciudad	Aislación de muros	Colector Solar	Panel Fotovoltaico
Santiago	226.724	402.137	898.292
Valparaíso	43.000	80.787	180.461
Concepción	42.724	75.779	169.275
Total	312.448	558.703	1.248.029

Se hace notar que la mantención de las medidas y su costo se excluye de todos los análisis de costo, esto puede incrementar el costo de las medidas, en especial de las fuentes solares que por encontrarse a la intemperie requieren al menos de limpieza para mantener un óptimo funcionamiento, sin embargo, debido a la falta de información este servicio no se encuentra incorporado dentro de los costos

Capítulo 8: Análisis técnico y Económico

8.1 Relación costo económico/ahorro anual

En la siguiente tabla se muestran la relación de los valores obtenidos en los capítulos anteriores.

Tabla 67: Relación costo/ahorro

Ciudad	Aislación de muros	Colector Solar	Panel Fotovoltaico
Santiago	12,8	9,1	15,7
Valparaíso	40,1	9,0	15,9
Concepción	3,8	9,6	16,1

Esta relación muestra el periodo de retorno de la inversión, al tratarse de ahorro anual, por ello se obtiene una relación en años. Luego la solución que tiene mejor relación a costo/ahorro en Santiago es el colector solar, con un periodo de retorno de 9 años. Para Valparaíso ocurre la misma situación. En cuanto a Concepción la solución con menor periodo de retorno es la aislación de muros, con cerca de 4 años.

En segundo lugar, para Santiago, se encuentra la aislación de muros, para Valparaíso el panel fotovoltaico y para Concepción el colector solar. Es posible notar también que el panel fotovoltaico no resulta ser la mejor solución en este ámbito a pesar de ser el que produce un mayor ahorro energético, a través de generación.

8.2 Relación impacto ambiental evitado/costo económico

En la siguiente tabla se muestran la relación de los valores obtenidos en los capítulos anteriores, considerando solamente el impacto ambiental de Huella de carbono evitado anual, por cada \$1000 de inversión.

Tabla 68: Huella de carbón evitada en Kg CO2 equivalente anual por cada \$1.000 de inversión.

Ciudad	Aislación de muros	Colector Solar	Panel Fotovoltaico
Santiago	0,03	0,03	0,09
Valparaíso	0,01	0,03	0,09
Concepción	0,10	0,02	0,09

Como se puede ver de la tabla el que logra mejor relación de impacto ambiental evitado por costo, es la aislación de muros en concepción, seguido por el Panel fotovoltaico en todas las ciudades.

8.3 Factibilidad técnica (método Constructivo)

Ahora se analiza la factibilidad de implementar las soluciones, junto con el método constructivo que debiese emplearse.

8.3.1 Aislación de muros perimetrales

Por parte de la aislación de muros perimetrales, los supuestos hechos a un comienzo del trabajo, que son una solución de terminación y por el interior de los muros, es decir dentro de la vivienda, requiere analizar dos situaciones según se detecta.

- Continuidad en muros perimetrales: Que permita una correcta fijación de los elementos y una terminación aplomada. Para lograr esto, se deben remover los elementos sueltos o que sobresalgan de los muros, como lo son clavos o tornillos, además de elementos decorativos como guardapolvos y molduras.
- Acceso a las áreas de trabajo: Para permitir un libre acceso y trabajo eficaz se deben mover los enseres contiguos o que se encuentren sobre los muros. Para esto se requieren superficies donde apilar dichos elementos.

Con estas situaciones subsanadas es posible afirmar que no se tienen problemas para la correcta instalación de la aislación de muros. La cual se desarrolla según la siguiente metodología.

Método constructivo.

Actualmente en el mercado existen pegamentos que permiten una rápida implementación de la aislación propuesta, sin embargo, dicho método encarecería notablemente el valor de la solución, por lo que el método propuesto es el siguiente.

- i. Despeje y limpieza de las áreas de trabajo.
- ii. Fijación de listones de madera de 1" (cepillados) al muro de forma vertical, mediante tornillos, separados como máximo 115 cm.
- iii. Corte de plancha de yeso cartón según sea necesario.
- iv. Colocación de aislante entre listones de madera
- v. Colocación de plancha sobre listones, fijada con tornillos o clavos.
- vi. Colocación de cinta para juntas y luego yeso sobre estas.
- vii. Aplicación de pintura.

8.3.2 Instalación de fuentes solares.

Para dar factibilidad a la instalación de las fuentes solares, es necesario cumplir los siguientes criterios.

- Revisión de techo: Dado que los elementos van montados sobre el techo de las viviendas, es necesario verificar que este se encuentre en condiciones para soportar el peso de los elementos y de los trabajadores que instalarán. Por ello se debe chequear la cubierta de este, cerciorándose que no se encuentre dañada, luego es necesario examinar las cerchas que soportan la cubierta, y buscar material con fallas. Si se encuentra alguno de estos desperfectos es necesario reparar para poder continuar con la instalación.
- Pasada de agua: Para conectar a la alimentación de agua es necesario tener salidas de cañerías, de lo contrario se deben realizar para continuar con la instalación.

En general es posible afirmar que todas las viviendas se encuentran en condiciones de instalar un sistema de generación solar en sus techos, sin embargo, si se encontrase alguna debilidad en la estructura de cerchas, esta puede solucionarse colocando algún elemento adicional en la cercha en el lugar que se instalará el sistema, para que se tenga una mejor distribución del peso de este. Luego, el método constructivo propuesto es el siguiente:

Método constructivo

- i. Despeje y Limpieza del área.
- ii. Armado de andamios.
- iii. Izado de los elementos que componen el sistema.
- iv. Fijación de los sistemas a vigas.
- v. Conexión a la fuente de agua y a calefactor de agua (Colector Solar)
- vi. Conexión a red eléctrica (Panel Fotovoltaico)
- vii. Pruebas y puesta en marcha

8.4 Conclusiones del capítulo

En general la mejor solución en relación costo/ ahorro es el colector solar, seguido de la aislación de muros, teniendo en promedio el primero 9 años de periodo de retorno, en tanto el segundo 20 años, al incluir Valparaíso, pero solo 8 años desestimándolo.

Punto importante es destacar que las soluciones de aislación y Colector solar tiene diferentes usos, una es para el ahorro en calefacción y la otra es para el ahorro de ACS y sus formas de obtenerla, por ello implementar ambas medidas no resulta contraproducente. Esta situación se replica para el panel fotovoltaico, que aporta en la generación eléctrica, sin embargo, su alto periodo de retorno hace más difícil su implantación de manera transversal.

En cuanto a la relación impacto no generado, el de mejor desempeño promedio es el panel fotovoltaico con una huella de carbono evitada de 0.09 kg de CO₂ equivalente por cada \$1.000 de inversión. Luego le sigue la Aislación de muros, aunque presenta un comportamiento disperso entre ciudades, producto de los diferentes ahorros en consumo de la medida.

Tabla 69: Relación costo/ahorro

Ciudad	Aislación de muros	Colector Solar	Panel Fotovoltaico
Santiago	12,8	9,1	15,7
Valparaíso	40,1	9,0	15,9
Concepción	3,8	9,6	16,1

Tabla 70: Huella de carbón evitada en Kg CO₂ equivalente anual por cada \$1.000 de inversión.

Ciudad	Aislación de muros	Colector Solar	Panel Fotovoltaico
Santiago	0,03	0,03	0,09
Valparaíso	0,01	0,03	0,09
Concepción	0,10	0,02	0,09

Al analizar las relaciones resulta claro que la Aislación de muros es la mejor alternativa en Concepción. Sin embargo, para Santiago y Valparaíso no resulta clara la elección entre Colector Solar y Panel Fotovoltaico, luego se debe recurrir a su factibilidad de instalación, y es por esto que el Colector Solar, se impone como mejor alternativa, pues su conexión puede ser realizada por cualquier técnico especializado, en cambio el Panel Fotovoltaico y una de sus características de conexión requiere del ingreso de la compañía eléctrica correspondiente, lo que a su vez es parte importante de su costo. Finalmente se consideran como medidas más eficientes al Colector Solar en Santiago y Valparaíso, y la Aislación de muros en Concepción.

Si se implementan las medidas más eficientes en el 50% de las viviendas estudiadas, es decir, las casas asiladas y pareadas de 1 piso de la región metropolitana, de Valparaíso y del Biobío, se tendrían los siguientes ahorros económicos y medio ambientales, además de necesitarse la correspondiente inversión.

Tabla 71: Análisis Global de las medidas de reacondicionamiento más eficientes seleccionadas.

Ciudad	Medida	Ahorro GWh anual	Ton CO2 evitadas	Inversión MM\$
Santiago	Colector Solar	10.292	402.137	402.137
Valparaíso	Colector Solar	2.104	80.787	80.787
Concepción	Aislación de muros	4.262	42.724	42.724
Total		731	16.658	525.648

Se requerirían aproximadamente 830 millones de dólares para ahorrar o generar 731 GWh anual, lo que es cercano a 1.14 dólares por cada kWh generado. Además, se evitarían cerca de 17.000 ton de CO2 por emisiones.

Capítulo 9: Discusión y conclusiones.

9.1 Discusión

En este punto es importante discutir sobre la metodología de cálculo de ahorro energético elegida. Una limitación importante del método teórico es que se dejan fuera algunas pérdidas o ganancias térmicas, como por ejemplo la radiación solar o filtraciones, y que se compensan mediante un porcentaje de pérdida volumétrica, por la complejidad que presenta el cálculo de estas, dada la multiplicidad de factores involucrados; por ello, el método carece de la exactitud que otros puedan presentar. Actualmente existen diversas alternativas para el cálculo de comportamiento térmico de edificaciones, una de ellas es el software CTE (Certificación del Comportamiento Térmico de Edificios) que permite determinar el consumo energético de una vivienda, y toma en consideración factores como la radiación antes mencionada, siendo más preciso al momento de calcular. En general es posible decir que las herramientas computacionales resultan de mayor exactitud al momento de calcular, sin embargo, no es posible lograr reproducir fielmente la realidad, existiendo una infinidad de factores que inciden en el comportamiento energético, por ello dependiendo del alcance que se quiera tener es la herramienta que se debe elegir, y para el caso de este trabajo se propone como suficiente el cálculo teórico del ahorro energético. Respecto a las tipologías de viviendas elegidas y su relación con el cálculo del ahorro, el método teórico presenta una ventaja con respecto a los softwares computacionales, y es que basta cambiar las áreas (y volúmenes) por donde se producen las pérdidas energéticas para determinar el ahorro energético, cosa que es diferente en un software, donde se debe modelar una vivienda nueva y sus características; sin embargo, el método teórico también presenta limitaciones en este aspecto, siendo imposible obtener el comportamiento energético de un grupo de viviendas y sus particiones correspondientes, lo que sí es posible conseguir en softwares como el CTE.

Para la determinación de los impactos de la aislación térmica se utilizan dos herramientas, lo que supone una imposibilidad en la consolidación de los datos, y por ello se realiza un tratamiento separada que puede llevar al lector a confundirse; en cuanto al catálogo Ecobase, este utiliza información de proveedores chilenos, lo que supone una ventaja al ser representativo de la realidad nacional, no obstante, se detecta que no todos los productos consideran iguales procesos, en particular el yeso cartón no considera ningún tipo de transporte de sus materias, esto puede afectar la fiabilidad de los datos; siguiendo con las DAP, estas están sujetas a estándares internacionales, sin embargo, al no tratarse de productores chilenos, los impactos documentados pueden diferir de los mismos productos fabricados en Chile. En cuanto a la estimación de la huella de carbono ahorrada al implementar las medidas, se utiliza la base de datos de Simapro, que es generada con datos de diferentes países y por lo tanto puede no ser representativa de la realidad chilena. Como es posible notar, la fiabilidad de las fuentes de datos es clave en la evaluación realizada, pero, esta se toma como procedente para la comparación, ya que se realiza entre las mismas fuentes.

Si se quisiera que el estudio fuera representativo para todas las viviendas del país, se requeriría mejorar la metodología de cálculo de ahorro por aislamiento de la envolvente

térmica, pues las medidas de fuentes solares son independientes de la tipología. Para esto, se necesita conocer la geometría y en particular espesores de elementos de las viviendas de madera, y así poder estimar las resistencias térmicas de los elementos de la envolvente, también se requiere lo mismo para las viviendas de hormigón que forman parte del parque de viviendas. Para ajustar el cálculo de ahorro global (a nivel país) se requiere además un estudio que caracterice completamente las viviendas.

9.2 Conclusiones

De lo expuesto en el trabajo, resulta importante recalcar el concepto de desarrollo sostenible y como se une al consumo energético de las viviendas. En primer lugar, las condiciones del desarrollo sostenible se basan en la consideración por el medio ambiente, la comunidad y el crecimiento económico. Luego, no es posible tener un consumo energético que cumpla estas condiciones si este no se ve reducido en un corto periodo de tiempo, o sustituido por fuentes de energía que tengan bajo impacto ambiental, cuestión que en la actualidad no es así, formando parte importante de la matriz energética los combustibles fósiles, que además de ser no renovables, sus procesos de generación de los distintos tipos de energía son en general contaminantes. Luego la premisa del desarrollo sostenible, aceptada y adoptada por el Gobierno Chileno, al suscribir lo compromisos de la ONU, debe producir cambios tanto en la matriz energética del país como en el propio consumo a todo nivel.

Para lograr disminuir el consumo energético existen diversas formas, algunas de ellas son mejorar la eficiencia de los artefactos que consumen energía, además de optimizar el aislamiento de las viviendas. También es posible aportar con fuentes que tengan cero emisiones al momento de generar energía, con lo que se logra reacondicionar la vivienda, y se produce también un ahorro económico.

Como factor importante del consumo energético, se encuentra el clima al que se ven expuestas las viviendas del país. Por esto, se requiere conocer dicho clima, y cómo varía a lo largo y ancho de Chile, el que particularmente presenta gran variedad. Esta información se encuentra medianamente resuelta, en la zonificación térmica y en la climática, ambas independientes, lo que impide unificar de forma sencilla los criterios de diseño que se deben cumplir en las viviendas. El clima es relevante en el diseño de las viviendas, y por lo tanto juega un rol fundamental, en las medidas de reacondicionamiento, las que dependen directamente de él.

Otro factor relevante del consumo energético es conocer las viviendas de Chile, y no tan solo su número, sino además todas sus características. En específico, se requiere conocer materialidad, geometría, superficie y tipología. Para esto se recurrió al estudio realizado por el Centro de Desarrollo Tecnológico, el cual presenta dichas características, sin embargo, es necesario comentar, que este estudio no presenta un adecuado cruce de datos, debiendo superponer las características de las viviendas en orden de obtener la identificación completa.

Del análisis de los datos se determinó las caracterizaciones preponderantes del país, resultando ser la casa aislada de 1 piso de ladrillo, así como también la casa pareada de 1 piso de ladrillo.

En cuanto al consumo energético, como se observó durante el capítulo, los principales energéticos utilizados son el gas licuado, la leña y la electricidad, donde los dos primeros tienen como uso primordial la calefacción los hogares, y calentar el agua para su uso sanitario. Del estudio también es posible obtener los valores promedios de estos consumos, lo que mejora, la caracterización de las viviendas y sirve también como base para el cálculo del ahorro al aplicar las medidas de reacondicionamiento.

Por último, en base a lo visto en el capítulo, se concluye que las ciudades en las que se estudiarán las medidas de reacondicionamiento son Santiago, Valparaíso y Concepción, principalmente por el número de viviendas que están poseen, y por lo tanto se podría lograr el mayor impacto al implementarlas, sin embargo, estas soluciones pueden ser incorporadas en otras ciudades, aunque el ahorro eventual que estas produzcan podría no aproximarse al determinado.

Una vez se conocen las viviendas y las condiciones del clima, se procede a elegir las medidas de reacondicionamiento que se aplicaran en las viviendas. La justificación de la elección de las medidas parte por la efectividad de estas, lo cual se determina de la revisión bibliográfica, resultando ser las de mejor rendimiento las medidas de aislamiento de la envolvente térmica, así como también en menor medida las fuentes de energía renovable no convencional residencial. Luego, para llevar estas medidas al mercado nacional se investigan las alternativas, y se eligen las de mayor disponibilidad en el país. Finalmente, se eligen una medida de aislación de muros con dos alternativas de aislante principal, y dos alternativas de revestimiento, así como también, dos medidas de fuentes de energía solar, que corresponden a un colector solar y a un panel fotovoltaico.

Las medidas elegidas tendrán diferentes desempeños según las ciudades que se implementen, lo que se determina primero según ahorro producido.

Tabla 72: Resumen de ahorros producidos por las medidas.

Ciudad	Ahorro por Aislación en Muros	Ahorro por Colector Solar	Ahorro por Panel Fotovoltaico
Santiago	\$ 39.114	\$ 97.651	\$ 126.487
Valparaíso	\$ 11.817	\$ 99.220	\$ 124.815
Concepción	\$ 131.362	\$ 92.942	\$ 123.394

Para la determinación del ahorro se utilizaron dos metodologías teóricas, una basada en cálculo para la aislación de muros y otro basad en un software para las fuentes solares. Es importante mencionar que, al ser modelación teórica, siempre es esperable que exista una diferencia con la realidad, por lo que se introducen factores en los cálculos que pretenden corregir estas falencias, y que disminuyen el ahorro máximo alcanzable.

Por lo tanto, se pudo determinar que el panel Fotovoltaico produce un mayor ahorro económico en Santiago y Valparaíso y que la aislación térmica hace lo mismo en Concepción.

Una vez se analizan los ahorros al implementar las medidas, se comparan los impactos relacionados con la producción y uso de estos. Se concluye que el impacto generado por producir el aislante poliestireno expandido es menor que el producido por la Lana mineral. También se determina que el revestimiento de yeso cartón produce un menor impacto que el de MDF. Por lo tanto, la mejor solución de aislación es la combinación entre yeso cartón y poliestireno expandido.

Luego de esto, se determina el impacto no generado, a través de la categoría más conocida, que es la huella de carbono, para ello se utiliza el ahorro energético por aislación, y la generación por colector solar y paneles solares, determinada con anterioridad, con esto se utiliza la herramienta Simapro, para calcular el impacto de la producción y uso de diferentes energías, concluyendo lo siguiente.

Tabla 73: tabla resumen de impacto evitado.

Huella de carbono evitada [kg CO2 equiv.]			
Localidad	Aislación de muros	Colector Solar	Panel Fotovoltaico
Santiago	4,2	22,8	186,6
Valparaíso	14,4	23,2	184,1
Concepción	50,1	21,9	182,0

Se puede ver que el de mayor ahorro en impacto ambiental es el panel fotovoltaico, que evita cerca de 180 kg de CO2 equivalente al año por su implementación.

Una vez se determinan los ahorros o generaciones energéticas, y los impactos evitados asociados a cada uno de ellos, es necesario estimar el costo de implementar cada una de estas opciones, a fin de ver cuál de ellas es la de mayor eficiencia.

A continuación, se presenta una tabla resumen con los costos de las medidas de reacondicionamiento determinados en el correspondiente capítulo.

Tabla 74: Resumen de costos de medidas.

Ciudad	Aislación de muros	Colector Solar	Panel Fotovoltaico
Santiago	\$ 474.170	\$ 890.860	\$ 1.990.000
Valparaíso	\$ 502.266	\$ 890.860	\$ 1.990.000
Concepción	\$ 502.266	\$ 890.860	\$ 1.990.000

Como es posible ver la medida de menor costo es la Aislación de muros, seguida de la incorporación de un Colector Solar. Una vez obtenidos los costos se determinada las relaciones costo sobre ahorro e impacto evitado sobre costo, las que se presentan a continuación.

Tabla 75: Relación costo/ahorro

Ciudad	Aislación de muros	Colector Solar	Panel Fotovoltaico
Santiago	12,8	9,1	15,7
Valparaíso	40,1	9,0	15,9
Concepción	3,8	9,6	16,1

Tabla 76: Huella de carbón evitada en Kg CO2 equivalente anual por cada \$1.000 de inversión.

Ciudad	Aislación de muros	Colector Solar	Panel Fotovoltaico
Santiago	0,03	0,03	0,09
Valparaíso	0,01	0,03	0,09
Concepción	0,10	0,02	0,09

En general la mejor solución en relación costo/ ahorro es el colector solar, seguido de la aislación de muros, teniendo en promedio el primero 9 años de periodo de retorno, en tanto el segundo 20 años, al incluir Valparaíso, pero solo 8 años desestimándolo.

Punto importante es destacar que las soluciones de aislación y Colector solar tiene diferentes usos, una es para el ahorro en calefacción y la otra es para el ahorro de ACS y sus formas de obtenerla, por ello implementar ambas medidas no resulta contraproducente. Esta situación se replica para el panel fotovoltaico, que aporta en la generación eléctrica, sin embargo, su alto periodo de retorno hace más difícil su implantación de manera transversal.

En cuanto a la relación impacto no generado, el de mejor desempeño promedio es el panel fotovoltaico con una huella de carbono evitada de 0.09 kg de CO2 equivalente por cada \$1.000 de inversión. Luego le sigue la Aislación de muros, aunque presenta un comportamiento disperso entre ciudades, producto de los diferentes ahorros en consumo de la medida.

Por tanto y bajo el análisis visto en el correspondiente capítulo, se concluye que la mejor solución para Santiago es el Colector Solar de 150 litros, de igual forma para Valparaíso. En el caso de Santiago, el Colector solar produce un ahorro anual de \$ 97.651 y 22,8 kg CO2 equiv., con una inversión de \$ 890.860. Para Valparaíso el ahorro es de \$ 99.220 y 23,28 kg CO2 equiv., con una inversión de \$ 890.860. En tanto para Concepción, la mejor solución resulta ser la aislación de muros perimetrales compuesta por un aislante principal de poliestireno expandido y un revestimiento de yeso cartón, produciendo un ahorro anual de \$ 131.362 y 50,1 kg CO2 equiv., con una inversión de \$ 502.266. Esto se da principalmente por la factibilidad técnica del Colector Solar que permite una instalación sin mayores dificultades, en tanto la aislación de muros tiene mejor relación costo, ahorro, impacto que las otras.

Finalmente, si estas medidas fueran implementadas en un 50% de las viviendas de las regiones estudiadas, se obtendrían los siguientes ahorros e inversiones.

Tabla 77: Análisis macro de las medidas de reacondicionamiento más eficientes seleccionadas.

Ciudad	Medida	Ahorro GWh anual	Ton CO2 evitadas	Inversión MM\$
Santiago	Colector Solar	10.292	402.137	402.137
Valparaíso	Colector Solar	2.104	80.787	80.787
Concepción	Aislación de muros	4.262	42.724	42.724
Total		731	16.658	525.648

La generación es equivalente a una central hidroeléctrica⁸, y la inversión de 1.1 dólares por Kwh es cercana al dólar por kwh de las mismas centrales⁹. Con esto último es posible concluir que un proyecto a nivel país de aislación térmica de las viviendas, en conjunto con generación energética residencial, puede ser considerada como alternativa a un megaproyecto de generación eléctrica.

⁸ Central Rapel, Capacidad instalada: 377 MW; generación media anual: 542 GWh.

⁹ Central Alto Maipo, inversión a la fecha: 2.500 MM de dólares; generación media anual: 2465 GWh.

Capítulo 10: Bibliografía.

- Romero, N. P. (2011). *Consumo de energía a nivel residencial en Chile y análisis de eficiencia energética en calefacción* (Memoria de pregrado). Universidad de Chile. Recuperado de <http://repositorio.uchile.cl/handle/2250/104235>.
- Canales, M. I. (2014). *Efecto del uso de techos y fachadas vegetales en el comportamiento térmico de edificios* (Memoria de pregrado). Universidad de Chile. Recuperado de <http://repositorio.uchile.cl/handle/2250/130298>
- Molina, J. E. (2014). *PV Installation on building rooftops and facades in Chile: technical and economic potential* (Tesis Master of Science). Universidad Católica de Chile. Recuperado de <https://repositorio.uc.cl/handle/11534/16554>
- Quinteros, D. S. (2012). *Estudio de la eficiencia del sistema solar térmico en el barrio San Valentín, comuna de lo Prado* (Tesis de pregrado). Universidad de Santiago. Recuperado de http://fisica.usach.cl/sites/fisica/files/tesis_denisse_quinteros_massardo.pdf
- Ma, Z., Cooper, P., Daly, D. & Ledo, L. (2012). *Existing building retrofits: Methodology and state-of-the-art*. Recuperado de <http://www.elsevier.com>
- Al-Waeli, A. H., Sopian, K., Kazem, H. A., & Chainchan, M.T., (2016). *Photovoltaic/Thermal (PV/T) systems: Status and future prospects*. Recuperado de <http://www.elsevier.com>
- Charalambous, P.G., Maidment, G.G. Kalogirou, S.A. & Yiakoumetti, K. (2006). *Photovoltaic/Thermal (PV/T) collectors: A review*. Recuperado de <http://www.elsevier.com>
- Rosiek, S. & Batles, F. (2013) *Renewable energy solutions for building cooling, heating and power system installed in an institutional building: Case study in southern Spain*. Recuperado de <http://www.elsevier.com>
- Center for Life Cycle Assessment and Sustainable Design (Cadis). (2014). *Environmental Product Declaration. Rolan Rockwool insulation board*.
- Center for Life Cycle Assessment and Sustainable Design (Cadis). (2015). *Sector Environmental Product Declaration. Expandable Polystyrene (EPS) insulation board*.
- EDP International AB. (2017). *Environmental Product Declaration. Thermal insulation systems: Mapetherm EPS, Mapetherm XPS, Mapetherm M.wool*.
- Centro de Desarrollo Tecnológico (CDT). (2010). *Estudio de usos finales y curva de oferta de conservación de la energía en el sector residencial de Chile*.

- Centro de Investigación, Desarrollo e Innovación de Estructura y Materiales, Universidad de Chile. *ECOBASE Construcción*.
- Ministerio de Vivienda y Urbanismo (MInvu). (2006). Manual de aplicación Reglamentación térmica.
- Ministerio de Vivienda y Urbanismo (Minvu). (2014). Manual Sistema Solares Térmicos.
- Ondac. (2017). *Manual de costos Materiales y Actividades de la Construcción*.
- Centro de Desarrollo Tecnológico (CDT). (2016). Manual de (Re) Acondicionamiento Térmico.
- Guía de diseño para la eficiencia energética en la vivienda social. Waldo Bustamante. (2009).
- Ministerio de Vivienda y Urbanismo (Minvu). (2014). *Código de Construcción Sustentable para Viviendas, Chile*. Building Research Establishment.
- Comisión Nacional de Energía (CNE). (2015). *Anuario Estadístico de Energía 2005-2015*. Recuperado de <https://www.cne.cl/nuestros-servicios/reportes/informacion-y-estadisticas/>
- Comisión Nacional de Energía (CNE). (2016). *Anuario Estadístico de Energía 2016*. Recuperado de <https://www.cne.cl/nuestros-servicios/reportes/informacion-y-estadisticas/>
- Instituto Nacional de Normalización de Chile (INN). (2008). *NCh 1079 Of.2008. Arquitectura y construcción - Zonificación climático habitacional para Chile y recomendaciones para el diseño arquitectónico*.
- Instituto Nacional de Normalización de Chile (INN). (1989). *NCh 1960 Of.1989. Aislación térmica - Cálculo de coeficientes volumétricos globales de pérdidas térmicas*.
- Instituto Nacional de Normalización de Chile (INN). (1994). *NCh 2251 Of.1994. Aislación térmica - Resistencia térmica de materiales y elementos de construcción*.
- Instituto Nacional de Normalización de Chile (INN). (2008). *NCh 851 Of.2008. Aislación térmica - Determinación de propiedades de transmisión térmica en estado estacionario y propiedades relacionadas - Cámara térmica calibrada y de guarda*.

- Instituto Nacional de Normalización de Chile (INN). (2007). *NCh 853 Of.2007. Acondicionamiento térmico - Envolverte térmica de edificios - Cálculo de resistencias y transmitancias térmicas.*
- Asociación Española de Normalización y Certificación (AENOR). (2006). *UNE-EN ISO 14040: 2006 Gestión ambiental. Análisis del ciclo de vida. Principios y marco de referencia*
- Instituto Nacional de Estadísticas (INE) (2017) *Censos de población y vivienda.* Recuperado de <http://www.ine.cl>
- Observatorio Habitacional Minvu (2016) *Viviendas del Precenso 2016.* Recuperado de <http://www.observatoriohabitacional.cl>

Anexo A: Análisis de las herramientas de impacto ambiental

Se presentan los inventarios considerados en Ecobase, así como también los procesos, para el yeso cartón y MDF.

Tabla 78: Inventario de yeso cartón Ecobase, para la fabricación de 1 kg.

Inventario	Yeso cartón 8 mm		
Sector	Producto	Unidad	1 kg
Yeso Cartón - Calcinado	Yeso_calcinado_Estuco_Promedio	kg	0,811913
Electricidad	Electricidad {CL - SIC}, medio voltaje	kWh	0,031855
Agua	Agua potable {CL}	kg	0,901548
Papel y cartón	Cartón corrugado, planchas yeso cartón (linerboard)	kg	0,051510
Papel y cartón	Cartón, corrugado	kg	0,002420
Energía - Combustibles Fósiles	Gas natural, combustionado	MJ	1,595176
Fertilizante	Sulfato de potasio, como K2O	kg	0,000518
Insecticida	Ácido Bórico	kg	0,000074
Mineral	Vermiculita	kg	0,007714
Producción vegetal	Almidón, de papa	kg	0,001369
Producción vegetal	Azucar	kg	0,000074
Químicos	Ácido naftalen-sulfónico	kg	0,005301
Químicos	Silicona	kg	0,000006
Tratamiento residuos	Residuos domiciliarios, a relleno sanitario	kg	0,091563
Tratamiento residuos	Residuos industriales líquidos (RILES), a tratamiento	m3	0,000341
Vidrio	Fibra de vidrio	kg	0,000008

Tabla 79: Inventario de MDF Ecobase para la fabricación de 1 m3.

Inventario	MDF 9 mm		
Sector	Producto	Unidad	1 m ³
Electricidad	Electricidad {CL - SIC}, medio voltaje	kWh	294,904150
Energía - Mix fuentes	Procesamiento madera_Energía, mix calor y electricidad, productos madera procesada	MJ	215,823895
Energía - Biomasa	Procesamiento madera_Calor, de cogeneración a biomasa de tableros de madera	MJ	1949,23866
Madera - Procesamiento	Procesamiento madera_Chips madera {CL} Promedio	m3	49,2095833
Agua	Agua potable {CL}	kg	4,7666667
Energía - Combustibles Fósiles	Diesel, combustionado en generador eléctrico	MJ	49,0592900
Energía - Biomasa	Horno, chips madera, con silo 50kW	p	0,0000020

Inventario		MDF 9 mm	
Sector	Producto	Unidad	1 m³
Energía Infraestructura -	Precipitador electrostático	p	0,0000001
Energía Infraestructura -	Horno, chips madera, con silo 1000kW	p	0,0000005
Fertilizante	Urea, como N	kg	0,0572664
Madera	Astillas seca	kg	48,2468550
Madera	Astillas verdes	kg	570,8748228
Madera	Chips {RoW} Forestal	kg	4,6906200
Madera	Fabrica tableros de madera, resinas orgánicas	p	0,0000000
Madera	Pulpwood, madera blanda, medida como madera sin corteza	m3	0,0170111
Mantenimiento	Aceite lubricante	kg	0,7329573
Químicos	Emulsión Parafina	kg	4,0308856
Químicos	Hipoclorito de sodio, sin agua	kg	0,0033199
Químicos	Resina melamina-urea-formaldehído	kg	46,4839454
Químicos	Resina urea-formaldehído (UF)	kg	11,6556738
Químicos	Soda cáustica, sin agua	kg	0,0843038
Químicos	Sulfato de aluminio	kg	0,0194248
Refrigerante	Refrigerante R22	kg	0,0001635
Transporte	Transporte, barco, barco transoceanico	tkm	8,2833333
Transporte	Transporte camión, > 32 t, EURO 3	tkm	69,4841536
Transporte	Transporte camión, 16 - 32 t, EURO 3	tkm	2,3796667
Transporte	Transporte camión, 3,5 - 7,5 ton, EURO 3	tkm	0,6000000
Transporte	Transporte camión, 7,5 - 16 ton, EURO 3	tkm	4,3920000
Tratamiento residuos	Cenizas, a tratamiento	kg	0,0332521
Tratamiento residuos	Residuos domiciliarios, a relleno sanitario	kg	1,9328930
Tratamiento residuos	Residuos Industriales Líquidos (RILES), fabricación MDF, a tratamiento {CL}	m3	0,2492864
Tratamiento residuos	Residuos organicos, a incineración	kg	0,0149756
Tratamiento residuos	Residuos peligrosos, a incineración	kg	0,7439542
Entradas desde la naturaleza	Agua, rio, CL	m3	0,0053600
Entradas desde la naturaleza	Agua, origen desconocido, CL	m3	0,0047600
Entradas desde la naturaleza	Agua, de pozo, CL	m3	1,1200000



Figura 24: Diagrama de procesos para la fabricación de yeso cartón. Fuente: Ecobase construcción.

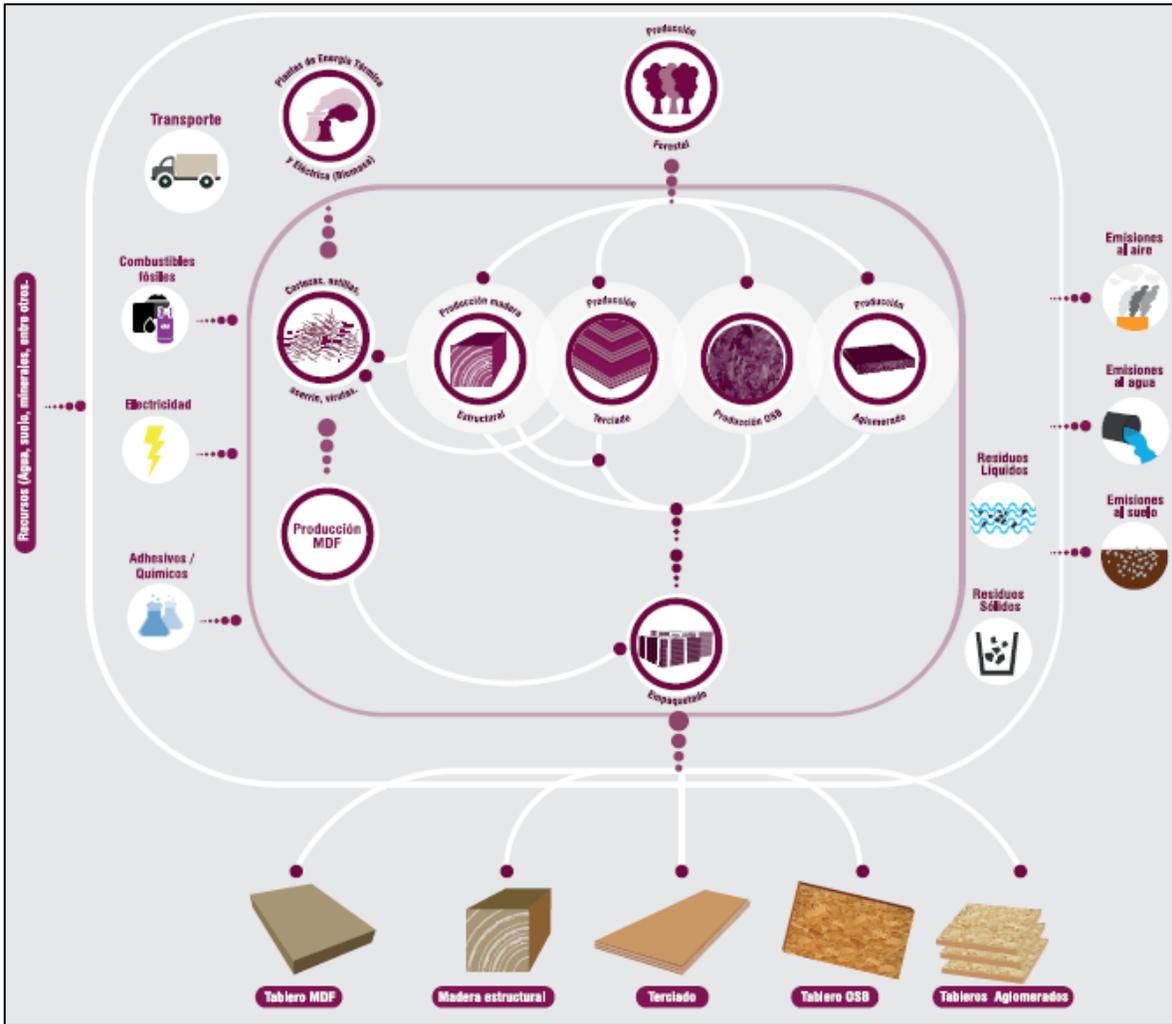


Figura 25: Diagrama de procesos para la fabricación de diferentes tipos de madera, entre ellos MDF. Fuente: Ecobase construcción

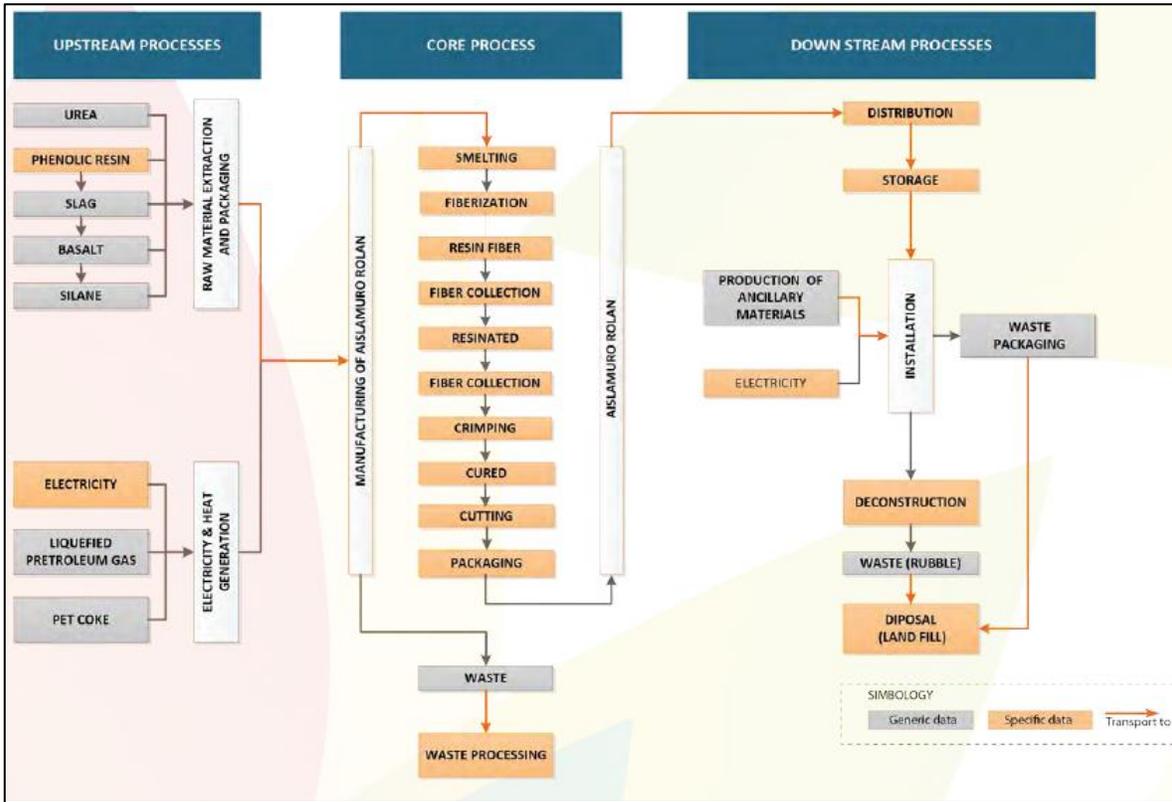


Figura 26: Diagrama de procesos para fabricación de lana mineral. Fuente: Environmental Product Declaration. Rolan Rockwool insulation board.

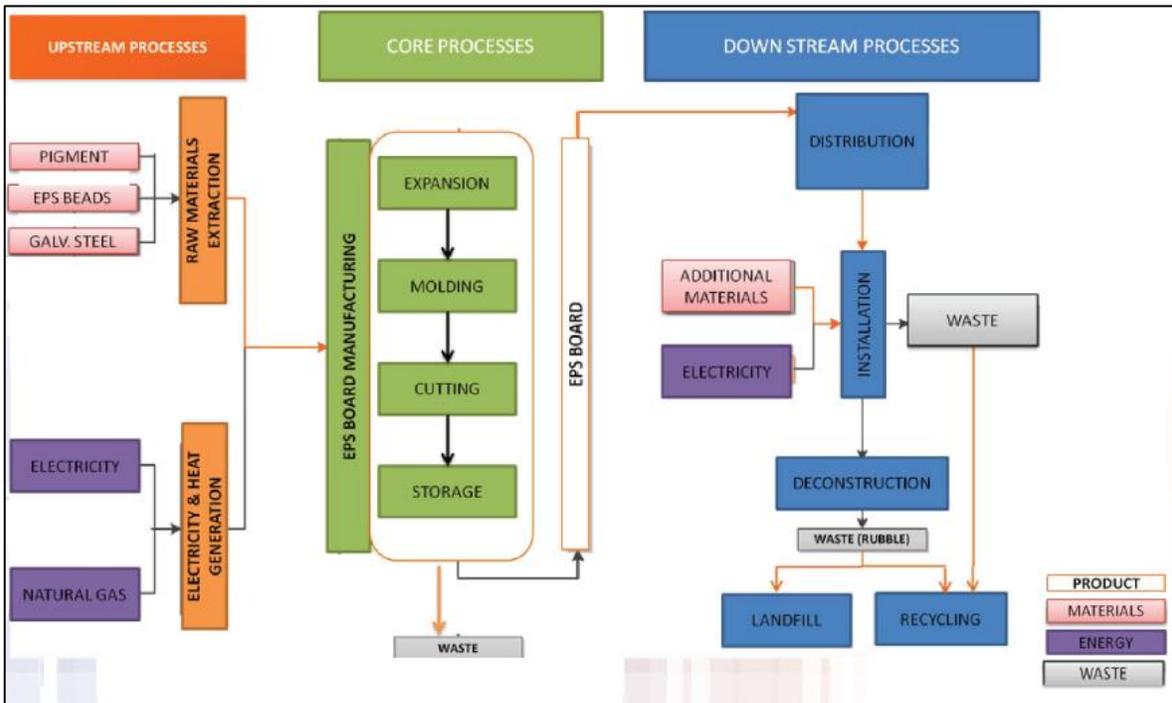


Figura 27: Diagrama de procesos para fabricación de PE. Fuente: Environmental Product Declaration. Expandable Polystyrene (EPS) insulation board.

Anexo B: Tablas de cálculos.

A continuación, se muestran tablas no incluidas dentro del desarrollo del trabajo

Tabla 80: Tipología nacional según macrozona, incluyendo departamentos.

Zona térmica	Casa aislada		Casa fila		Casa pareada		Departamento		Total
	1 piso	2 pisos	1 piso	2 pisos	1 piso	2 pisos	1 piso	2 pisos	
GTZ B (1 y 2)	7,0%	2,9%	2,0%	1,8%	4,0%	2,6%	3,0%	0,1%	23,4%
GTZ C (3,4 y 5)	19,2%	4,2%	3,6%	1,9%	19,2%	11,5%	10,3%	0,6%	70,5%
GTZ D (6 y 7)	3,2%	1,2%	0,1%	0,0%	0,7%	0,7%	0,1%	0,0%	6,0%
total	29,4%	8,3%	5,7%	3,7%	23,9%	14,8%	13,4%	0,7%	

Tabla 81: Porcentaje de tipología por macrozona incluyendo departamentos

Zona térmica	Casa aislada		Casa fila		Casa pareada		Departamento		Total
	1 piso	2 pisos	1 piso	2 pisos	1 piso	2 pisos	1 piso	2 pisos	
GTZ B (1 y 2)	29,9 %	12,4%	8,5%	7,7%	17,1 %	11,1%	12,8 %	0,4%	100,0 %
GTZ C (3,4 y 5)	27,2 %	6,0%	5,1%	2,7%	27,2 %	16,3%	14,6 %	0,9%	100,0 %
GTZ D (6 y 7)	53,3 %	20,0%	1,7%	0,0%	11,7 %	11,7%	1,7%	0,0%	100,0 %

Tabla 82: Porcentaje de viviendas de albañilería según tipología y región.

Materialidad	Albañilería						
	Tipología	CA1P	CA2P	CF1P	CF2P	CP1P	CP2P
Arica		20%	8%	6%	5%	11%	7%
Iquique		19%	8%	5%	5%	11%	7%
Antofagasta		20%	8%	6%	5%	11%	7%
Copiapó		16%	7%	5%	4%	9%	6%
La Serena		15%	6%	4%	4%	9%	6%
Valparaíso		15%	6%	4%	4%	8%	5%
Santiago		19%	4%	4%	2%	19%	12%
Rancagua		19%	4%	3%	2%	19%	11%
Talca		20%	4%	4%	2%	20%	12%
Concepción		11%	2%	2%	1%	11%	7%
Temuco		5%	1%	1%	0%	5%	3%
Valdivia		2%	0%	0%	0%	2%	1%
Puerto Montt		2%	1%	0%	0%	0%	0%
Coyhaique		3%	1%	0%	0%	1%	1%
Punta Arenas		3%	1%	0%	0%	1%	1%

Tabla 83: Porcentaje de viviendas de madera según tipología y región.

Materialidad	Madera						
	Tipología	CA1P	CA2P	CF1P	CF2P	CP1P	CP2P
Arica		7%	3%	2%	2%	4%	2%
Iquique		8%	3%	2%	2%	5%	3%
Antofagasta		6%	2%	2%	2%	3%	2%
Copiapó		11%	5%	3%	3%	6%	4%
La Serena		10%	4%	3%	3%	6%	4%
Valparaíso		12%	5%	3%	3%	7%	4%
Santiago		4%	1%	1%	0%	4%	3%
Rancagua		5%	1%	1%	1%	5%	3%
Talca		4%	1%	1%	0%	4%	2%
Concepción		15%	3%	3%	1%	15%	9%
Temuco		22%	5%	4%	2%	22%	13%
Valdivia		25%	5%	5%	2%	25%	15%
Puerto Montt		49%	18%	2%	0%	11%	11%
Coyhaique		42%	16%	1%	0%	9%	9%
Punta Arenas		49%	18%	2%	0%	11%	11%

Tabla 84: Número de viviendas de albañilería según tipología.

Materialidad	Albañilería						
	Tipología	CA1P	CA2P	CF1P	CF2P	CP1P	CP2P
Arica		14815	6137	4233	3809	8465	5503
Iquique		22300	9239	6371	5734	12743	8283
Antofagasta		38431	15922	10980	9882	21961	14274
Copiapó		19041	7888	5440	4896	10880	7072
La Serena		45743	18951	13069	11762	26139	16990
Valparaíso		115416	47815	32976	29678	65952	42869
Santiago		451403	98744	84638	44670	451403	270371
Rancagua		64683	14150	12128	6401	64683	38743
Talca		83930	18360	15737	8306	83930	50271
Concepción		85063	18607	15949	8418	85063	50949
Temuco		18492	4045	3467	1830	18492	11076
Valdivia		2915	638	546	288	2915	1746
Puerto Montt		6994	2623	219	0	1530	1530
Coyhaique		1189	446	37	0	260	260
Punta Arenas		1735	651	54	0	379	379

Tabla 85: Número de viviendas de madera según tipología

Materialidad	Madera					
Tipología	CA1P	CA2P	CF1P	CF2P	CP1P	CP2P
Arica	4864	2015	1390	1251	2780	1807
Iquique	9557	3959	2731	2458	5461	3550
Antofagasta	11472	4753	3278	2950	6555	4261
Copiapó	13652	5656	3900	3510	7801	5071
La Serena	31105	12886	8887	7998	17774	11553
Valparaíso	94217	39033	26919	24227	53838	34995
Santiago	101725	22252	19073	10066	101725	60929
Rancagua	18073	3954	3389	1789	18073	10825
Talca	14548	3182	2728	1440	14548	8714
Concepción	112034	24507	21006	11087	112034	67104
Temuco	82188	17979	15410	8133	82188	49227
Valdivia	37474	8197	7026	3708	37474	22445
Puerto Montt	159107	59665	4972	0	34805	34805
Coyhaique	18554	6958	580	0	4059	4059
Punta Arenas	31571	11839	987	0	6906	6906