



UNIVERSIDAD CENTRAL DE CHILE
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL EN OBRAS CIVILES Y
CONSTRUCCIÓN

**ESTIMACIÓN DEL DESEMPEÑO DE UN SISTEMA MIXTO DE
CALEFACCIÓN ELÉCTRICA VS CALEFACCIÓN A LEÑA CON
APLICACIÓN A VIVIENDAS DE LA REGIÓN
METROPOLITANA**

**MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL EN
OBRAS CIVILES**

PROFESOR GUÍA: IZET USTOVIC KAFLIK
PROFESORES INFORMANTES: JAIME ARRIAGADA ARAYA
LILIANA GARCÍA PARRA

PABLO GABRIEL CABEZAS MATABENITEZ

Santiago – Chile

2017



UNIVERSIDAD CENTRAL DE CHILE
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL EN OBRAS CIVILES Y
CONSTRUCCIÓN

**ESTIMACIÓN DEL DESEMPEÑO DE UN SISTEMA MIXTO DE
CALEFACCIÓN ELÉCTRICA VS CALEFACCIÓN A LEÑA CON
APLICACIÓN A VIVIENDAS DE LA REGIÓN
METROPOLITANA**

**MEMORIA PREPARADA BAJO LA SUPERVISIÓN DE LA COMISIÓN
INTEGRADA POR LOS PROFESORES:**

JAIME ARRIAGADA ARAYA

LILIANA GARCÍA PARRA

IZET USTOVIC KAFLIK

**QUIENES RECOMIENDAN QUE SEA ACEPTADA PARA COMPLETAR LAS
EXIGENCIAS DEL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO CIVIL EN OBRAS
CIVILES.**

SANTIAGO – CHILE

2017

A mis padres Sergio y Pilar, por su constante e incondicional apoyo y confianza durante todo el proceso de mi carrera profesional. En especial a mi padre, no así a mi madre ya que sé que cualquier cosa que haga "le encanta".

Agradecimientos:

Como en todos los procesos de la vida durante su desarrollo siempre existen personas quienes sin su fundamental apoyo no sería posible su realización. En este proceso de memoria de título agradezco profundamente a los siguientes:

A mi profesor guía Izet Ustovic por todo su apoyo en el proceso, por enseñarme a escuchar y a no perder la calma.

A la Corporación de Desarrollo Tecnológico de la Cámara Chilena de la Construcción, por ofrecer la oportunidad de desarrollar este tipo de memorias. En especial a Cristian Yáñez, Gerente de área de eficiencia energética, quien fue el principal guía para el desarrollo de este trabajo y por toda su paciencia y apoyo.

A ENEL distribución por permitir el desarrollo de la presente memoria en torno a uno de sus proyectos y en especial a Valentina Barros por toda su gestión y capacidad para facilitar la información necesaria para este.

Al profesor Adelqui Fissore, director de la carrera de Ingeniería Civil Mecánica de la Universidad de Concepción; por todo su tiempo, su buena voluntad y su disposición para revisar, corregir y aportar con su experiencia en este trabajo.

A las familias involucradas en el desarrollo de este estudio en especial a La señora María Angélica y Don Julio Martínez por su gran disposición para recibirme en sus hogares.

Para terminar a mi familia amigos y compañeros, en especial a Arturo, Daniel, Daniela, Martín y Valentina. Finalmente, en general a todas las personas quienes aportaron a la realización de este trabajo de manera voluntaria o inconscientemente.

Tabla de contenido

| | |
|---|----|
| Capítulo 1 Introducción..... | 1 |
| Capítulo 2 Antecedentes..... | 4 |
| 2.1 Contexto histórico..... | 4 |
| 2.2 Contexto espacial y geográfico | 6 |
| 2.3 Efecto de la inversión térmica | 7 |
| 2.4 Situación actual de la contaminación | 9 |
| 2.5 Sectorización de los emisores de contaminación | 12 |
| Capítulo 3 Proyecto de recambio de calefactores | 16 |
| 3.1 Descripción general del proyecto | 16 |
| 3.2 Ubicación de las viviendas piloto | 20 |
| 3.3 Descripción del sistema de calefacción para el recambio | 22 |
| 3.4 Arquitectura de las viviendas..... | 25 |
| 3.5 Hipótesis para el proyecto | 28 |
| 3.6 objetivos del proyecto | 29 |
| 3.6.1 Objetivo general..... | 29 |
| 3.6.2 Objetivos específicos..... | 29 |
| Capítulo 4 Marco teórico | 30 |
| 4.1 Aspectos físicos y energéticos..... | 30 |
| 4.1.1 Energía | 30 |
| 4.1.2 Calor | 31 |
| 4.1.3 Capacidad calorífica, Calor específico e Inercia térmica..... | 31 |
| 4.1.4 Equilibrio térmico..... | 32 |
| 4.1.5 Transferencia de calor..... | 33 |
| 4.2 Aspectos de eficiencia energética..... | 35 |
| 4.2.1 Eficiencia energética | 35 |
| 4.2.2 Energías renovables | 35 |
| 4.2.3 Eficiencia de equipos de aire acondicionado o bombas de calor | 36 |
| 4.3 Aspectos de confort | 37 |
| 4.3.1 Confort ambiental | 37 |

| | |
|--|-----|
| 4.3.2 Confort térmico..... | 38 |
| 4.4 Metodologías para el desarrollo del análisis | 38 |
| 4.4.1 Metodología para la determinación del consumo energético | 38 |
| 4.4.2 Metodología para las estimaciones la temperatura en las viviendas..... | 47 |
| 4.4.3 Metodología para la determinación de emisiones de material particulado | 60 |
| Capítulo 5 Análisis de las viviendas..... | 66 |
| 5.1 Condiciones climáticas..... | 66 |
| 5.1.1 Temperatura del ambiente exterior | 66 |
| 5.1.2 Radiación solar | 69 |
| 5.1.3 Nubosidad | 71 |
| 5.2 Descripción de la envolvente y cálculo de transmitancias | 72 |
| 5.2.1 Muros perimetrales | 74 |
| 5.2.2 Ventanas | 82 |
| 5.2.3 Puertas | 84 |
| 5.2.4 Techumbre | 84 |
| 5.2.5 Pisos | 88 |
| 5.3 Descripción del análisis..... | 91 |
| 5.4 Análisis energético y costos asociados, vivienda piloto N°1..... | 92 |
| 5.4.1 Situación inicial | 92 |
| 5.4.2 Situación actual..... | 103 |
| 5.4.3 Comparación de sistemas de calefacción según situación | 109 |
| 5.5 Análisis energético y costos asociados, vivienda piloto N°2..... | 111 |
| 5.5.1 Situación inicial | 111 |
| 5.5.2 Situación actual..... | 122 |
| 5.5.3 Comparación de sistemas de calefacción según situación | 130 |
| 5.3 Estimación de la temperatura interior de las viviendas..... | 132 |
| 5.3.1 Calculo de perdidas volumétricas globales (GV1)..... | 134 |
| 5.3.2 Cálculo de pérdidas volumétricas (GV2)..... | 140 |
| 5.3.3 Calculo de ganancias térmicas..... | 141 |
| 5.3.4 Resultados | 149 |
| 5.4 Calculo de emisiones de material particulado evitado..... | 161 |

| | |
|--|-----|
| 5.4.1 Cuantificación del material particulado evitado en las Viviendas | 161 |
| 5.5 Percepción de las familias | 165 |
| 5.5.1 Familia vivienda piloto N° 1 | 165 |
| 5.5.2 Familia vivienda piloto N° 2 | 166 |
| Capítulo 6 Conclusiones y recomendaciones..... | 168 |
| 6.1 Análisis FODA | 172 |
| 6.2 Del confort térmico..... | 173 |
| 6.3 Del material particulado evitado | 175 |
| Capítulo 7 Bibliografía y referencias | 177 |
| 7.1 Libros, artículos e informes técnicos | 183 |
| 7.2 Enlaces web..... | 185 |
| Capítulo 8 Anexos | 186 |
| A. Mapa climático de América, Instituto geográfico militar | 187 |
| B. Determinación del factor P debido al funcionamiento de un calefactor a leña, para la determinación del material particulado emitido..... | 188 |
| C. Temperaturas diarias estación Pudahuel años 2015 y 2016. | 190 |
| C.1 Año 2015..... | 190 |
| C.2 Año 2016 | 191 |
| D. valores para transmitancias y resistencias térmicas | 192 |
| D.1 Ladrillo muros perimetrales, Listado oficial de soluciones para acondicionamiento térmico, MINVU. | 192 |
| D.2 Tabiquería estructural, Listado oficial de soluciones para acondicionamiento térmico, MINVU..... | 193 |
| D.3 Valores para la conductividad térmica de la Norma NCh of 2007.Anexo A, Tabla A.1. ... | 194 |
| E. Detalle de régimen de uso de calefactores para cada vivienda..... | 198 |
| E.1 Régimen de uso de calefactores Vivienda N°1, situación inicial..... | 198 |
| E.2 Régimen de uso de calefactores Vivienda N°2, situación inicial..... | 199 |
| E.3 Régimen de uso de calefactores Vivienda N°2, situación inicial..... | 200 |
| F. Cargas de ocupación diaria para la determinación de la temperatura interior..... | 201 |
| F.1 Carga de ocupación diaria vivienda N°1..... | 201 |
| F.2 Carga de ocupación diaria vivienda N°2..... | 202 |
| G. Detalle del consumo eléctrico vivienda N°2..... | 203 |

| | |
|--|-----|
| H. Registro fotográfico | 204 |
| H.1 Vivienda piloto N°1 | 204 |
| H.2 Vivienda piloto N°2 | 205 |
| H.3 Equipos instalados | 207 |
| I. Manual para el correcto uso de los sistemas mixtos de calefacción propuestos..... | 208 |

Resumen ejecutivo

Debido a los niveles de contaminación en la ciudad de Santiago, las autoridades se han visto obligadas a tomar medidas, particularmente impulsando el plan de prevención y descontaminación de la Región Metropolitana (PDA) del Ministerio del Medio Ambiente. En este plan, una de las principales acciones corresponde a la prohibición del uso de leña para la calefacción en zonas urbanas, lo que abre el camino al reemplazo de más de 40.000 calefactores en el gran Santiago de acuerdo al estudio “Propuestas de medidas para el uso eficiente de la leña en la R.M.” (GORE, 2012).

El problema de la contaminación de aire en la R.M. se debe a las características orográficas de su ubicación, las cuales no permiten una adecuada ventilación. Este problema alcanza niveles críticos en los meses del invierno debido al aumento de uso de leña para la calefacción en el sector residencial, lo que genera altas emisiones de material particulado fino (MP2,5).

Si bien se estima que no más del 5% de las viviendas de la R.M. usan leña para la calefacción, éstas son responsables de más de 2.643 ton/año de MP2,5, lo que corresponde al 44,7% del total de emisiones de MP2,5 de acuerdo al estudio mencionado anteriormente. Una de las comunas más representativas del alto consumo de la leña en la R.M. es Maipú, elegida para la realización de los pilotos de ENEL.

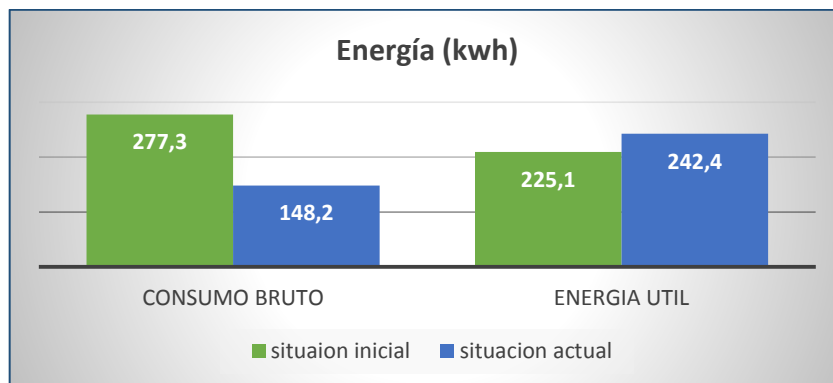
ENEL Distribución (ex – Chilectra), es la empresa distribuidora de electricidad del gran Santiago, la cual ha llevado a cabo programas de eficiencia energética y ha apoyado el recambio de calefactores a leña en la R.M. En esta línea, realizado dos proyectos piloto de recambio sistemas de calefacción a leña y combustibles convencionales por sistemas de bomba de calor (Split – Inverter), y paneles radiantes eléctrico, con el objetivo de medir tanto la variación del gasto de las familias, como también el consumo energético y la percepción respecto del nuevo sistema en comparación al anterior. La estimación de la variación del gasto, de los consumos energéticos y de la percepción de los sistemas de calefacción se llevó a cabo mediante la aplicación de entrevistas para la situación inicial (periodo pre – recambio), y mediante monitoreo remoto y encuestas para la situación actual (periodo post – recambio).

Los parámetros medidos mediante la metodología antes descrita fueron los siguientes:

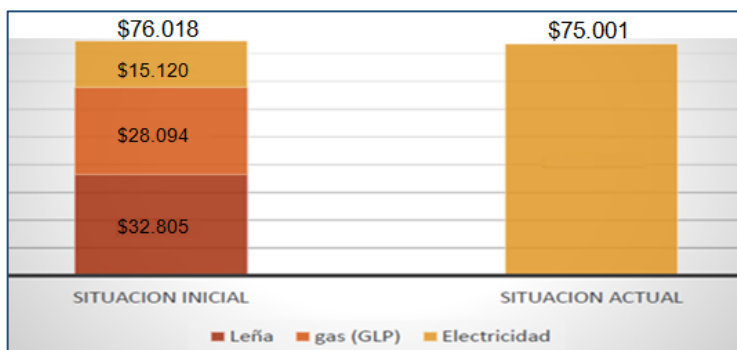
- Consumo semanal de energía.
- Costos semanales para la calefacción.
- Confort entregado por el sistema.
- Contaminación externa evitada.

Vivienda Piloto 1: En este caso, corresponde a una vivienda aislada de 2 pisos, que anteriormente consumía tanto leña como gas licuado (GLP) y electricidad para calefacción, siendo la leña su principal combustible. El sistema de calefacción anterior fue cambiado por un sistema de bomba

de calor (Split inverter) en el living, y paneles radiantes (en las demás piezas). Como se observa en la siguiente figura, la familia pasó de consumir 277,3 kWh/sem de energía bruta de todos los combustibles (sin considerar las eficiencias de los equipos), a 148,3 kWh/ sem eléctricos. Sin embargo en términos de energía útil (es decir la energía entregada a la vivienda que considera las eficiencias de los equipos), pasó de 225,1 kWh/sem a 242,4 kWh/sem, es decir, aumentó en un 7%.



En términos de gastos, estos se mantuvieron en el mismo rango anterior pasando de 76.018 \$/semana a 75.000 \$/semana. Por ende, el costo por unidad de energía varió de 75 \$/KWH a 69 \$/KWH.



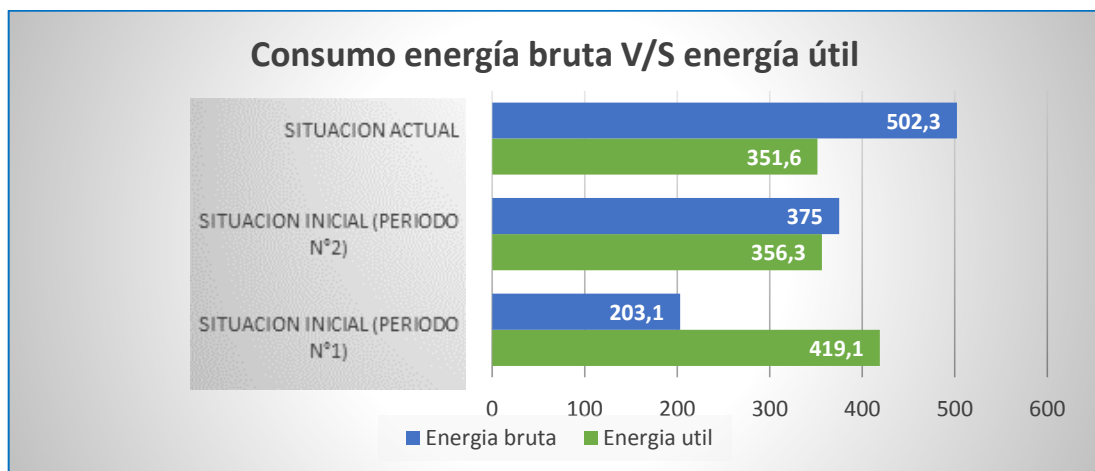
Si se analizan las emisiones, esta vivienda dejó de emitir 7,7 Kg/año de MP2,5 a la atmósfera, lo que traducido a costos social al país, asumiendo un impacto social bajo¹, asciende a un ahorro de US\$ 770 para el gobierno.

En términos de percepción, en el caso de la vivienda 1, se evaluó positivamente el recambio, dándole especial importancia a la mejor distribución del calor de la vivienda, mayor comodidad de uso y fácil adquisición del insumo (electricidad).

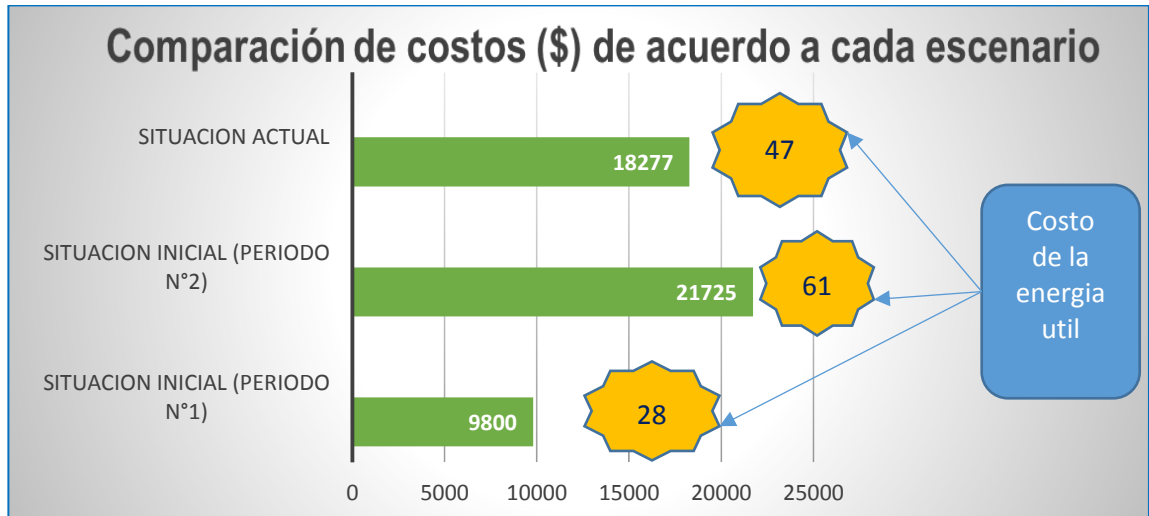
¹ Se considera un valor de US\$ 100.000 anuales por reducción de una tonelada de MP10, cifra utilizada En AGIES del Anteproyecto de norma de emisión para artefactos de uso residencial que combustión con leña y otros combustibles de biomasa, mayo 2007.

Vivienda Piloto 2: En este caso la vivienda es de un piso, y previamente al recambio de calefactores, esta vivienda pasó por dos etapas con sistemas distintos de calefacción. En una primera etapa (periodo N°1), la vivienda utilizaba solo leña para la calefacción en su hogar, y en una segunda etapa (periodo N°2), la familia migra a utilizar calefactores a GLP y kerosene. De la misma forma que en el caso anterior, este último sistema fue reemplazado por un sistema de bomba de calor (Split inverter) en el living, y paneles radiantes (en las demás habitaciones). Sin embargo, la vivienda continuó utilizando calefactores a GLP y kerosene durante el periodo n°2.

Como se observa en la siguiente figura, el nivel de energía bruta consumida es mayor en los periodos iniciales (1 y 2), disminuyendo considerablemente en la situación actual, producto de las mayores eficiencias de los sistemas de bomba de calor. Por otro lado, en términos de energía útil entregada a la vivienda, se observa un incremento en la actualidad de aproximadamente un 17%, lo que implica un mayor confort al interior de la vivienda.



En relación al gasto semanal, en la actualidad éste es menor a la situación inicial 2 (en aproximadamente un 16%), pero mayor a la situación inicial 1. Esto se debe tanto al considerable menor costo de la leña (el usuario declaró comprar la leña por granel a valores cercanos a 80 \$/Kg), como por la mayor proporción del uso actual de equipos menos eficientes (estufas a GLP, kerosene y radiadores eléctricos). Finalmente el costo por unidad de energía alcanzó 47 \$/KWH.



Si se analizan las emisiones, esta vivienda dejó de emitir 18 KG/año de MP2,5 a la atmosfera, las que traducidas en costo social al país, al igual que en la vivienda anterior, asumiendo un impacto social bajo², ascienden a un ahorro de US\$ 1.800 para el gobierno.

Para el caso de esta vivienda también se evaluó positivamente el recambio en términos de percepción. Dándosele especial importancia a la mayor seguridad al interior del hogar (la familia posee niños pequeños que podían correr riesgo de quemaduras ante equipos a leña), y mayor confort al percibir una temperatura más agradable y homogénea al interior de la vivienda.

² Ídem.

Executive summary

Due to high pollution levels in the city of Santiago, authorities have been obliged to take action, particularly by fomenting the Metropolitan Region's prevention and decontamination plan (PDA) of the Environmental Ministry. In this plan, one of the main actions is to prohibit the use of firewood for heating purposes in urban areas, which leads to replace over 400.000 heaters in Santiago, according to the study "Proposals for measures for the efficient use of firewood in the Metropolitan Region" (GORE,2012).

The air pollution problem in the Metropolitan Region is due to the orographic characteristics of its location, which do not allow adequate ventilation. This problem reaches critical levels in winter due to the season's increase in the use of firewood fueled heaters in the residential sector, which generates high emissions of particulate matter (MP2.5). Although it is estimated that no more than 5% of the region's homes use firewood for heating, they are responsible for more than 2,643 tonne/year of MP2.5, which corresponds to 44.7% of all PM2.5 emissions according to the study mentioned before. Maipú is one of the most representative areas of the city which have the highest firewood consumption, being this area chosen for the Enel's pilots.

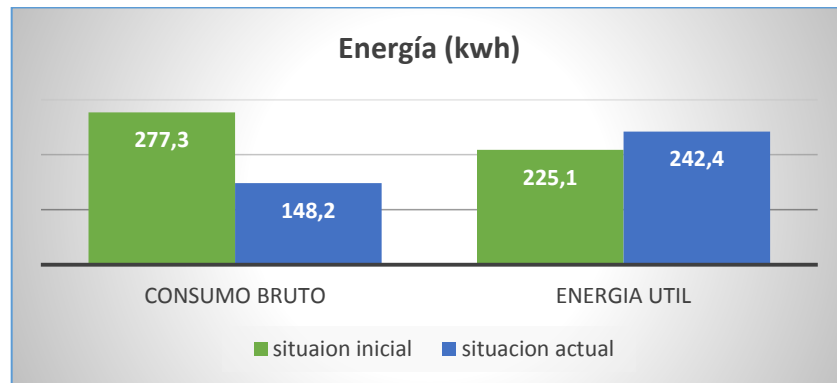
Enel Distribución (ex – Chilectra), is the electricity distribution company of Santiago, which has carried out energy efficiency programs and supported the replacement of wood burning heaters in the Metropolitan Region. According to this, it has developed two pilots of conventional firewood heating system replacements to heat pump systems (Split – Inverter) and electric radiant panels, with the objective of measuring the variation of homes expenses, energy consumption and the perception of the new system in relation to the previous one. The estimation of variation of the variables mentioned above was obtained from interviews before the replacement of the heating system (pre – replacement period), and by remote monitoring and surveys after the replacement (post – replacement period).

The parameters measured by the methodology described above are as follows:

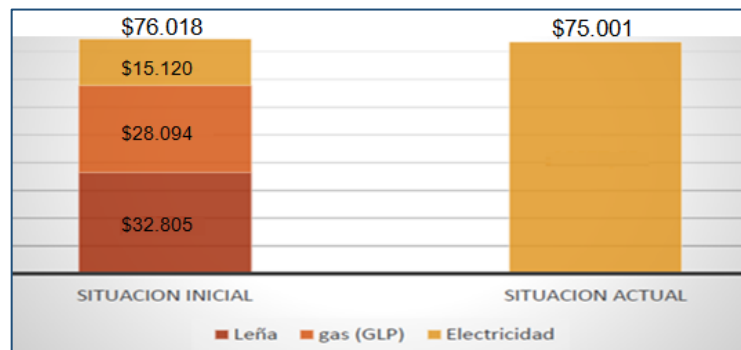
- Weekly energy consumption.
- Weekly heating expenses.
- Comfort provided by the system
- Avoided external pollution by the system

Pilot Home 1: In this case, corresponds to an isolated dwelling of two floors, which previously consumed firewood, liquefied gas (LPG) and electricity for heating, being firewood its main fuel. The previous heating system was changed by a heat pump system (Split inverter) in the living room and radiating panels (in the other rooms). As shown in the following figure, the family went

from consuming 277,3 Kwh/week of brut energy (without considering equipment efficiencies), provided from all the different energy sources; to consume 148,3 Kwh/week from only electric energy; however, in terms of usable energy (that is to say, the energy delivered to the house which considers the efficiency of the equipment), went from 225,1 Kwh/week to 242,4 Kwh/week, that is to say the thermic comfort increased 7% from its previous situation.



In terms of expenses, these remained in the same previous range going from 76.018 \$/week to 75.000 \$/week.

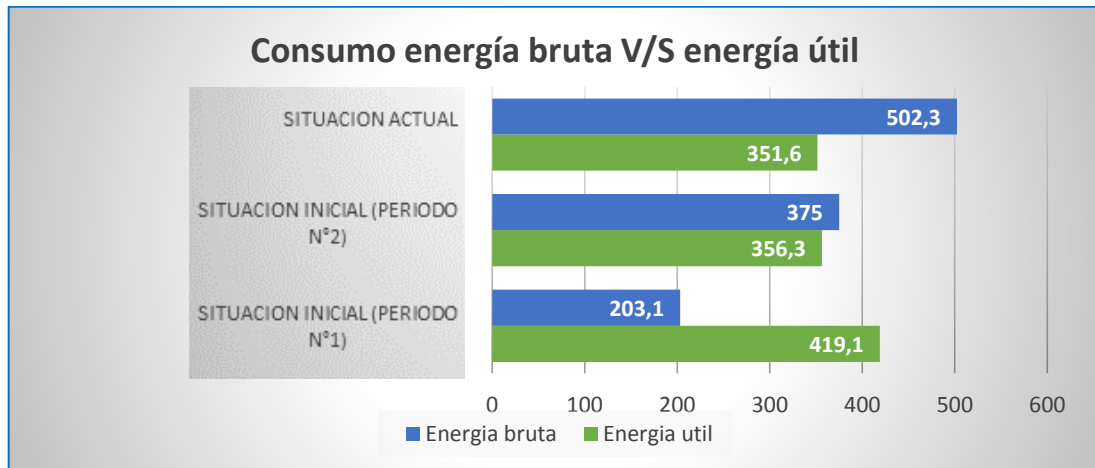


If emissions are analyzed, this dwelling stopped emitting 7.7 KG/year of MP2.5 to the atmosphere, which if it is translated into social cost to the country, assuming a low social impact, ascends to US \$ 770 of savings for the government.

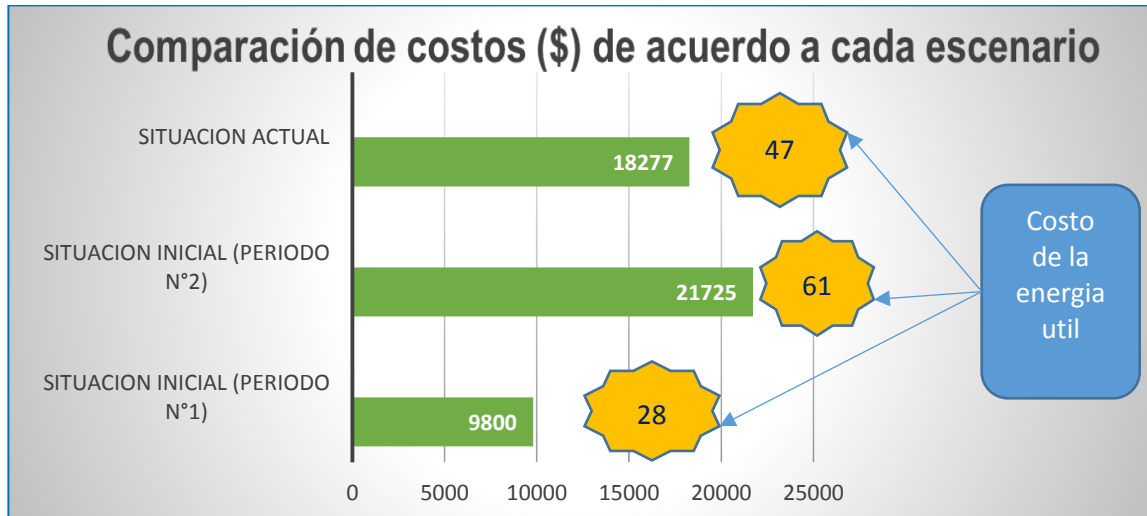
In terms of perception, in the case of pilot home 1, the replacement was positively evaluated, giving special importance to the better distribution of heat inside the house, greater comfort of use and easy acquisition of the input (electricity).

Pilot Home 2: In this case, the dwelling has one floor and prior to the heating system replacement went through two stages with different heating systems. In the first stage (period N°1), the house used only firewood for heating and in the second stage (period N°2), the family migrates from using firewood to LPG and kerosene. In the same way as in the previous case, this last system was replaced by a heat pump system (Split inverter) located in the living room and radiating panels (in the other rooms). However, this house kept using GLP and kerosene to this day.

As shown in the following figure, the consumption of brut energy is higher in the initial periods (1 and 2), decreasing considerably in the current period due to the higher efficiency of the heat pump system. On the other hand, in terms of useful energy delivered to the dwelling, there is an approximate increase of 17% in the present time, which implies a greater comfort inside the house.



In relation to the weekly expenditure. The current expenditure is lower than the initial situation 2 (approximately 16%), but greater than the initial situation 1. This is due, on the one hand, to the considerable lower cost of purchased firewood (the user declares to buy firewood bulk at very low values). Considering value in terms of cost of usable energy (cost per unit of energy), reach 47 \$ / Kwh.



On the other hand, the higher cost compared to situation 1, is also due to having continued to use less efficient equipment (LPG heaters and kerosene).

If the emissions are analyzed, this dwelling stopped emitting 18 KG/year of MP2.5 to the atmosphere, which if it is translated into social cost to the country, as in the previous dwelling, assuming a low social impact, ascends to US \$ 1,800 in saving for the government.

In terms of perception, in the case of pilot home 2, the replacement was also evaluated positively, giving special importance to the improvement of safety inside the house (the family has small children who could be at risk of burns to firewood fueled equipment), and Greater comfort due to pleasant and more homogeneous temperature inside the house.

Capítulo 1 Introducción

La presente memoria invita a recorrer los diferentes ámbitos relacionados con el planeamiento de un novedoso sistema de calefacción eléctrico y como éste logra aportar al mejoramiento de la actual problemática referente a los altos niveles de contaminación atmosférica en la Región Metropolitana.

El aumento de población, urbanización y desarrollo industrial de las ciudades de la Región Metropolitana, son algunas de las principales situaciones que se encuentran esencialmente ligadas al incremento en los niveles de emisiones de gases contaminantes y material particulado. Dichas emisiones de elementos nocivos, causan graves daños al medio ambiente, aportando a la degradación de la capa de ozono e incrementando el efecto invernadero, pudiendo además provocar serias enfermedades y complicaciones a los seres humanos.

Es por este motivo, que a la par de los incrementos mencionados se han aumentado y extendido las políticas públicas, y medidas adoptadas por parte de las autoridades para la prevención y mitigación de las emisiones contaminantes, considerando como uno de los agentes más peligrosos el material particulado fino respirable, por lo que se han enfocado los esfuerzos del gobierno en combatir este problema, modificando y mejorando los planes existentes para la prevención y descontaminación. En este caso, el estudio realizado se enfoca en el sector residencial. Siendo uno de los principales objetivos la eliminación de la leña como energético combustible, ya que ésta genera gran parte de la contaminación total de la ciudad de Santiago en los meses críticos del invierno.

Una de las acciones asumidas para lograr el objetivo de terminar con la leña utilizada en la calefacción, es la implementación de programas de recambio de calefactores. Estos programas han generado un gran interés en empresas distribuidoras de energéticos, las cuales perciben dicha situación como una oportunidad de penetrar en el mercado proponiendo sistemas de calefacción más eficientes y amigables con el medio ambiente.

Es aquí donde entra ENEL DISTRIBUCIÓN uno de los principales actores e impulsores de este estudio. ENEL DISTRIBUCIÓN (ex Chilectra) es la mayor empresa distribuidora de energía eléctrica de la región metropolitana que en un trabajo conjunto con el Ministerio del Medio Ambiente buscan posicionar una nueva propuesta como opción para el recambio en tecnologías de calefacción con el objetivo de sustituir los equipos de combustión de leña en las viviendas del gran Santiago.

El presente estudio se encuentra enfocado en un sistema de calefacción presentado por ENEL DISTRIBUCIÓN, que ha sido desarrollado a través de la Corporación de Desarrollo Tecnológico (CDT), particularmente en el área de eficiencia energética, en su calidad de expertos en el tema y con vasta experiencia en diferentes estudios similares, quienes mediante su programa de memoristas han dado la oportunidad de desarrollar el presente estudio como memoria de título para la carrera de Ingeniería Civil en Obras Civiles de la Universidad Central de Chile.

La alternativa propuesta está conformada por un sistema eficiente, el cual incorpora el uso de energías renovables en base al consumo de electricidad como energético. Actualmente se encuentra instalado a modo de piloto en dos viviendas ubicadas en la comuna de Maipú, las cuales originalmente utilizaban calefactores de combustión a leña.

El estudio ha sido realizado con el objetivo de evaluar consumos energéticos, gastos operacionales y niveles de confort. Para así determinar conforme a sus beneficios si esta opción logra ser viable y elegible para las familias.

Capítulo 2 Antecedentes

2.1 Contexto histórico

La contaminación atmosférica en la ciudad de Santiago se remonta a sus inicios como tal. Tiempo en que la población ya reconocía y reparaba sobre la suciedad que se podía observar en el aire, producto en aquella época principalmente de incendios, quemazón indiscriminada de basura, polvo en suspensión y utilización de chimeneas, entre otros. Estos focos de emanación han subsistido a través de los años y hasta el día de hoy. Mas, con notables diferencias en la cantidad de casos puntuales de emisión y la cuantía de los contaminantes emitidos, alcanzándose en la actualidad la masividad de desechos atmosféricos a la que se ve enfrentada nuestra Región y en particular la capital.³

Como se expresó antes, el fenómeno de la contaminación está directamente ligado al progreso y crecimiento exponencial que experimenta una gran urbe en términos demográficos, de superficie y de desarrollo, dado el incremento de urbanización en ella, el desarrollo de las industrias, el transporte y no menos importante, necesidades básicas como la cocina, higiene y calefacción. Siendo estos los focos principales de emisiones contaminantes para la región metropolitana en la actualidad. Lo que, con el correr de los años ha llevado a nuestra ciudad y nuestra región a alcanzar excesivos niveles de contaminación.

En la ciudad de Santiago no se dio la importancia ni la atención suficiente a este problema, sino hasta la década de 1980 en que los elevados niveles de contaminantes en el aire, que en ese

³ Véase “La contaminación atmosférica de Santiago” En <http://www.memoriachilena.cl/602/w3-article-3507.html#presentacion>

entonces consiguen alcanzar cifras históricas, provocan la preocupación de las autoridades.⁴ Lo que, junto con el aumento de la concientización de la población respecto de los graves problemas a la salud que conllevan estos altos índices, logró movilizar al gobierno para establecer medidas permanentes y políticas públicas con el objetivo de controlar el aumento de la contaminación, adquiriendo estas medidas mayor fuerza e importancia en la década de los 90 con la creación de la Comisión Nacional del Medio ambiente (CONAMA) en el año 1994, que declara en 1996 a Santiago como zona saturada condición que dictamina que la zona sobrepasa los niveles admisibles de cuatro contaminantes principales:

- Ozono(O₃)
- Materia particulado respirable (PM₁₀)
- Partículas suspendidas (PTS)
- Monóxido de carbono (CO)

Esta situación posteriormente desencadenaría en la creación de una nueva entidad: la Comisión Especial de la Descontaminación de la Región Metropolitana, la cual estableció el primer plan de prevención y descontaminación atmosférica para a región.

A partir de estas medidas y su evolución, a través de los años se ha logrado una notable disminución de la contaminación atmosférica en la región. Sin embargo, el tema ha adquirido cada vez una mayor importancia así como la atención del gobierno y la población motivando una

⁴ Cauce. Santiago: Soc. Ed. La República, 1983-1989 (Santiago : Tecnoprint) 7 v., n° 165, (4-10 jul. 1988), p. 44-45

nueva modificación para el plan actual de prevención y descontaminación de la región, con su última modificación en el año 2009.⁵

El Plan de Prevención y Descontaminación Atmosférica (PPDA) de la Región Metropolitana fue reformulado y actualizado por el Decreto Supremo N° 66/ 2009.⁶

Este establece que la Región Metropolitana, zona saturada por ozono, material particulado respirable, partículas totales en suspensión y monóxido de carbono, y además zona latente por dióxido de nitrógeno; requiere de un plan de control de las emisiones directas de material particulado. Es por esto que la actual reformulación se enfoca principalmente en el control de dichas emisiones.

2.2 Contexto espacial y geográfico

La Región Metropolitana de Santiago se encuentra ubicada en la zona central de nuestro país. Esta cuenta con un relieve de oriente a poniente conformado por la Cordillera de los Andes, la Depresión Intermedia y la Cordillera de la Costa. Hacia el norte se encuentra una cadena montañosa de menor envergadura y transversal a los Andes, llamada cordón de Chacabuco; en que al sur se puede encontrar la angostura de Paine. Lo que sitúa a la región completamente encerrada por cadenas montañosas.⁷

⁵ Raúl O’Ryan, Luis Larraguibel, Contaminación del aire en Santiago: Estado actual y soluciones, Departamento de Ingeniería Industrial, Universidad de Chile, (2013), p.7 - 20.

⁶ PLA DE PREVENCIÓN

⁷ Historia y geografía II medio, Ed Santillana 2008.

En esta zona del país la depresión intermedia también es llamada Cuenca de Santiago. En cuyo centro se ubica la ciudad del gran Santiago. Esta situación geográfica peculiar en la que la ciudad está rodeada por formaciones montañosas provoca el impedimento de la circulación de vientos, lo que imposibilita una adecuada circulación y renovación de aire causando una mala ventilación.

2.3 Efecto de la inversión térmica

La inversión térmica es un fenómeno meteorológico asociado a la presencia de formaciones montañosas de altura relativamente elevada, y las bajas temperaturas alcanzadas durante la temporada de invierno. Lo que propicia la formación de una capa de aire que inhibe los movimientos verticales de aire (corrientes conectivas), impidiendo la dispersión de los contaminantes.⁸

Normalmente a medida que aumenta la altura y disminuye la presión atmosférica, la temperatura del aire va disminuyendo gradualmente, esto provoca que se puedan reconocer 3 zonas:

- Zona1: la más cercana a la superficie y con mayor temperatura del aire.
- Zona2: zona de altura y temperatura intermedia.
- Zona3: zona de mayor altura más alejada de la superficie de menor temperatura.

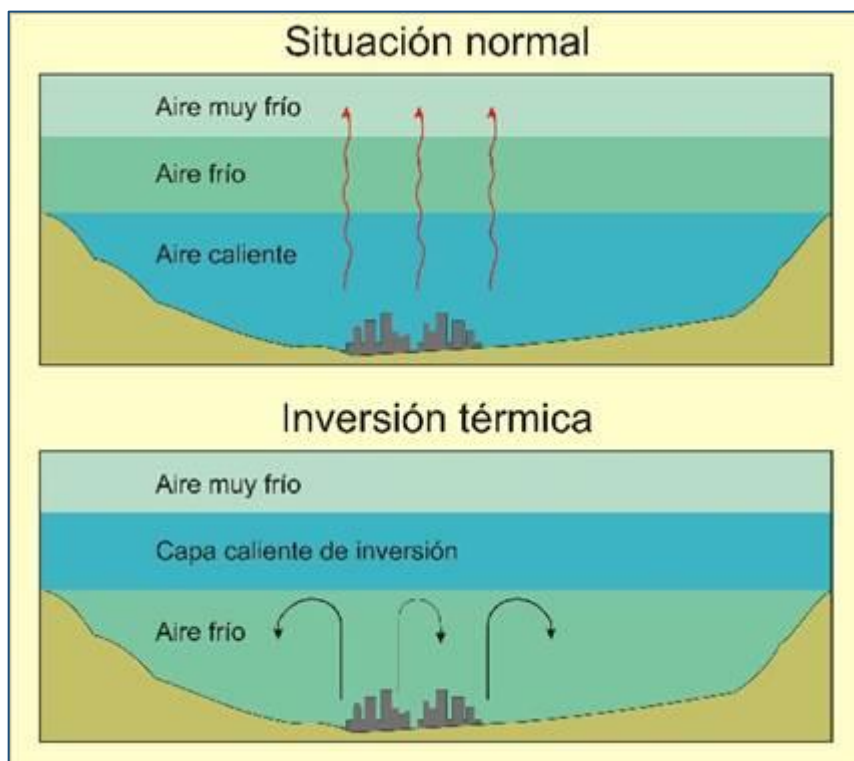
Estas zonas interactúan entre sí formando las llamadas corrientes de convección. Que corresponden a los movimientos verticales de las masas de aire. El aire al calentarse por el

⁸ Meléndez, Telmo; *Salvemos Santiago: Los problemas ambientales de Chile y sus alternativas de solución*; (1991).

contacto con la superficie terrestre aumenta su temperatura disminuyendo su densidad, tendiendo a subir y dando paso a la bajada del aire frío superior para que éste entre en contacto con la superficie; formándose así un ciclo. Este ciclo se ve interrumpido por el **fenómeno de la inversión térmica**; que se produce en las noches heladas cuando la superficie terrestre se enfría demasiado, provocando el enfriamiento del aire que entra en contacto con ella causando que la zona más cercana a la tierra tenga una menor temperatura que la zona intermedia ende, impidiendo, por la bajada de aire y estancando el ciclo de convección.

En zonas ubicadas en valles donde la circulación de aire es escasa, al verse interrumpido el flujo de aire, se comienzan a acumular partículas contaminantes en la zona de inversión.

Figura 2.1: Fenómeno de la inversión térmica en comparación a una situación normal.



Fuente 1: www.blogdebiologa.co

Junto a este fenómeno puede ocurrir otro suceso que aumenta la concentración de contaminación sobre la ciudad de Santiago: esto ocurre cuando circulan masa de aire caliente desde los andes hacia la costa aumentando la capa caliente de inversión y reduciendo la zona de estancamiento lo que provoca una mayor concentración de contaminantes, además debido a la dirección del flujo de estas masa de aire las partículas son arrastradas hacia las zonas ponientes de la ciudad.

2.4 Situación actual de la contaminación

Con el fin de poder reconocer el origen de las emisiones y así lograr formular planes específicos y enfocados a puntos precisos para la mitigación de emisiones, en la actualidad se pueden establecer dos fuentes principales de emisión de contaminantes expulsados a la atmosfera:

- Fuentes fijas: se encuentran agrupados el sector industrial, comercial, termoeléctricas, fuentes estacionarias puntuales y grupales, entre otros. No se consideran las emisiones domiciliarias.
- Fuentes móviles: Dentro de estas fuentes se encuentran agrupados el transporte público y privado. Además considerando los controles de emisiones realizados por las plantas de revisión técnica.

A continuación en la tabla 2.1 se puede observar las cantidades de contaminantes emitidos por cada una de las fuentes según el último Informe del medio ambiente emitido por el Instituto Nacional de Estadísticas⁹

Tabla 2.1: Cantidad de contaminantes emitidos según tipo de fuente.

| Fuentes fijas | | | | | | | | | |
|-----------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|--------|
| MP | MP10 | MP2,5 | CO | NOX | COV | S02 | NH3 | CO2 | Hg |
| ton/año | ton/año | ton/año | ton/año | ton/año | ton/año | ton/año | ton/año | ton/año | kg/año |
| 2269 | 951 | 827 | 7144 | 16288 | 1122 | 4761 | 182 | 6883959 | 57,3 |
| Fuentes móviles | | | | | | | | | |
| MP | MP10 | MP2,5 | CO | NOX | COV | S02 | NH3 | Hg | PCDD/F |
| ton/año | ton/año | ton/año | ton/año | ton/año | ton/año | ton/año | ton/año | g/año | mg/año |
| 37964 | 3004 | 1728 | 278390 | 33997 | 18306 | 116,1 | 1042 | 18,12 | 0,72 |

Fuente 2: Elaboración propia en base a informe del medio ambiente 2015, emitido por INE.

Donde:

- MP: Materia particulado grueso.
- MP10: Material particulado fino.
- MP2,5: Material Particulado muy fino .
- NOX: Óxidos de nitrógeno.
- COV: Compuestos Orgánicos Volátiles.
- SO2: Dióxido de azufre.
- NH3: Trihidruro de nitrógeno (amoniac).
- CO2: Dióxido de carbono.
- HG: Mercurio.
- PCDD/F: Dioxinas y Furanos.

⁹ INE, Informe del medio ambiente, cap. 1: contaminación del aire. (2015)

En este caso se debe destacar y profundizar sobre el material particulado (MP o PTS) como parte fundamental del eje motivacional para la realización de este estudio. Puesto que, además es el contaminante más dañino presente en la ciudad de Santiago. Este contaminante no es solo uno como tal, sino un conjunto de elementos nocivos que pueden provocar distintos niveles de daño al ser humano. En general corresponde a partículas sólidas en suspensión, dependiendo sus efectos del contenido y dimensión de dichas partículas, respecto al tamaño se debe diferenciar entre el PM10 como partículas que logran atravesar un filtro cuadrado con lados de 10 millonésimas de metro (micrones) y el PM2,5 como partículas que atraviesan un filtro similar pero de lados de 2,5 micras.

El material particulado mayor al PM10 decanta rápidamente y forma la mayor cantidad del polvo que se deposita en la superficie de los objetos y que puede ser retirado con relativa facilidad. El problema está en las partículas menores al PM10. Ya que, mientras más pequeña es la partícula, mayor es el riesgo de que esta alcance los alveolos pulmonares o peor aún el sistema circulatorio. Es por esto, que se busca extremar las medidas respecto a este tipo de contaminantes en la actual reformulación del Plan de Prevención y Descontaminación para la Región Metropolitana.¹⁰

¹⁰ Raúl O’Ryan, Luis Larraguibel; Contaminación del aire en Santiago: Estado actual y soluciones; Departamento de Ingeniería Industrial, Universidad de Chile. (2013), p. 7 a 21.

2.5 Sectorización de los emisores de contaminación

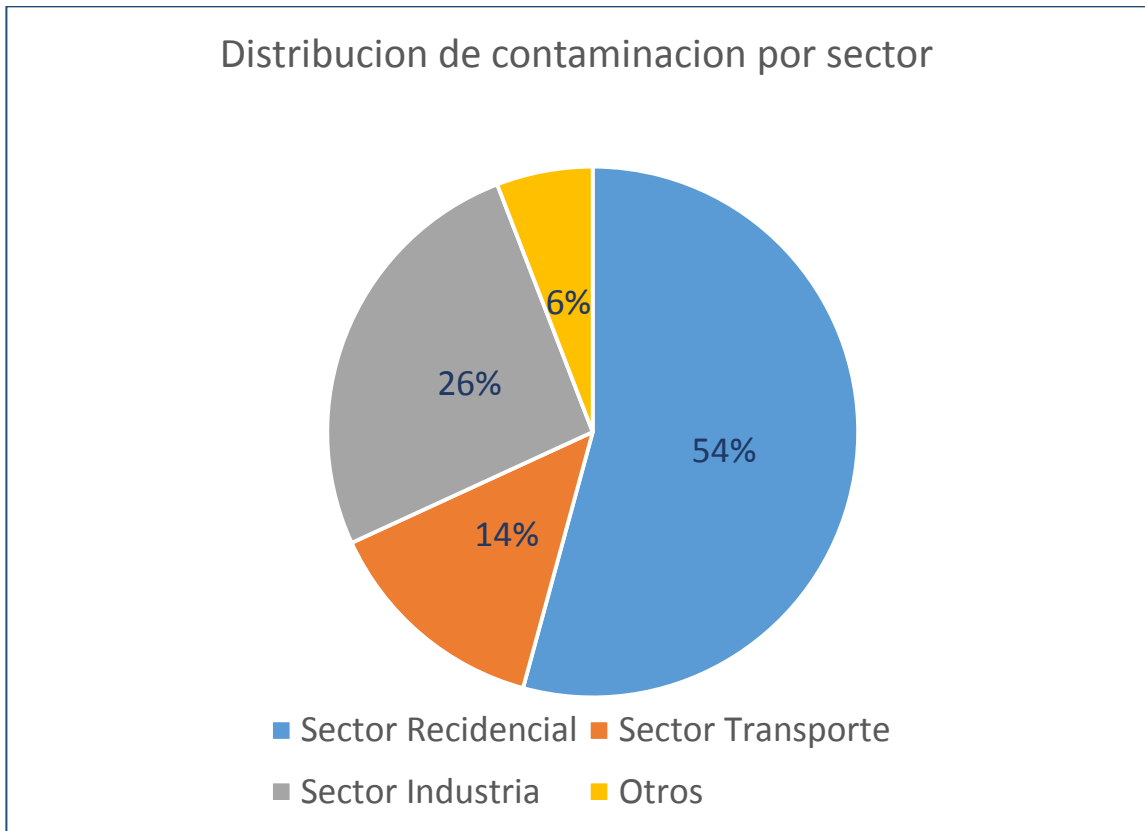
En el contexto de la nueva reformulación del Plan de Prevención y Descontaminación de la Región Metropolitana impulsado por el Ministerio del Medio Ambiente a través del Programa Aire Limpio, enfocado en la prevención de emisiones, principalmente de material particulado respirable PM_{2,5}; Considerando como uno de los principales focos de emanación de este tipo de partículas, las emisiones producidas por las viviendas particulares; se pueden establecer tres sectores como principales responsables de la contaminación como base para el correcto enfoque del análisis de emisiones y elaboración de propuestas para la reducción de los niveles de la contaminación. Debido a que, a pesar de los últimos esfuerzos realizados, aún no se pueden alcanzar los índices requeridos por la normativa vigente para la adecuada calidad del aire. Los sectores definidos son los siguientes:

- Sector Industrial
- Sector Transporte
- Sector Residencial

En base a estudios realizados por la universidad Andrés Bello y el ministerio del medio ambiente podemos determinar la cuantificación de la distribución de la contaminación según estos 3 sectores.¹¹ Como se observa en la figura 2.2.

¹¹Vitrina ambiental, centro de sustentabilidad Universidad Andrés Bello.

Figura 2.2: Distribución de contaminantes por sector.



Fuente 3: Elaboración propia en base a datos vitrina ambiental, UNAB.

En que:

- **Sector Residencial:** 54% de la contaminación es producida por la utilización de combustible para la calefacción, principalmente el uso de leña. Considerando como principal medida la prohibición de este energético.

- **Sector transporte:** el 14% de la contaminación es producida por este sector tomando en cuenta transporte público y privado sin considerar los camiones para la industria donde las medidas consideradas son el aumento de restricción vehicular y la creación de un sello verde para camiones.
- **Sector industrial:** a este sector le corresponde el 26% de la contaminación. Una de las medidas que se propone es disminuir la cantidad permitida de material particulado emitido en un 87%, implementando normativas de mayor exigencia.

Profundizando en el sector residencial para fines de este estudio, debemos enfocarnos en los meses de invierno ya que es cuando se producen las mayores emisiones debido a la aparición o aumento en gran medida de la demanda de calefacción.

Es por aquello que durante estos meses el sector residencial puede llegar a ser el principal responsable de la contaminación en Santiago considerando que puede generar entre un 50% y un 70 % de la de la contaminación total.

Es necesario destacar que este aumento masivo de emisiones es prácticamente generado solo por el uso de la leña para la cocina y calefacción, aun considerando que es el energético menos usado en el gran Santiago para dichos fines abarcando apenas a un 5% de usuarios respecto a otros combustibles.

Con este motivo, una de las principales medidas que se tomara para el control de las emisiones referidas al sector residencial es la de la prohibición del uso de calefactores a leñas en Santiago y gradualmente en el resto de la región apuntando a la erradicación total de la leña.

Para lograr alcanzar el objetivo de terminar con el uso de la leña como combustible para la calefacción residencial, se han impulsado una serie de acciones y propuestas dentro de las cuales se encuentra la implementación de programas de recambio de calefactores por nuevas opciones de mayor eficiencia y menor impacto medio ambiental. Esta situación ha logrado despertar el interés en empresas y organizaciones relacionadas con el rubro de la energía y la calefacción, quienes con la visión de expandir sus mercados proponen nuevos sistemas de calefacción acordes a las exigencias de los consumidores y las nuevas normativas del país.

Capítulo 3 Proyecto de recambio de calefactores

3.1 Descripción general del proyecto

Como se ha mencionado con anterioridad, el Plan de Prevención y Descontaminación para la Región Metropolitana de Santiago en la actualidad se encuentra en proceso de reformulación. Esta vez centrado en el control del material particulado Fino MP 2,5; En relación a este punto, ENEL DISTRIBUCIÓN ha mantenido un trabajo colaborativo con el MMA durante todo el año 2015, para aportar a las medidas regulatorias de alcance ambiental a ser conducidas por éste.

Para lo anterior, ENEL DISTRIBUCIÓN busca posicionar la electricidad como un energético alternativo a la leña utilizada para la calefacción en el sector residencial, frente a esto es necesario poner en valor el beneficio ambiental y de exposición personal del uso de la electricidad en lo que respecta a la calidad del aire exterior e intradomiciliario así como el confort percibido.

En este contexto, ENEL DISTRIBUCIÓN se encuentra llevando a cabo dos proyectos pilotos, donde se han cambiado los sistemas preexistentes de calefacción primordialmente a leña, por sistemas de calefacción eléctricos, y para lo que se requieren realizar análisis tanto cuantitativos como cualitativos de los beneficios y costos.

La ubicación de ambos pilotos seleccionados corresponde a la comuna de Maipú, ubicación elegida debido a los resultados de un estudio anterior realizado por ENEL DISTRIBUCIÓN para sectorizar el uso de leña.

Por otro lado, la CDT ha realizado diversos trabajos que buscan cuantificar los ahorros, y modelar los consumos energéticos en viviendas, y posee el expertis necesario para llevar a cabo estudios enfocados en cuantificar beneficios y costos ante el recambio de equipamientos para distintos usos finales.

El estudio realizado corresponde particularmente al análisis del desempeño de un sistema de calefacción eléctrico en comparación a sistemas de calefacción por combustión de energéticos fósiles o biomasa, centrándose principalmente en su comparación con leña.

El sistema analizado propuesto por ENEL DISTRIBUCIÓN se trata principalmente de la implementación de aires acondicionados del tipo “Split inverter” como calefactores principales instalados en un lugar centralizado de la vivienda, con el complemento de paneles radiantes eléctricos de muro en las habitaciones.

Esta alternativa de calefacción domiciliaria busca ecualizar el costo de la electricidad y el rendimiento de los equipos utilizados; considerando la incorporación de la energía renovable contenida en el aire del ambiente exterior (calor) como fuente primaria de la energía entregada por la tecnología de bomba de calor hacia el interior de una vivienda.

El estudio realizado consta de 4 ejes principales:

- **Consumo energético**
- **Costo económico**
- **Niveles de confort**
- **Material particulado evitado**

En que los principales parámetros a considerar serán las potencias de los equipos, energía bruta consumida, energía útil final entregada, rendimientos, tasa de quemado, horas de uso de los equipos y temperatura, entre otros.

Este proyecto tiene como finalidad analizar el desempeño de los nuevos sistemas en comparación a los anteriormente utilizados. Por lo tanto, como parte de la metodología general se consideraran dos situaciones

- **Inicial:** Situación de la vivienda utilizando calefacción a leña principalmente. En este caso las estimaciones de los conceptos referidos a los 4 ejes principales serán a través de modelos matemáticos en que serán determinados los consumos energéticos mediante el conocimiento de las horas de uso de los equipos, tasas de quemado, poder calorífico y rendimiento.

- **Final:** Situación de la vivienda una vez realizado el recambio de calefactores. En que se determinaran los valores necesarios a través de mediciones realizadas in situ mediante la instalación previa de sensores para cada equipo.

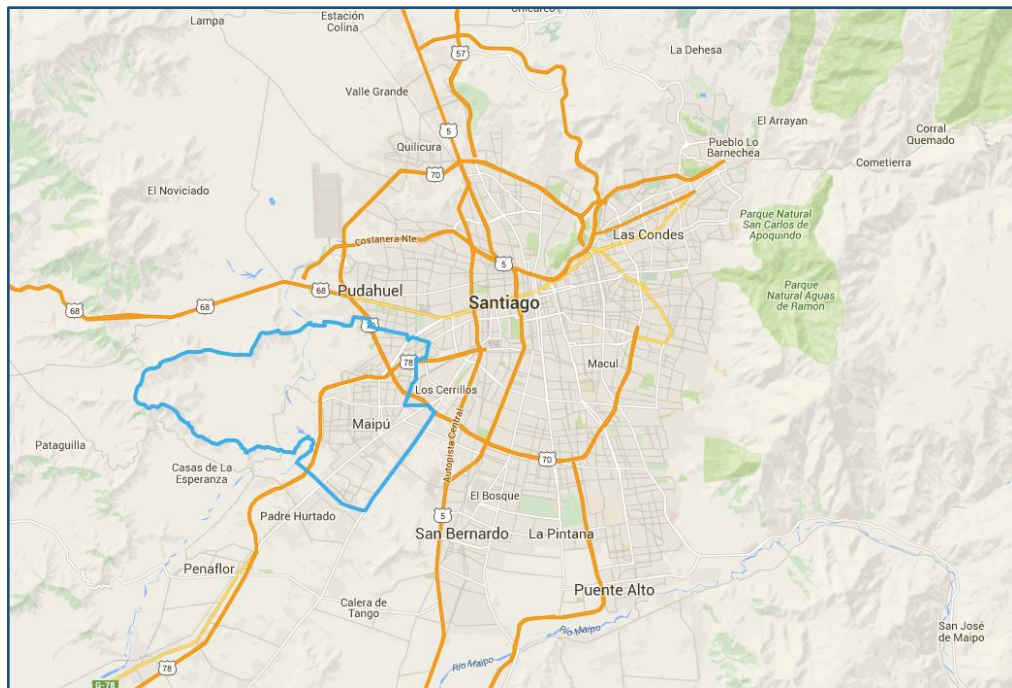
Para la determinación y estimación de los parámetros necesarios se realizó una serie de encuestas y entrevistas a las familias involucradas, las que también tendrán la finalidad de conocer la percepción de estas en términos de confort, comodidad y gastos respecto de los sistemas de calefacción.

Obteniéndose finalmente una comparación tanto cualitativa como cuantitativa de los sistemas en cuanto consumo energético en calefacción para la vivienda, el costo de la energía útil entregada, costos de implementación, percepciones de confort y disminución de emisiones de material fino. Lo anterior siempre enfocado en el marco del aumento de la eficiencia energética e incorporación de energías renovables.

3.2 Ubicación de las viviendas piloto

La comuna de Maipú es una de las áreas de mayor extensión y población de Santiago. Debido a su plan regulador que no permite la construcción de grades edificios departamentos, conllevando esto que exista gran presencia de villas y poblaciones constituidas principalmente por vivienda unifamiliares de uno o dos pisos, esto se traduce en una mayor cantidad de focos particulares de emisiones contaminantes. En la figura siguiente (figura 3.1) se observa la ubicación y extensión de la comuna.

Figura 3.1: Comuna de Maipú en la Ciudad de Santiago.

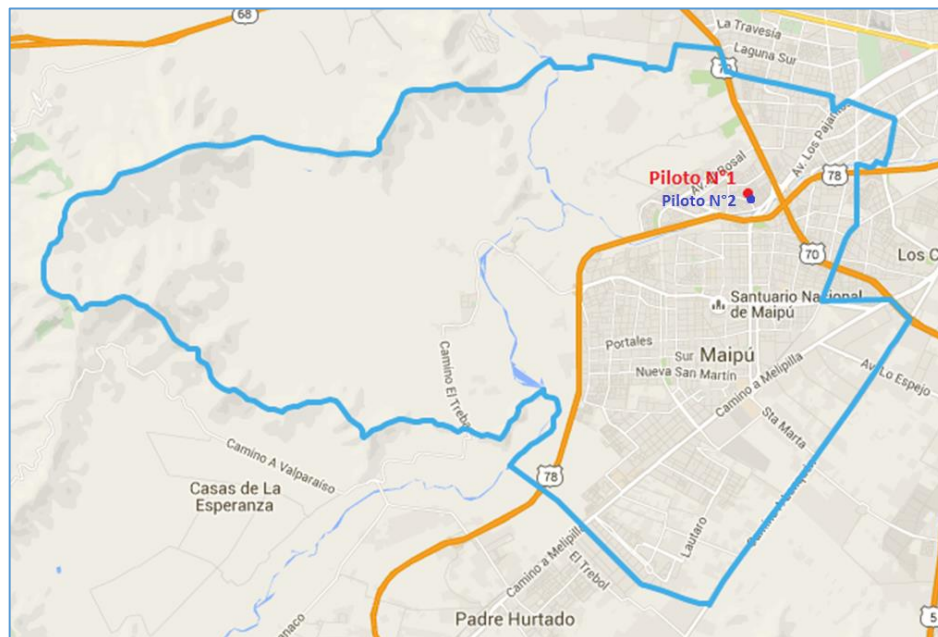


Fuente 4: Google Maps. Julio, 2016

Dada su localización geográfica dentro de la cuenca de Santiago, es propensa a la acumulación de emisiones y material particulado suspendido en el aire debido a la mala ventilación que se

produce en este sector a causa del efecto de inversión térmica que ocurre durante la temporada de invierno. Este fue uno de los motivos es que la comuna de Maipú fue elegida para realizar la implementación de las dos casas piloto en las siguientes ubicaciones dentro de la comuna:

Figura 3.2: Ubicación específica de cada piloto dentro de la comuna.



Fuente 5: Google Maps.

Esta ubicación forma parte de una de las villas con mayor presencia de casas con chimeneas según el estudio previamente realizado por ENEL DISTRIBUCIÓN.

3.3 Descripción del sistema de calefacción para el recambio

El sistema de calefacción eléctrica que propone ENEL DISTRIBUCIÓN se compone de dos tipos de calefactores uno principal centralizado y varios secundarios para complementar en diferentes habitaciones.

3.3.1 Equipo principal

El equipo principal se trata de un aparato de Bomba de calor, también conocido como aire acondicionado Split del tipo Inverter, instalado en una posición centralizada de las viviendas. Su funcionamiento opera en base a un sistema de bomba de calor que extrae aire del exterior calentándolo en un proceso interno y “empujándolo” al interior de la vivienda. Este mecanismo es lo que caracteriza a este tipo de máquinas por tener una sumamente alta eficiencia en cuanto a energía consumida y calor entregado.

Figura 3.3: Equipo principal instalado en vivienda.



Fuente 6: Elaboración propia

El equipo instalado en cada vivienda tiene las siguientes características técnicas:

- Proveedor: ANWO
- Modelo: MEMS18IE
- Capacidad (calor): 18.000 BTU /5,27 kW
- Capacidad (frio): 21.000 BTU /6,15 kW
- Consumo (frio): 1.645 Wh/h
- Consumo (calor): 1.705 Wh/h
- Dimensiones (interior): 710 x 190 x 250 mm
- Dimensiones (exterior): 845 x 320 x 700 mm

Con los valores de la capacidad y el consumo se puede determinar un COP (Coeficiente Of Performance) de 4.2 (420 %). Pero, al ser este valor nominal y que considera el desempeño del sistema en su máxima capacidad, se trabajará con un valor operacional más conocido como SCOP o rendimiento estacional con un valor de un 300 % a juicio del profesor Adelqui Fissore¹² en su calidad de docente y experto en el tema.

¹² Adelqui Fissore , Director de la escuela de Ingeniería Civil Mecánica de la Universidad de Concepción.

3.3.2 Equipo secundario

A modo de complementar la calefacción en las diferentes habitaciones de las viviendas se instalaron paneles radiantes de muro en los dormitorios, estos equipos funcionan en base a un sistema de resistencias eléctrica el cual tempera el ambiente al calentar el aire directamente en contacto con el artefacto.

Figura 3.4: Equipo secundario instalado en vivienda.



Fuente 7.(Elaboración propia)

En particular los equipos instalados cuentan con las siguientes características técnicas:

- Proveedor: PRATIL
- Modelo: GALILEO
- Doble potencia de 1.000 W/1.500 W

El rendimiento de estos equipos es en general casi un 100 % debido a su funcionamiento como resistencia eléctrica por lo que se trabajara con este valor como COP.

3.4 Arquitectura de las viviendas

A continuación se realizará una breve descripción de la estructuración de las viviendas pilotos y su distribución interior, luego es necesario describir las características de la envolvente (todos los elementos constructivos que separan el exterior del interior) de cada vivienda, para posteriormente determinar las condiciones en que se encuentran las viviendas en cuanto a pérdidas o ganancias energéticas, lo que se realizará a través del cálculo de las transmitancias térmicas para cada elemento de la envolvente ya que este parámetro es uno de los principales necesarios para la posterior estimación de la temperatura en las viviendas.

- **Vivienda piloto N°1:**

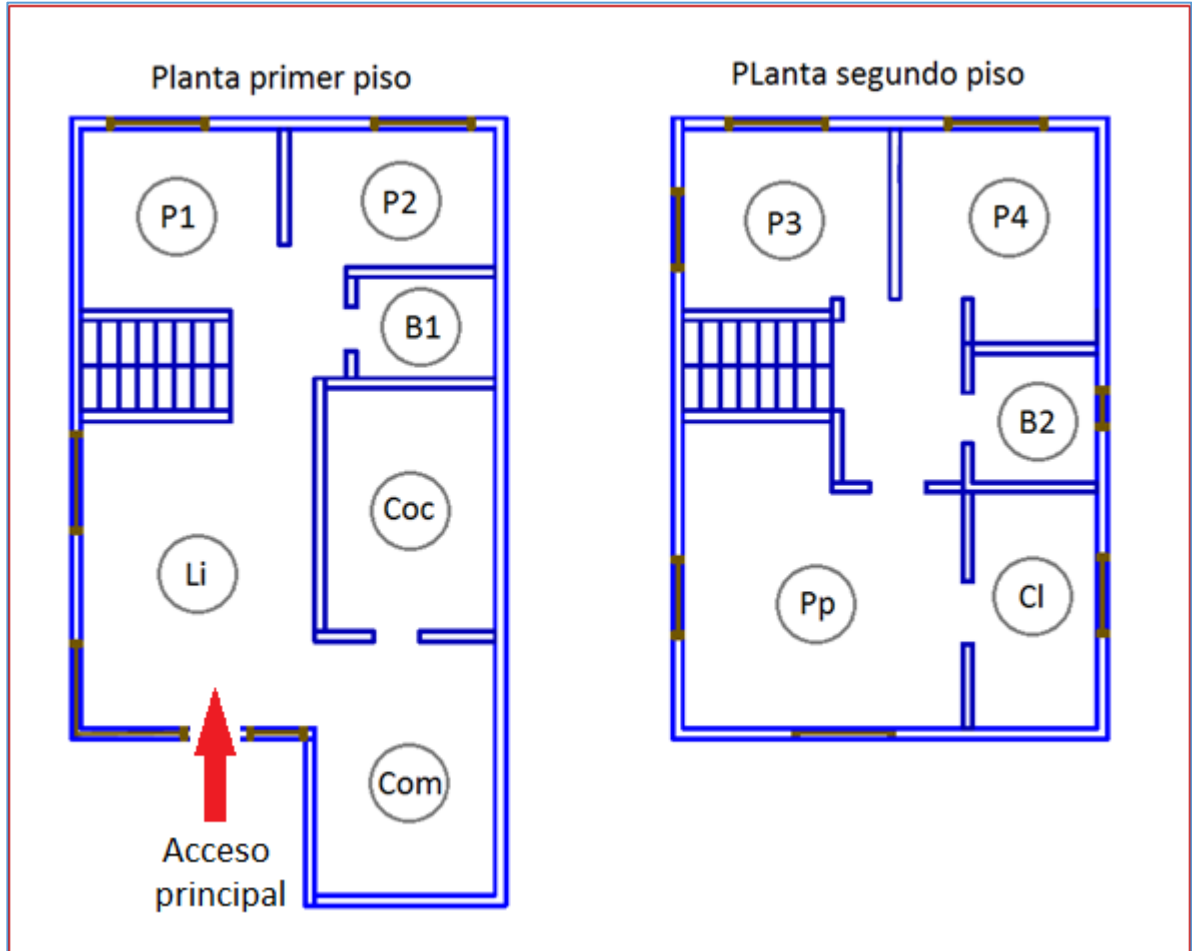
Vivienda aislada; originalmente de una planta con ampliación a un segundo piso. Y patio cubierto.

- Distribución planta primer piso: en este nivel se ubican: living, comedor, cocina, un baño y dos habitaciones.
- Distribución planta segundo piso: en ese nivel se ubica la habitación principal junto a un baño y una cuarta habitación

A continuación se observa una imagen esquemática de la planta para esta vivienda (Figura 3.5), y la ubicación de los equipos de calefacción instalados. Representados con la siguiente nomenclatura:

- Aire acondicionado (BC)
- Radiadores de muro (R)

Figura 3.5: Distribución interior vivienda piloto N°1



Fuente 8: (elaboración propia)

Donde:

- **PP:** Dormitorio principal.(R)
- **P1:** Dormitorio 1 (R)
- **P2:** Dormitorio 2
- **P3:** Dormitorio 3 (R)
- **P4:** Dormitorio 4.
- **B1:** Baño 1.
- **B2:** Baño 2.
- **Li:** Living.(BC)
- **Com:** Comedor.
- **Coc:** Cocina.
- **Cl:** Closet

- **Vivienda piloto N°2**

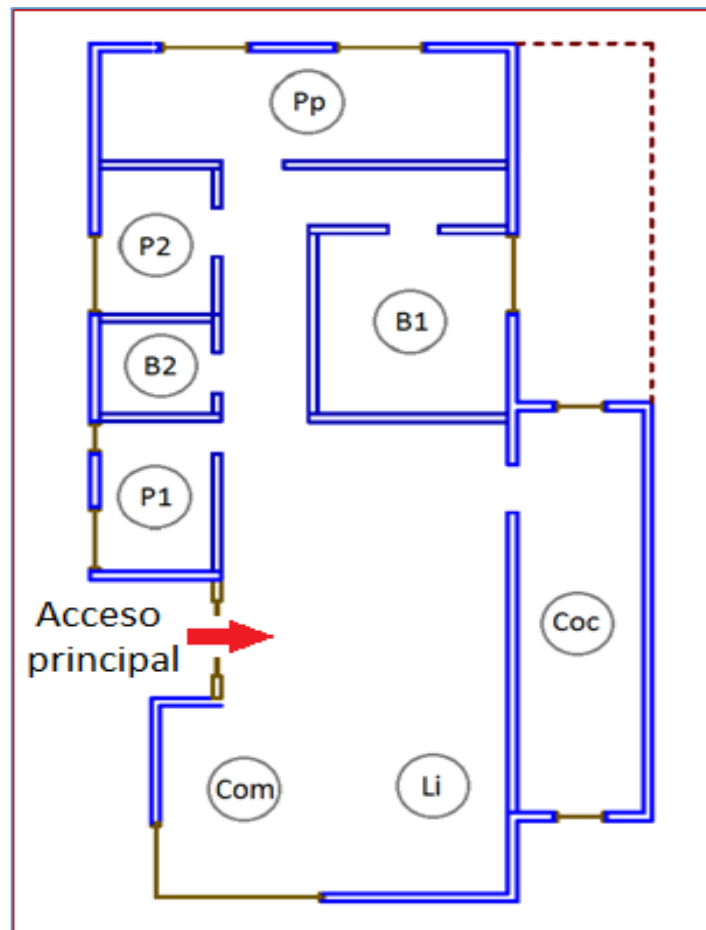
Vivienda aislada de una sola planta Con ampliación de cocina y patio cubierto.

- Distribución planta primer piso: en este nivel se ubican: living, comedor, cocina, dos baños y tres habitaciones.

A continuación se observa una imagen esquemática de la planta para esta vivienda.

(Figura 3.6).

Figura 3.6: Distribución interior vivienda piloto N°2



Fuente 9: Elaboración propia.

Donde:

- **Pp:** Dormitorio principal.(**R**)
- **P1:** Dormitorio 1.(**R**)
- **P2:** Dormitorio 2.(**R**)
- **B1:** Baño 1
- **B2:** Baño 2.
- **Li:** Living.(**BC**)
- **Com:** Comedor
- **Coc:** Cocina

En ambas viviendas el equipo principal para la calefacción (aire acondicionado), fue instalado en un lugar centralizado como (living), puesto que este espacio es el utilizado con mayor frecuencia por la mayoría de las familias y permite una mayor difusión del calor hacia los demás espacios de las casas.

3.5 Hipótesis para el proyecto

El análisis del desempeño para el sistema de calefacción eléctrico en base a aire acondicionado y funcionamiento mediante una bomba de calor propuesto por ENEL DISTRIBUCIÓN, en su comparación con alternativas de calefacción en base a leña y otros combustibles logrará determinar el potencial de dicho sistema para su consideración como opción de recambio en cuanto a consumos, costos y confort.

3.6 objetivos del proyecto

3.6.1 Objetivo general

Desarrollar estudio de plan piloto implementado en dos viviendas de la región metropolitana para comparar la relación costo-beneficio de implementar un sistema de calefacción eléctrico en base a aire acondicionado versus sistemas de calefacción tradicionales por combustión.

3.6.2 Objetivos específicos

- Estudiar de la situación previa al recambio de equipos para definir las características iniciales de las viviendas piloto en cuanto a:
 - Confort (mediante realización de encuestas perceptivas).
 - Consumo energético y su costo asociado.
 - Efectos al medio ambiente (emisiones de material particulado).

- Analizar el desempeño de del sistema propuesto implementado, en relación al confort entregado, consumos energético, costos asociados y efectos medioambientales, a través de mediciones realizadas in situ, estimaciones matemáticas y encuestas perceptivas.

- Contrastar los resultados obtenidos de los escenarios, plantear proposiciones para la implementación del sistema eléctrico y posibles mejoras.

Capítulo 4 Marco teórico

En el presente capítulo serán definidos los conceptos relevantes, y descritas las principales metodologías necesarias para la realización de los cálculos y estimaciones de los parámetros a utilizar en los distintos ámbitos del estudio indicados a continuación.

- Consumo energético y costos asociados.
- Estimación de la temperatura interior.
- Determinación de emisiones de material particulado.

4.1 Aspectos físicos y energéticos

4.1.1 Energía

Se puede definir energía como la capacidad para realizar un trabajo. Es la capacidad que posee la materia para producir calor, trabajo en forma de movimiento, luz o crecimiento biológico. Por materia se entiende cualquier cuerpo sólido líquido o gaseoso existente.

4.1.1.1 Energía térmica

Cuando dos cuerpos a diferentes temperaturas establecen un contacto físico, el de mayor temperatura entrega energía al de menor, el tipo de energía que se le cede a otro como consecuencia de esta diferencia de temperatura es denominado Energía térmica.

4.1.2 Calor

El calor es la energía intercambiada entre un cuerpo y su entorno por el hecho de encontrarse a distinta temperatura. El calor, como el trabajo, es energía en tránsito. Por lo que se puede entender también como un método para transferir energía.

Las partículas de los cuerpos no están en reposo sino que se encuentran en constante agitación. Como consecuencia de esta agitación, los cuerpos poseen una determinada energía térmica. La temperatura es un indicador de la energía térmica que tienen los cuerpos. De modo general podemos decir que a mayor temperatura, mayor energía de este tipo. Los cuerpos y los sistemas pueden intercambiar energía térmica. A esta energía térmica intercambiada se le denomina calor. En ocasiones también se denomina calor al propio proceso de transferencia de energía.¹³

El calor no lo podemos ver, solo podemos percibir sus efectos. No es algo material puesto que si fuese de este modo, un cuerpo al calentarse aumentaría su masa.

4.1.3 Capacidad calorífica, Calor específico e Inercia térmica.

La capacidad calorífica de un cuerpo es la relación que hay entre el calor suministrado al cuerpo y su incremento de temperatura

Puedes entender la capacidad calorífica como la dificultad con que un cuerpo aumenta su temperatura cuando le suministramos una determinada cantidad de calor. Así, a mayor

¹³ Física.laguia200.com, Introducción a la termodinámica. (2013).

capacidad calorífica, menor incremento de temperatura para una determinada cantidad de calor suministrado. Los aislantes térmicos tienen una capacidad calorífica alta.

El calor específico se obtiene a partir de la capacidad calorífica y representa la dificultad con que una sustancia intercambia calor con el entorno. Es una característica de las sustancias que forman los cuerpos y es independiente de la masa. Este puede ser calculado como la capacidad calorífica sobre la masa.

El fenómeno que ocurre cuando a un cuerpo se le aporta calor y este tarda en elevar su temperatura o cuando se le deja de suministrar y tarda en disminuir su temperatura se traduce en una resistencia de la temperatura para reaccionar a algún aporte de calor. A esta resistencia se le denomina Inercia térmica. Un ejemplo sencillo es el caso del planeta tierra, este se encuentra en la misma posición respecto al sol (fuente de calor) tanto al inicio de la primavera como al inicio del otoño, pero al inicio del otro el planeta presenta mayor temperatura ya que absorbió calor durante todo el verano el cual será liberado poco a poco durante el invierno.

4.1.4 Equilibrio térmico

Dos cuerpos en contacto se encuentran en equilibrio térmico cuando no existe un flujo de calor entre uno y otro, además se requiere que las propiedades físicas que dependen de la temperatura como la densidad, volumen y presión no varíen en el tiempo.

Entrando al área de la termodinámica, se dice que dos sistemas están en contacto térmico cuando se encuentran en contacto directo o separados por una superficie diatérmica, es decir, un límite o “pared” entre los sistemas el cual permite que tengan lugar los intercambios de calor.¹⁴

4.1.5 Transferencia de calor

Uno de los temas importantes a tratar es la transferencia de calor tanto para la calefacción o pérdidas energéticas. Es por esto que es necesario aclarar las tres formas básicas de transferencia de calor: Radiación, Conducción y convección.

4.1.5.1 Conducción

Consiste en la transferencia de calor entre dos puntos de un cuerpo que se encuentran a diferente temperatura sin que se produzca transferencia de materia entre ellos.

Por ejemplo al exponer una barra metálica al fuego y sostenerla con la mano esta se calentará en su extremo y transferirá el calor mediante conducción hacia la mano

4.1.5.2 Radiación

Es el calor emitido por un cuerpo debido a su temperatura, en este caso no existe contacto entre los cuerpos, ni fluidos intermedios que transporten el calor. Simplemente por existir un cuerpo A (sólido o líquido) a una temperatura mayor que un cuerpo B existirá una transferencia de calor por radiación de A a B.

¹⁴ Fisicalab.com, (2014). conceptos para la termodinámica.

Por ejemplo al acercar las manos al fuego se puede sentir el calor desprendido sin que exista elemento alguno de contacto.

4.1.5.3 Convección

En este sistema de transferencia de calor interviene un fluido (gas o líquido) en movimiento que transporta la energía térmica entre dos zonas.

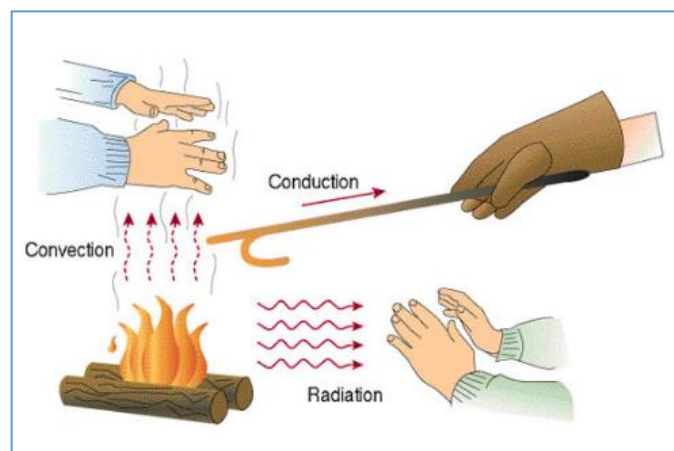
La transmisión de calor por convección puede ser:

- Forzada: a través de un ventilador (aire) o bomba (agua) se mueve el fluido a través de una zona caliente y éste transporta el calor hacia la zona fría.
- Natural: el propio fluido extrae calor de la zona caliente y cambia su densidad haciendo que se desplace hacia la zona más fría donde cede su calor.

Un ejemplo de la convección natural, refiriéndonos a los mismos ejemplos anteriores acercar las manos por sobre un fuego a una relativa distancia se pueden sentir las corrientes de aire caliente.

A continuación se presenta una imagen representativa de los tres tipos de transferencia de calor

Ilustración 1: Ejemplo de tipos de transferencia de calor.



Fuente 10: Nergiza.com, (2013).

4.2 Aspectos de eficiencia energética

4.2.1 Eficiencia energética

La eficiencia energética se puede definir como el correcto uso de la energía intentando reducir la cantidad que se utiliza pero conservando la calidad de vida, manteniendo el mismo acceso a los bienes y servicios utilizados, en general para lograr este objetivo es necesaria la participación de nuevas tecnologías.

Se debe diferenciar este concepto del de ahorrar energía ya que este último significa solo la disminución de la utilización de energía. El ejemplo más simple es la utilización de las ampolletas incandescentes en comparación a las eficientes. Con la utilización de las primeras el solo hecho de mantener apagada la luz es traducido en ahorro energético, pero a través de la utilización de una ampolleta eficiente se logra ahorrar y al mismo tiempo mantener es desarrollo normal de las actividades.¹⁵

4.2.2 Energías renovables

No se debe confundir la Eficiencia energética con la energía renovable, esta última corresponde a la que se obtiene de fuentes de energía virtualmente inagotables las cuales se pueden encontrar en la naturaleza en una cantidad ilimitada , y una vez consumidas se pueden regenerar de una marea artificial o natural tales como la energía hidráulica, eólica o solar, entre otras.

¹⁵ Agencia Chilena de Eficiencia Energética (ACEE), (2015). Véase “Qué es eficiencia energética” En <http://www.acee.cl/eficiencia-energetica/que-es-ee/> .

Siendo estas las alternativas más limpias para el medio ambiente, cuyo impacto es en teoría prácticamente nula y siempre reversible.

4.2.3 Eficiencia de equipos de aire acondicionado o bombas de calor

En simples términos, la eficiencia de un equipo de aire acondicionado o del tipo aire acondicionado inverter está dado por la capacidad que tienen éstos de entregar o extraer del ambiente a acondicionar una mayor cantidad de energía en forma de calor respecto de la energía eléctrica consumida por ellos para su funcionamiento.

Cuando se observan las características de un equipo de aire acondicionado o bomba de calor generalmente aparecen las siguientes siglas EER, COP, SEER Y SCOP. Estas siglas corresponden a indicadores que pueden ayudar a reconocer cuan eficiente es el equipo.

4.2.3.1 EER Y COP

Estos parámetros corresponden a cuantos KW térmicos (calor o frío) entregara el equipo por cada KW eléctrico que este consuma, es decir:

- EER (Factor de eficiencia): $\text{Potencia frigorífica} / \text{Potencia eléctrica consumida}$
- COP (Coeficiente de desempeño): $\text{Potencia calorífica} / \text{Potencia eléctrica consumida}$

En estos casos las condiciones oficiales en las que los fabricantes certifican estos valores para sus productos, se estipulan considerando que los equipos sean utilizados a plena carga. Es decir, que la maquina estará entregando el 100% de la potencia que es capaz de proporcionar. Lo que no

es realmente cierto en la vida cotidiana, por lo que se han implementado nuevos indicadores más representativos de la realidad.

4.2.3.2 SEER y SCOP

Estas siglas en español significan Factor de Eficiencia Energética Estacional (SEER) y Coeficiente de Desempeño Estacional (SCOP). Estos nuevos indicadores pretenden ser más realistas y adecuados al uso general de equipos de aire acondicionado y bombas de calor, los cuales consideran parámetros de importancia que no se tenían en cuenta para el EER y COP, tales como:

- Consumo de los equipos al estar apagados (termostato en espera).
- Funcionamiento de los equipos con cargas parciales (20%, 45%, 75%, 100%).

Resultando, por ende, estos parámetros ser más fiables que sus predecesores a la hora de evaluar la eficiencia térmica de este tipo de equipos.

4.3 Aspectos de confort

4.3.1 Confort ambiental

Puede definirse como el rango de las condiciones ambientales consideradas aceptables dentro de un espacio habitable en el que el ser humano desarrolla sus actividades habituales.

La ausencia de confort implica una sensación de incomodidad o molestia ya sea por frío, calor, deslumbramiento, exceso de ruidos, malos olores, falta de iluminación, etc.

El confort ambiental es un concepto complejo ya que depende de la combinación de distintos parámetros para establecer si se logra alcanzar o no. En este estudio se enfocará solo en el confort térmico ya que es aquel en el que se incide.

4.3.2 Confort térmico

Se puede definir el confort térmico como el estado que expresa el bienestar físico de una persona cuando las condiciones de temperatura son favorables a la actividad que se desarrolla.

El equilibrio térmico del cuerpo humano corresponde a un balance dinámico entre el calor producido por el cuerpo y las cargas térmicas producidas por conducción, radiación, o convección hacia o desde el ambiente.

4.4 Metodologías para el desarrollo del análisis

4.4.1 Metodología para la determinación del consumo energético

El consumo de energía de las viviendas fue determinado a partir de las cantidades de energéticos requeridos por ellas y la capacidad de estos de transformar la energía presente en ellos en calor.

Se debe diferenciar entre los energéticos combustibles y la electricidad. En los combustibles, la energía calórica que entrega se obtiene a través del proceso de combustión y se denomina Poder Calorífico la cantidad de energía que se libera en forma de calor por unidad de medida.

En el caso de la electricidad, el proceso de transformación es diferente. En materia de calefactores (radiadores eléctricos, ventiladores, estufas eléctricas, etc.), la generación de calor

se produce por el denominado “efecto Joule”, donde la electricidad genera calor al pasar a través de un medio resistivo (resistencia). En estos casos, la eficiencia es cercana al 100%.

Distinto es el principio de funcionamiento de las bombas de calor, reflejado en los equipos de aire acondicionado del tipo Split, donde la generación de calor se produce como resultado de la circulación de un refrigerante en un ciclo termodinámico (expansión – evaporización – compresión - condensación), transportando calor de una fuente (en este caso el exterior de una vivienda) hacia el recinto que se desea calefaccionar (interior de la vivienda). En este caso, la energía eléctrica requerida es sólo para la compresión del refrigerante en estado gaseoso, finalmente generando eficiencias o COP de entre un 200% - 400%.

Los equipos calefactores tienen como objetivo transformar la energía consumida para calentar un recinto. Se debe diferenciar entre la energía bruta, que es la que consumen los equipos y la energía útil o final que es la que finalmente éstos entregan en forma de calor a los recintos.

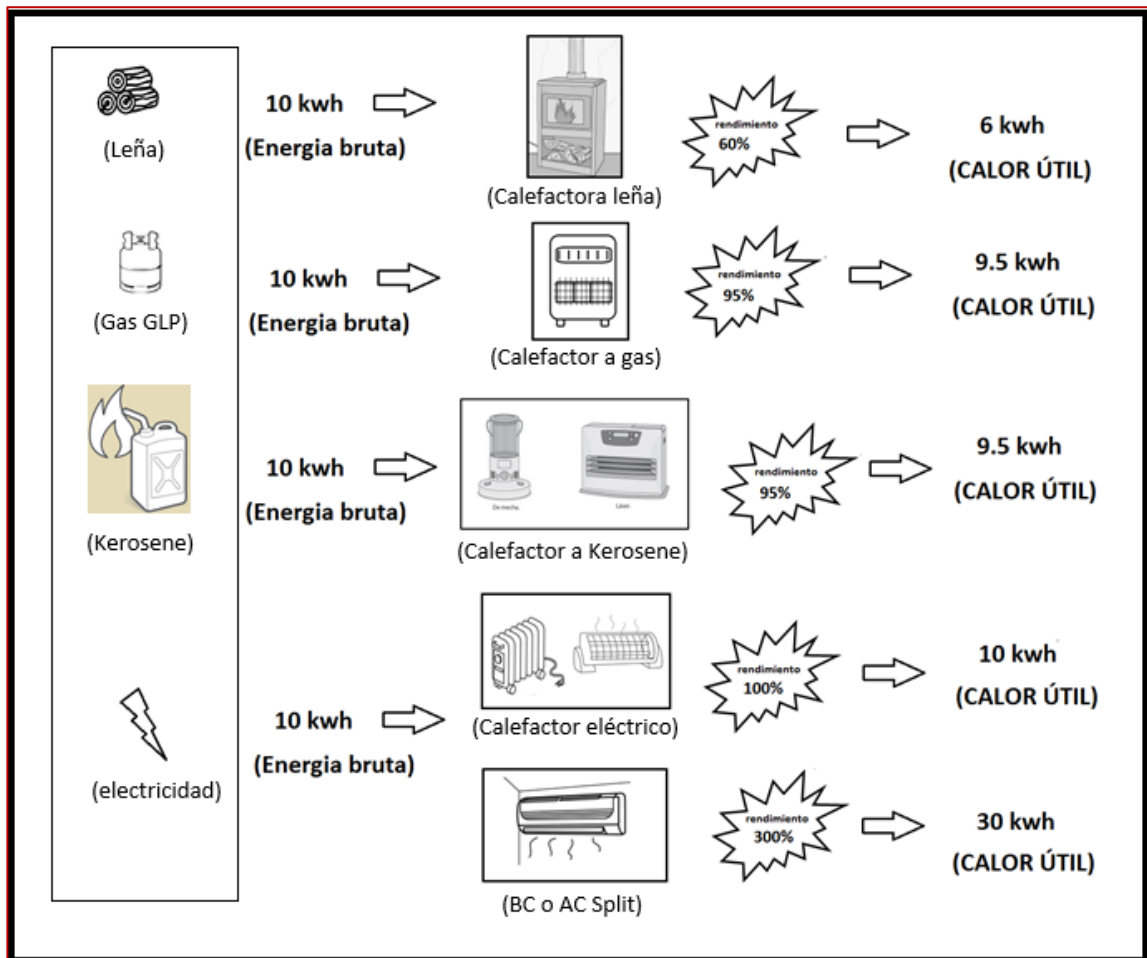
Los energéticos nunca entregan al recinto a calefaccionar la totalidad de la energía calórica que son capaces de producir. Esto se debe a que se producen pérdidas durante el proceso de transformación. Lo mismo respecto de la electricidad. En este caso, profundizaremos en dos tipos de tecnologías de acuerdo a lo descrito anteriormente:

- Paneles radiantes: son los equipos más comunes. Su funcionamiento consiste en hacer fluir la corriente eléctrica directamente por una resistencia (efecto Joule), lo que provoca que esta se caliente y transmita el calor generado directamente al ambiente por medio de radiación. Este sistema alcanza un rendimiento de prácticamente el 100 %.

- Bomba de calor aire - aire: De acuerdo a lo descrito anteriormente, este sistema extrae el calor del ambiente exterior (aire) y, a través de un fluido refrigerante lo inserta en el interior (también a través del aire). En este caso, alcanza eficiencias de un 200% a un 400%.

A continuación se presenta un diagrama explicativo para los equipos y energéticos comunes

Figura 4.1: Diagrama explicativo, comparativo de rendimiento para equipos comunes.



Fuente 11: Elaboración propia.

Para el estudio se define el concepto de energía útil final como la energía final entregada por el sistema calefactor al ambiente interior a acondicionar en cada vivienda, mediante la combustión de la leña o el consumo de energía eléctrica.

La determinación del consumo energético final de las viviendas debido a la utilización de calefacción a leña, fue calculada en base a la información previamente aportada por los jefes de hogar respectivos al momento de realizarse una primera encuesta en cuanto a:

- Cantidad de leña adquirida.
- Horas de uso del calefactor.
- Nivel de humedad de la leña.
- Almacenamiento de la leña.
- Modo de uso del calefactor.

Con las respuestas obtenidas junto a información aportada por las fichas técnicas elaboradas por los fabricantes de los calefactores en cuanto a:

- Potencia nominal del calefactor.
- Tasa de quemado del calefactor.

Se estimará el consumo energético final mediante las siguientes formulas:

$$E_f = m_c * PC_i * \eta \quad (Ec. 4.1)$$

Donde:

E_f : energía final útil entregada al interior del hogar en $[kWh/dia]$.

m_c : masa de combustible en este caso cantidad de leña utilizada en un día en $[kg/dia]$.¹⁶

PC_i : poder calorífico inferior de la leña o derivados utilizada en $[kWh/kg]$.

η : eficiencia térmica del equipo en %.

En el caso de los equipos eléctricos la determinación del consumo energético fue realizada en base a mediciones efectuadas en el lugar de instalación de los equipos y a su rendimiento.

4.4.1.1 Propiedades de los energéticos combustibles

Las propiedades más importantes de los combustibles en referencia a la determinación de consumos energéticos es el poder calorífico. Este se define como la cantidad de energía desprendida en la reacción de combustión por la unidad de masa de combustible.

La magnitud del poder calorífico puede variar según como se mida. Según la forma de medir se utiliza la expresión poder calorífico superior (PCS) y poder calorífico inferior (PCI).

- **Poder calorífico superior (PCS):** Es la cantidad total de calor desprendido en la combustión completa de 1 Kg de combustible cuando el vapor de agua originado en la

¹⁶ Puede existir el caso en que por inconsistencia en los datos declarados de la masa de combustible adquirido, esta sea calculada de acuerdo al régimen de uso de los calefactores y las tasas de quemado.

combustión está condensado y se contabiliza, por consiguiente, el calor desprendido en este cambio de fase

- **Poder calorífico inferior (PCI):** Es la cantidad total de calor desprendido en la combustión completa de 1 kg de combustible sin contar la parte correspondiente al calor latente del vapor de agua de la combustión, ya que no se produce cambio de fase, y se expulsa como vapor

Para efectos del análisis, se asumirá el poder calorífico inferior para determinar la energía útil final entregada al interior de los hogares, esto ya que normalmente los equipos conversores de energía expulsan el agua como vapor, sin usar su calor latente.

En el caso de la leña de acuerdo a lo anterior, se usará la siguiente ecuación¹⁷:

$$PCI_{madera_{húmeda}} = PCI_{madera_{seca}} \times \frac{(100 - 0,127 \times h)}{(100 + h)} \quad (Ec. 4.2)$$

Donde:

$PCI_{madera_{húmeda}}$: Poder calorífico inferior leña seca en $\left[\frac{\text{kcal}}{\text{kg}}\right]$

$PCI_{madera_{seca}}$: Poder calorífico inferior leña seca (0% humedad), en $\left[\frac{\text{kcal}}{\text{kg}}\right]$

¹⁷ Fuente, Covacevic (1979)

h: Humedad de la leña, calculada en base seca (en %)

Para diferentes tipos de leña, el poder calorífico es diferente. Para tomar esto en consideración se utilizó la siguiente tabla:

Tabla 4.1: Poder calorífico inferior según especie de madera.

| Tipo de leña | | |
|---------------------|----------------------------------|---------------|
| Tipo de leña | P.C.I madera seca kcal/kg | Fuente |
| Eucaliptus | 4.324 | Covacevic |
| Pino | 4.794 | Covacevic |
| Espino | 4.324 | Covacevic |
| Otros | 4.324 | Covacevic |

Fuente 12: CDT, informe final (2012), "Propuesta de medidas para el uso eficiente de la leña en la Región Metropolitana de Santiago".

La leña que comúnmente se vende en la región metropolitana para la calefacción está compuesta principalmente por eucaliptus con un poder calorífico de 4,07 kWh/kg en estado seco.

En el caso de la leña el poder calorífico está directamente relacionada con la humedad, a mayor humedad menor es la energía desprendida ya que se consume una porción de esta en evaporar el contenido de agua dentro de la leña. De aquí que es de gran importancia el uso de leña seca para aumentar la eficiencia del equipo de calefacción además de evitar en su mayor cantidad los efectos nocivos para la salud.

4.4.1.2 Rendimiento o eficiencia térmica de un equipo calefactor a leña

El rendimiento térmico de un equipo es básicamente la relación entre la energía en forma de calor que es capaz de producir determinado combustible debido a su combustión y la energía que realmente es entregada por el equipo calefactor al ambiente después del proceso de combustión.

Para la combustión de leña en un calefactor común de doble cámara se puede observar pérdidas en distintas etapas del proceso de quemado como se ilustra en el ejemplo a continuación:

En el siguiente ejemplo se analiza paso a paso la transformación que sufre 1 kg de leña, con 20% de humedad (800 g de masa seca) a 10°C de temperatura, que se agrega a una estufa encendida de doble combustión (dos etapas de entrada de aire):

Tabla 4.2: Ejemplo de pérdidas en el proceso de combustión de un calefactor a leña.

| TEMPERATURA INICIAL-FINAL | ENERGÍA | PROCESO | MASA SÓLIDA FINAL PROCESO |
|---|---|--|---------------------------|
| 10 a 100°C | Absorbe 0,2 MJ | Calentar la leña húmeda hasta 100 °C | 1000 g |
| 100 °C | Absorbe 0,5 MJ | Vaporizar 200 g de agua | 800 g |
| 100 a 250 °C | Absorbe 0,2 MJ | Calentamiento de la leña | 800 g |
| 250 a 350 °C | Absorbe 1,7 MJ (depende de rapidez de quemado) | Despolimerización de la celulosa, gasificación sin llama | 700 g aprox. |
| 350 °C | | Ignición de gases | |
| 350 a 850 °C (depende de la rapidez de quemado) | Genera aprox. 10 MJ (parte se absorbe en la gasificación) | Gasificación de volátiles y separación de sólidos (carbonización) Combustión parcial de volátiles | 300 g aprox. |
| 500 a 600 °C (depende de la rapidez de quemado) | Genera aprox. 6 MJ | Combustión de sólidos (carbón) | 30 g aprox. |
| 650 a 700 °C | Genera aprox. 0,3 MJ | Combustión secundaria (reduce las emisiones) | 10 g aprox. |
| | | Emisión de MP y cenizas | 5 g |
| 600 a 200 °C | Disipa aprox. 8,4 MJ al entorno (energía útil) | Enfriamiento de gases por convección y radiación | |
| 200 a 10 °C | Disipa aprox. 5,3 MJ a la atmósfera (pérdida) | Descarga de gases a la atmósfera, condensación de vapor de agua y residuos volátiles condensables | |

Fuente 13 : SINIA, Análisis técnico-económico de la aplicación de una norma de emisión para artefactos de uso residencial que combustiónan con leña y otros combustibles de biomasa. Estudio desarrollado por Ambiente Consultores para CONAMA. Versión corregida mayo, 2007

En el ejemplo anterior se observa que se generan 16,3 MJ de energía, de los cuales se absorben 1,9 MJ en el proceso de gasificación de la leña, quedando 14,4 MJ de energía neta disponibles. De esta cantidad, 0,7 se pierden en el secado de la leña húmeda, 8,4 MJ se aprovechan al ser disipados al ambiente exterior y 5,3 se descargan a la atmósfera a través de los gases de combustión y aire en exceso. Por lo tanto, la eficiencia energética de este ejemplo es 58%.^{18 19}

¹⁸ Estudio realizado por: SINIA, Análisis técnico-económico de la aplicación de una norma de emisión para artefactos de uso residencial que combustionan con leña y otros combustibles de biomasa. Estudio desarrollado por Ambiente Consultores para CONAMA. Versión corregida mayo, 2007)

¹⁹ Las características del calefactor descrito en el ejemplo corresponden con los que se utilizan en las viviendas de estudio.

4.4.2 Metodología para las estimaciones la temperatura en las viviendas

La estimación de la temperatura interior de las viviendas se realizará en base a la utilización de fórmulas matemáticas conocidas, utilizadas para la determinación de la demanda energética de una vivienda, para esto es necesario definir algunos conceptos (definiciones entregadas por la NCh 853 of 2007):

- **Envoltente:** se define como todos los elementos constructivos que separan a un recinto cerrado de la intemperie como muros perimetrales, piso, techo, puertas y ventanas.
- **Conductividad térmica, λ :** Cantidad de calor que, en condiciones estacionarias, pasa en la unidad de tiempo a través de la unidad de área de 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 $[W/(m * K)]$
- **Coefficiente 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 este y la superficie existe una diferencia unitaria de temperatura. Se expresa en $[W/(m^2K)]$

- **Resistencia térmica, R** : Oposición al paso de calor que presentan los elementos de construcción en condiciones unitarias. Se expresa en $[m^2K/W]$

Para una capa de caras planas y paralelas, de espesor e , conformadas por un material homogéneo de conductividad térmica λ , la resistencia térmica, R , queda dada por:

$$R = \frac{e}{\lambda} \left[\frac{m^2K}{W} \right] \quad (Ec. 4.3)$$

Para un elemento compuesto por varias capas de diferentes materiales o espacios de aire, la **resistencia total (R_t)** es la suma de las resistencias de las Capas que conforman el elemento más las capas de aire. Corresponde al inverso de la transmitancia térmica del elemento (U).

$$R_t = \sum R_i = \frac{1}{U} \quad (Ec. 4.4)$$

- **Resistencia térmica superficial (R_s)**: Inverso del coeficiente superficial de transferencia térmica (h)

$$R_s = \frac{1}{h} \quad (Ec. 4.5)$$

- **Transmitancia térmica**: Flujo de calor que pasa por unidad de superficie del elemento y por grado de diferencia de temperaturas entre los ambientes separados por dicho elemento. Se expresa en $[m^2K/W]$

- **Transmitancia térmica lineal K_L :** Flujo de calor que atraviesa un elemento por unidad de longitud y por grado de diferencia de temperatura. Se expresa en $[W/(mK)]$

A continuación se presentan conceptos relacionados con las cargas térmicas de las viviendas las cuales pueden diferenciarse en ganancias (GT) y pérdidas (GV).

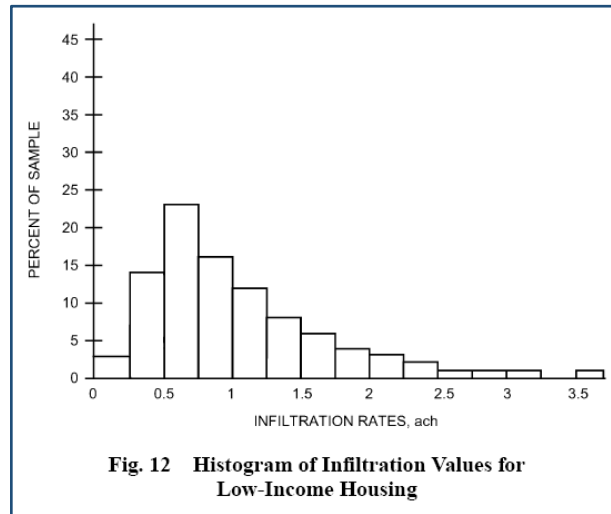
- **Renovaciones de aire por hora:** Corresponde al recambio de la masa de aire dentro de un recinto cerrado en el lapso de una hora, depende de cuan hermético es el recinto. Este parámetro está relacionado con la pérdida de energía en una vivienda debido a la infiltración. Para el presente estudio debido a la complejidad de su cálculo y la necesidad de realización de ensayos para determinarlo, se consideraran valores entregados por la ASHRAE para viviendas de condiciones similares de acuerdo a un estudio previo.²⁰

Dicho estudio fue realizado en la zona norte de la costa del pacifico en los Estados Unidos, considerando para el estudio casas nuevas en ese entonces, de alta categoría en cuanto a su construcción, mayor aislación y por ende hermeticidad, junto con viviendas más bien sociales con menor aislación y menor categoría de la construcción. En este caso debido al tipo de construcción de las viviendas para el presente estudio se considerará los valores re renovaciones de aire por hora obtenidos para las casas de menores ingresos debido a su similitud en materialidades a las viviendas pilotos de este estudio y

²⁰ Fuente: ASHRAE handbook Fundamentals, 2009 sección 16.18

ya que en Chile la construcción es menos hermética y con menores niveles de aislación más aun habiendo sido construidas antes de la reglamentación térmica, como es el caso de las viviendas evaluada en este estudio.

Figura 4.2: Histograma de renovaciones de aire por hora viviendas de bajos ingresos.



Fuente 14: ASHRAE, Handbook of air conditioning design, Fundamentals 2009.

Con esta información se obtuvo un promedio de 0.98 renovaciones de aire por hora.

Este parámetro también puede depender del clima del lugar donde se sitúa la vivienda o recinto evaluado. Para este caso se puede reparar en la similitud en los climas del pacifico norte de Estados Unidos y La zona central de Chile correspondiente a un clima templado con veranos secos, validando el dato obtenido en el estudio mencionado.²¹

²¹ Para mayor información véase mapa climático de américa, Anexo A.

- **Ganancias térmicas GT:** Calor aportado a un recinto de manera involuntaria como la exposición a la radiación solar, aportes generados por aparatos eléctricos y aportes por parte del calor corporal de los habitantes del lugar.

- Ganancias térmicas por exposición a la radiación solar: este tipo de aporte ocurre gracias a que las ventanas permiten la entrada de este tipo de radiación calentando el interior de un recinto durante el día.

La radiación solar que se aproxima a la tierra incide en las ventanas de una vivienda con un ángulo de inclinación el cual varía según la época del año y la inclinación misma de la ventana respecto a la horizontal, además es necesario considerar la orientación de las ventas de la vivienda ya que debido al movimiento del sol sobre la tierra la radiación mantiene diferentes proporciones de acuerdo cada una en particular.

Junto a lo anterior es necesario tomar en cuenta la nubosidad presente durante los días de análisis ya que esta disminuye la radiación incidente en la tierra.²²

²² Metodología de cálculo según "Handbook of air conditioning system design", de Carrier air conditioning Company.

Dicho parámetro es calculado como se indica a continuación:

$$GT_{orientacion} = \frac{(R_{90} * \alpha) * 12h * N * \beta * \sum(S * FS)}{10^3} \quad (Ec. 4.6)$$

Donde:

$GT_{orientacion}$ [KWh/mes]: Ganancias térmicas mensuales para una orientación (N, S, E u O).

R_{90} [KWh/mes]: radiación promedio que ingresa por ventanas durante las 12 horas de sol para cierto mes en un plano inclinado en 90° respecto de la horizontal y en la orientación especificada.

α : Factor de corrección para la nubosidad.

$$\alpha = (1 - \eta) * h \quad (Ec. 4.7)$$

Donde:

η : Porcentaje de nubosidad mensual

h : Correccion por altura. Se utilizara como $h = 1$ debido a que los valores obtenidos para la radiación son directamente del lugar en estudio.

N : Número de días del mes.

β : Corrección para ventanas con marco metálico. Usar $\beta = \frac{1}{0.85}$.

$S [m^2]$: Superficie de ventana en dicha orientación.

FS : Factor solar del vidrio. Depende del tipo de vidrio, y si este es doble o simple. En este caso se utilizó 0,9 y 1,0 respectivamente.²³

Finalmente las ganancias térmicas mensuales para cada vivienda son obtenidas según la siguiente expresión.

$$GT_{RAdiacion} = \sum GT_{Orientacion} \quad (Ec. 4.8)$$

Donde:

$GT_{RAdiacion} [\frac{KWh}{mes}]$: Ganancias térmicas totales incidentes en ventanas de cada orientación de una de las viviendas.

²³ Valores utilizados en base a la metodología utilizada por el Sistema de calificación energética, MINVU.

- Ganancias térmicas por aparatos eléctricos: Todos los equipos eléctricos debido a su funcionamiento transforman la energía eléctrica en la forma de energía necesaria para su propósito como puede ser energía mecánica lumínica o directamente calor, pero debido a la condición conservativa de la energía esta finalmente se transformara en calor por lo que el consumo total de energía eléctrica será considerado como ganancia térmica.²⁴

$$GT_{electricidad} = CE_{mes} \quad (Ec. 4.9)$$

Donde:

$GT_{Electricidad}[KWh/mes]$: Ganancias térmicas aportadas por los equipos eléctricos

$CE_{mensual}[KWh/mes]$: Consumo energético mensual de electricidad

- Ganancias térmicas por calor liberado por personas: Corresponde al calor corporal liberado por las personas por la realización de alguna actividad física. En este caso se considera que las personas al estar dentro de una vivienda se encuentran más bien en reposo.

²⁴ Para este tipo de ganancia se excluyen los equipos de bomba de calor y paneles radiantes ya que estos son considerados en los aportes térmicos por calefacción.

La ASHRAE establece valores de las potencias apropiadas para establecer las ganancias térmicas según la actividad realizada como se observa en la siguiente tabla.^{25 26}

Tabla 4.3 : Tabla de la ASHRAE para ganancias térmicas según actividad física.

| Degree of Activity | | Total Heat, W | | Sensible Heat, W | Latent Heat, W | % Sensible Heat that is Radiant ^b | |
|--------------------------------------|--------------------------------|---------------|----------------------------|------------------|----------------|--|--------|
| | | Adult Male | Adjusted, M/F ^a | | | Low V | High V |
| Seated at theater | Theater, matinee | 115 | 95 | 65 | 30 | | |
| Seated at theater, night | Theater, night | 115 | 105 | 70 | 35 | 60 | 27 |
| Seated, very light work | Offices, hotels, apartments | 130 | 115 | 70 | 45 | | |
| Moderately active office work | Offices, hotels, apartments | 140 | 130 | 75 | 55 | | |
| Standing, light work; walking | Department store; retail store | 160 | 130 | 75 | 55 | 58 | 38 |
| Walking, standing | Drug store, bank | 160 | 145 | 75 | 70 | | |
| Sedentary work | Restaurant ^c | 145 | 160 | 80 | 80 | | |
| Light bench work | Factory | 235 | 220 | 80 | 140 | | |
| Moderate dancing | Dance hall | 265 | 250 | 90 | 160 | 49 | 35 |
| Walking 4.8 km/h; light machine work | Factory | 295 | 295 | 110 | 185 | | |
| Bowling ^d | Bowling alley | 440 | 425 | 170 | 255 | | |
| Heavy work | Factory | 440 | 425 | 170 | 255 | 54 | 19 |
| Heavy machine work; lifting | Factory | 470 | 470 | 185 | 285 | | |
| Athletics | Gymnasium | 585 | 525 | 210 | 315 | | |

Fuente 15: ASHRAE handbook fundamentals 2009.

De las actividades presentadas en la tabla anterior la más apropiada a considerar es “trabajo moderado”, correspondiente a locales como oficinas, hoteles o apartamentos. Con una potencia de 75 (W).^{27 28}

Finalmente las ganancias térmicas debido al metabolismo de los habitantes de las viviendas se calcularan como se indica a continuación,

²⁵ ASHRAE handbook Fundamentals, Sección 18.4.

²⁶ El valor a considerar debe ser el calor sensible. (Sensible heat).

²⁷ “Offices, Hotels, Apartments” en la tabla de la ASHRAE, (tabla 4.3).

²⁸ “Moderately active, office work” en la tabla de la ASHRAE, (tabla 4.3).

$$GT_{personas} = N * \sum(P * 24 * f_o) \left[\frac{kwh}{mes} \right] \quad (Ec. 4.9)$$

Donde:

$GT_{personas}$: Ganancias térmicas debido al metabolismo. [KWh/mes]:

P : Potencia generada por las personas (W).

f_o : Factor de ocupación de la vivienda (horas).

N : Numero de días del mes.

Las ganancias térmicas totales (GT) están dadas por la suma de los tres tipos de ganancia ajustadas por un factor de reducción debido a la capacidad de almacenar calor de la vivienda.

$$GT = (GT_{solar} + GT_{electricidad} + GT_{personas}) \quad (Ec. 4.10)$$

- **Grados día, GD:** corresponden a la diferencia aritmética entre una temperatura base que se desea alcanzar al interior de la vivienda y la temperatura del ambiente exterior. se calculara como se indica a continuación:

$$GD_{mes} = (T_{base} - T_{exterior}) * N \quad (Ec. 4.11)$$

Donde:

T_{base} : Temperatura de confort que se desea alcanzar. [°C]

$T_{exterior}$: Temperatura media mensual del ambiente exterior. [°C]

N : Numero de días del mes.

- **Demanda energética:** La demanda energética se puede definir como la cantidad de energía necesaria que debe entregársele a un determinado recinto para alcanzar una temperatura deseada (temperatura de confort). Para su cuantificación teórica, en función de los parámetros anteriormente definidos se utilizará la siguiente fórmula matemática:

$$Dda_{mes} = \frac{Gv_2 * V * GD_{mes} * 24}{1000} - GT \left[\frac{KWh}{mes} \right] \quad (Ec. 4.12)$$

Donde:

Dda_{mes} : Demanda energética mensual de la vivienda para la calefacción. $\left[\frac{KWh}{mes} \right]$

V : Volumen de la vivienda. $[m^3]$

GD_{mes} : Diferencia entre la temperatura interior y exterior de la vivienda. [°C]

GT_{mes} : Ganancias térmicas mensuales de la vivienda. $\left[\frac{KWh}{mes} \right]$

Gv_2 : Pérdidas volumétricas de la vivienda. $\left[\frac{W}{m^3K} \right]$

Para la estimación de la demanda energética de una vivienda es necesario conocer las pérdidas volumétricas que ocurren en ésta (Gv_2), las que se calculan como se indica a continuación:

$$Gv_2 = Gv_1 + 0.35 * n \left[\frac{W}{m^3 K} \right] \quad (Ec. 4.13)$$

Donde:

n : Renovaciones de aire por hora en la vivienda

Gv_1 : Corresponde a las pérdidas por conducción a través de los elementos de la envolvente de la vivienda según las transmitancia térmica e cada elemento, calculándose como sigue:

$$Gv_1 = \frac{\sum(U*S) + K_l * p}{V} \left[\frac{W}{m^3 K} \right] \quad (Ec. 4.14)$$

Donde:

U : Transmitancia térmica de cada elemento de la envolvente. $\left[\frac{W}{m^2 K} \right]$

S : Superficie de cada elemento de la envolvente. $[m^2]$

K_l : Transmitancia térmica lineal. $\left[\frac{W}{m K} \right]$

p : Perímetro exterior del piso en contacto con el terreno. $[m]$

V : Volumen total de la vivienda. $[m^3]$

Utilizando la expresión para la estimación de la demanda energética y conociendo el valor de la misma calculado con anterioridad, en base a la utilización de equipos para la calefacción, según su rendimiento y el poder calorífico de los combustibles; Es posible despejar de dicha ecuación la temperatura interna de la vivienda dada por el factor de la temperatura base contenida en el parámetro e los grados día (GD).

$$T_{interior} = \frac{(Dda+GT)*1000}{Gv_2*V*N*24} + T_{exterior} [^{\circ}C] \quad (Ec. 4.15)$$

Este parámetro ser utilizado como una forma establecer cuantitativamente el confort que logra aportar el sistema de calefacción evaluado a cada vivienda, verificando si las viviendas logran alcanzar un rango de temperaturas de confort preestablecido (18°C a 22°C).

4.4.3 Metodología para la determinación de emisiones de material particulado

La metodología utilizada para la determinación de las emisiones de material particulado fue la implementada en un estudio anterior realizado por la CDT, y se ha adecuado para este estudio con el objetivo de determinar la masa de material particulado MP10 expulsado a la atmosfera por las viviendas. La fórmula a utilizar será la siguiente:

$$E_{mp} = F * Q * P * (h + 0,5) * T * H * A \quad (Ec. 4.16)$$

Donde:

E_{mp} : Emisiones de materia particulado [g/h]

F : Factor de emisión base, según una comparación de distintos resultados arrojados por diferentes estudios previos, **se considerará como factor de emisión base un valor de 9,8 [g/Kg].**²⁹

Q : Tasa de quemado: obtenida de la información técnica entregada por el proveedor del equipo ajustada según el modo de uso del tiraje del calefactor en la vivienda. [Kg/h]⁽³⁰⁾

⁽²⁹⁾ Valor obtenido de estudio realizado por la Agencia de Protección del Medio Ambiente de EE.UU (INFORME AP-42), ya que las características tecnológicas de las estufas de doble cámara son similares a las analizadas por la EPA.(Fuente : Informe Final, “Propuesta de medidas para el uso eficiente de la leña en la Región Metropolitana de Santiago”, Desarrollado por CDT (2011).

⁽³⁰⁾ Ver sección “metodología para la determinación del consumo energético “del presente documento.

$P, (h + 0,5), T, H, A$ ³¹: Los factores P, (h+0.5), T, H y A son factores de mayoración que pueden aumentar los niveles de emisiones según:

- funcionamiento, del calefactor,
- tipo de leña,
- la humedad,
- tiempo de uso y,
- antigüedad del calefactor.

P: Factor relacionado con el funcionamiento del calefactor debido a la tasa de quemado. Diversos estudios indican que la tasa de quemado es indirectamente proporcional a la emisiones esto quiere decir mientras más baja sea la tasa de quemado en la utilización del calefactor, mayores serán la emisiones de material particulado; esto debido a que, generalmente, la disminución de la tasa de quemado es consecuencia de que el tiraje no está completamente cerrado. Lo que implica que la cantidad de aire sea más escasa. Esto a su vez disminuye la tasa de combustión, reduciendo la temperatura volviendo incompleta la combustión, produciendo así mayores emisiones.

³¹ Estos factores están relacionados al método C-28 para la “DETERMINACION DE MATERIAL PARTICULADO Y CERTIFICACION Y AUDITORIA DE CALEFACTORES A LEÑA”, junto a otros métodos relacionados del libro de metodologías aprobadas del Instituto de Salud Pública (ISP). Información obtenida de Superintendencia de electricidad y combustible, www.sec.cl.

Este parámetro será determinado a través de la siguiente expresión:

$$P = -0,1765Q + 1,1765 \quad (\text{Ec. 4.17})$$

Que fue obtenida en base a un estudio previamente realizado por la CDT.³²

h, Tiempo de uso (hrs): El tiempo de uso que se considera para la determinación de la cantidad de material particulado emitido, corresponde al tiempo que transcurre entre que la estufa alcanza la temperatura de quemado adecuada hasta que es apagada.³³

Lo que, según la tasa de quemado, ocurre una hora después de que se ingresa la última carga de leña. Por lo tanto una hora después de las horas de uso indicadas en la encuesta.

Modificación de horas de uso (h + 0,5): Corresponde aumentar en media hora las horas de uso al considerar el tiempo entre el encendido de la estufa y el que esta alcanza la temperatura de quemado adecuada, lo que se supone sea unos 15 minutos en los que generalmente la estufa funciona con despuntes, aserrín o papeles.

³² Fuente : Informe Final, "Propuesta de medidas para el uso eficiente de la leña en la Región Metropolitana de Santiago", Desarrollado por CDT

³³ Metodología en referencia al método C-28 de la normativa mencionada en la nota #23

Éstos tienen un factor de emisión 3 veces mayor aumentando en un 200 % sus emisiones durante ese periodo de tiempo. (Ver tabla de factores de emisión (T), tabla 4.4).³⁴

T: Factor según tipo de leña que se usa. Se consideran los valores presentados en la tabla siguiente.

Tabla 4.4: Factor T, para las emisiones según el tipo de leña utilizado.

| Tipo de leña | Factor emisión | Referencia |
|---|----------------|--------------------------------------|
| Pino o Eucaliptus, podas | 1 | Environment Ontario ^{(a)35} |
| Dura (espino) | 0,87 | Environment Ontario ^(a) |
| Papeles, cartones, ramas pequeñas, hojas. | 3 | Ambiente Consultores ^(b) |
| Despunte, aserrín | 3 | Ambiente Consultores ^(b) |

Fuente 16: CDT, Informe Final, "Propuesta de medidas para el uso eficiente de la leña en la Región Metropolitana de Santiago".

³⁴ Fuente: Informe Final, "Propuesta de medidas para el uso eficiente de la leña en la Región Metropolitana de Santiago", Desarrollado por la CDT, (2011).

³⁵

- a. Environment Ontario, "EVALUATION OF METHODS TO DETERMINE THE IMPACT OF RESIDENTIAL WOOD BURNING ON AMBIENT AIR QUALITY", R. A. C. PROJECT NO. 426C, <http://archive.org/details/evaluationofmeth00yanduoft>.
- b. Ambiente Consultores (2010) "Análisis Comparativo de Programas de Recambio Tecnológico para Estufas a Leña y Evaluación de su Implementación en la R.M.", para CONAMA R.M

H: Factor debido a la humedad de la leña, como se mencionó anteriormente la leña es considerada en estado seco cuando su contenido de agua es menor al 20 %, estado que se ocupa para la determinación de emisiones en pruebas de laboratorio.

En la siguiente tabla se presentan los valores a utilizarse para el factor H.

Tabla 4.5: Valore para factor h debido a la humedad de la leña.

| Humedad (%) | Factor | Referencia |
|-------------|--------|------------------------------------|
| 10 | 0,83 | Environment Ontario ^(a) |
| 20 | 1 | Environment Ontario ^(a) |
| 30 | 1,25 | Environment Ontario ^(a) |
| 40 | 1,58 | Environment Ontario ^(a) |
| 50 | 2,0 | Environment Ontario ^(a) |

Fuente 17: CDT, Informe Final, "Propuesta de medidas para el uso eficiente de la leña en la Región Metropolitana de Santiago".

A: Factor por antigüedad del equipo: debido al paso del tiempo los equipos sufren deterioros pudiendo llegar a tener agujeros o rendijas por el desgaste provocando al paso descontrolado de aire lo cual aumenta sus emisiones esto ocurre en general no antes de los 15 años según la literatura.

Tabla 4.6: Factor por antigüedad.

| Antigüedad | Factor | Referencia |
|------------|--------|--|
| < 15 años | 1 | Houck y L. Y. Pitzman ^{(a)36} |
| ≥ 15 años | 0,7 | Houck y L. Y. Pitzman ^(a) |

Fuente 18: CDT, Informe Final, "Propuesta de medidas para el uso eficiente de la leña en la Región Metropolitana de Santiago".

Finalmente, la estimación del material particulado emitido por los calefactores a leña utilizados inicialmente en cada vivienda corresponderá directamente a la cantidad de material particulado que se deja de expulsar al ambiente ya que posterior a la implementación del recambio de calefactores no existe otra fuente de emisión de este tipo de contaminantes.

³⁶

a. "Emission Factors for Aged Uncertified Residential Cordwood Heaters", James E. Houck and Lyrik Y. Pitzman, <http://www.epa.gov/ttnchie1/conference/ei17/session4/pitzman.pdf>

Capítulo 5 Análisis de las viviendas

5.1 Condiciones climáticas

5.1.1 Temperatura del ambiente exterior

La temperatura exterior es uno de los parámetros importantes a considerar para el análisis. En especial respecto a la evaluación de las temperaturas de las viviendas.

Para este estudio se utilizaran los datos entregados por la estación meteorológica de Pudahuel ya que es la más cercana a la ubicación de las viviendas piloto y se encuentra a una altura similar, a las viviendas. Esta corresponde a la estación que indica las temperaturas para la zona de Maipú.

Los datos obtenidos son entregados en mediciones horarias, por lo que se calculó el promedio mensual de las temperaturas, ajustando los valores según la diferencia de altura entre el punto de medición y las viviendas en estudio. Al no contar con las mediciones para algunos meses, se realizó una correlación con datos entregados por una segunda estación climatológica cercana. Obteniendo los siguientes valores a utilizar para las temperaturas medias mensuales, indicadas en las tablas 5.1 y 5.2.

- Temperaturas mensuales para el año 2015.³⁷

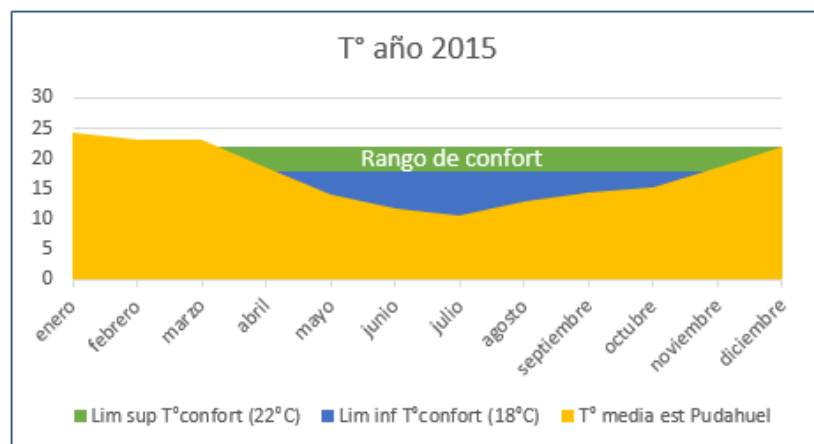
Tabla 5.1: Temperaturas exteriores para la zona de Maipú. Año 2015

| Mes | T° media est Pudahuel (°C) |
|------------|----------------------------|
| enero | 24,20 |
| febrero | 23,20 |
| marzo | 23,02 |
| abril | 18,61 |
| mayo | 14,23 |
| junio | 11,72 |
| julio | 10,73 |
| agosto | 12,92 |
| septiembre | 14,38 |
| octubre | 15,26 |
| noviembre | 18,39 |
| diciembre | 21,89 |

Fuente 19: Elaboración propia en base a datos entregados por la estación climatológica de Pudahuel.

A continuación se puede apreciar la Comparación de temperaturas medias en relación al rango de temperatura de confort (18°C a 22°C) para el año 2015.

Figura 5.1 Temperatura exterior respecto al confort para el año 2015.



Fuente 20: Elaboración propia en base a datos entregados por la estación climatológica de Pudahuel.

³⁷ Información obtenida de Sistema de información Nacional de Calidad del Aire (CINCA).par la estación de Pudahuel, véase: <http://sinca.mma.gob.cl/index.php/estacion/index/id/82>, (2015).

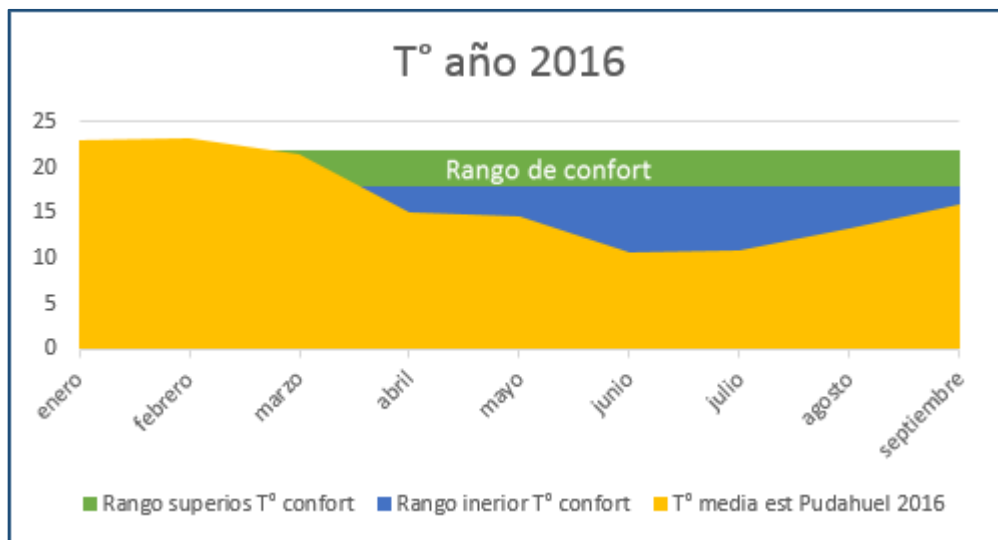
- Temperaturas medias mensuales para el año 2016 a la fecha.³⁸

Tabla 5.2: Temperaturas exteriores para la zona de Maipú. Año 2016

| Mes | T° media est Pudahuel |
|------------|-----------------------|
| enero | 23,096 |
| febrero | 23,263 |
| marzo | 21,52 |
| abril | 15,128 |
| mayo | 14,629 |
| junio | 10,643 |
| julio | 10,988 |
| agosto | 13,295 |
| septiembre | 15,852 |
| octubre | - |
| noviembre | - |
| diciembre | - |

Fuente 21: Elaboración propia en base a datos entregados por la estación climatológica de Pudahuel.

Figura 5.2: Temperatura exterior respecto al confort para el año 2016.



Fuente 22: Elaboración propia en base a datos entregados por la estación climatológica de Pudahuel.

³⁸ Información obtenida de Sistema de información Nacional de Calidad del Aire (CINCA). por la estación de Pudahuel, véase: <http://sinca.mma.gob.cl/index.php/estacion/index/id/82>, (2016).

5.1.2 Radiación solar

La radiación solar es un factor de relevancia para el estudio, ya que este provoca aportes energéticos a la vivienda, importantes a considerar al momento de estimar la temperatura en las viviendas. A continuación se presentan las radiaciones solares para la zona donde se emplazan las viviendas, según la inclinación de una superficie plana donde inciden los rayos solares.³⁹

Tabla 5.3: Radiación solar por plano de incidencia para la zona de estudio.

| Radiación según la inclinación (KWh/m ² dia) | | | |
|---|----------------------|--------------------------|--------------------------------|
| Mes | Radiación horizontal | Radiación directa normal | Radiación en un plano vertical |
| Enero | 7,9 | 8,99 | 4,29 |
| Febrero | 7,03 | 8,14 | 4,11 |
| Marzo | 5,77 | 7,12 | 4,17 |
| Abril | 3,95 | 5,56 | 3,91 |
| Mayo | 2,69 | 4,03 | 3,01 |
| Junio | 2,07 | 3,58 | 2,92 |
| Julio | 2,4 | 3,66 | 2,77 |
| Agosto | 2,91 | 3,92 | 2,62 |
| Septiembre | 4,03 | 5,06 | 3,06 |
| Octubre | 5,93 | 6,29 | 2,10 |
| Noviembre | 7,19 | 7,87 | 3,19 |
| Diciembre | 7,91 | 8,79 | 3,84 |

Fuente 23: Elaboración propia, en base a información del explorador solar de la Universidad de Chile

El valor a considerar de la tabla anterior corresponde a la radiación en un plano vertical (Inclinación de 90°), ya que esta es la inclinación de la totalidad de las ventanas de ambas casa piloto.

³⁹ Los valores fueron obtenidos del Explorador solar de la Universidad de Chile, véase: www.walker.dgf.uechile.cl, [Última consulta agosto 2016].

Para efectos del cálculo de las ganancias provocadas por la radiación solar, se debe conocer la radiación correspondiente a cada orientación de la vivienda. Ya que, debido al movimiento del sol sobre la tierra, las viviendas son irradiadas en distintas proporciones dependiendo de la hora del día. Para esto la ASHRAE entrega una tabla con factores para determinar dichos valores en base a la radiación directa. Para el caso de este estudio se considera un plano inclinado de 90 °

A continuación se observa la tabla con los factores a utilizar:

Tabla 5.4: Factores de reducción por orientación de las superficies expuestas.

| Table 13 Fenestration Solar Load Factors FF_s | | |
|---|-------------------------------|--------------------|
| Exposure | Single Family Detached | Multifamily |
| North | 0.44 | 0.27 |
| Northeast | 0.21 | 0.43 |
| East | 0.31 | 0.56 |
| Southeast | 0.37 | 0.54 |
| South | 0.47 | 0.53 |
| Southwest | 0.58 | 0.61 |
| West | 0.56 | 0.65 |
| Northwest | 0.46 | 0.57 |
| Horizontal | 0.58 | 0.73 |

Fuente 24: ASHRAE Fundamental handbook of 2009.

Mediante el uso de estos factores se logra obtener la radiación real incidente en cada orientación de cada casa. Para así finalmente determinar la cantidad efectiva de radiación que penetra por cada ventana de las viviendas.

En la tabla 5.5 presentada a continuación se tienen las radiaciones solares correspondiente a cada orientación de las viviendas.

Tabla 5.5: Radiación solar según orientación.

| Radiación por orientación (KWh/m ² día) | | | |
|--|------|------|------|
| N.E | S.O | S.E | N.O |
| 0,90 | 2,49 | 1,59 | 1,97 |
| 0,86 | 2,38 | 1,52 | 1,89 |
| 0,88 | 2,42 | 1,54 | 1,92 |
| 0,82 | 2,27 | 1,45 | 1,80 |
| 0,63 | 1,74 | 1,11 | 1,38 |
| 0,61 | 1,70 | 1,08 | 1,35 |
| 0,58 | 1,60 | 1,02 | 1,27 |
| 0,55 | 1,52 | 0,97 | 1,21 |
| 0,64 | 1,77 | 1,13 | 1,41 |
| 0,44 | 1,22 | 0,78 | 0,96 |
| 0,67 | 1,85 | 1,18 | 1,47 |
| 0,81 | 2,23 | 1,42 | 1,77 |

Fuente 25. Elaboración propia, en base a parámetros de la ASHRAE.

5.1.3 Nubosidad

La nubosidad es un factor relevante a considerar ya que puede afectar a la radiación solar que se aproxima a una vivienda. A pesar de que este es un factor presente en el procedimiento de cálculo para las ganancias térmicas por radiación descrito con anterioridad, no será considerado. Ya que este factor se encuentra considerado en los valores anteriormente expuestos para la radiación.

5.2 Descripción de la envolvente y cálculo de transmitancias

A continuación se caracterizará cada elemento de la envolvente correspondiente a cada vivienda. Para finalmente lograr calcular las resistencias y transmitancias térmicas de cada uno de ellos, necesarias para la estimación de la temperatura interior.

Los valores de las conductividades, resistencias y transmitancias de cada material para un estudio más detallado en teoría deben ser obtenidos a partir de ensayos. Pero con el objetivo de simplificar los cálculos, serán considerados los valores aceptados por el sistema de calificación energética que permite la utilización de los datos entregados por la norma NCh853 of 2007 y del listado oficial de soluciones térmicas del ministerio de vivienda y urbanismo.

- **Vivienda piloto N°1**

Esta vivienda se encuentra estructurada en dos plantas, con muros elaborados en albañilería armada confinada por cadenas y pilares de hormigón armado para el primer piso; tabiquería en base a estructuras metálicas recubiertas con terminaciones de estuco para el segundo piso, techumbre en base a cerchas de madera y cubierta compuesta por tejas de acero galvanizado tipo INPPA. En la vivienda se pueden observar sólo ventanas de vidrio simples. Finalmente cuenta con dos puertas, una de acceso principal y un acceso secundario al sector del patio.

▪ **Vivienda piloto N°2**

Esta vivienda se encuentra estructurada en un piso, con muros elaborados de albañilería armada confinada por cadenas y pilares de hormigón armado, techumbre en base a cerchas de madera y cubierta compuesta por tejas de material de imitación de la arcilla. En la vivienda se pueden observar tanto ventanas simples como de doble vidrio. Cuenta además con tres puertas: una de acceso principal, un acceso secundario por el sector de la cocina y una tercera puerta de salida al patio.

Para la determinación de las transmitancias se realiza la siguiente metodología de cálculo en base a los conceptos definidos con anterioridad en el marco teórico. Cada elemento e la envolvente corresponden en su mayoría a elementos compuestos de varias capas por lo que la transmitancia total está dada por la siguiente expresión:

$$U_{Total} = \frac{1}{\sum_{i=1}^n R_i} \left[\frac{W}{m^2 K} \right] \quad (Ec. 5.1)$$

Donde:

R_i : Corresponde a la resistencia térmica para cada una de las capas del elemento de la envolvente.

5.2.1 Muros perimetrales

- **Vivienda piloto N°1**

- **Planta primer piso:** La totalidad de los muros perimetrales de la primera planta de la vivienda están contruidos con albañilería armada confinada con sobrecimientos y cadenas de hormigón armado con un espesor de muro de 14 cm. La albañilería está conformada por ladrillos cerámicos hechos a máquina.

Los muros no cuentan con ningún tipo de recubrimiento en su exterior o interior salvo pintura, la que por su mínimo espesor no es considerada en el cálculo de las transmitancias térmicas.

- **Planta segundo piso:** La totalidad de los muros perimetrales de la segunda planta de la vivienda están contruidos en base a estructuras metálicas de acero galvanizado recubierto en su interior por planchas de yeso cartón y en el exterior por planchas de madera con terminación de estuco.

A continuación se pueden observar los valores obtenidos para las transmitancias de cada tipo de muro, cadenas y sobre cimientos de hormigón.

▪ **Albañilería.**⁴⁰

Tabla 5.6: Transmitancia tipo de muro 1 primer piso

| Tipo de muro 1 (primer piso) | | | | | |
|------------------------------|-------------|--------------|----------------------|----------------------------------|--|
| Capa | Material | Espesor (cm) | Conductividad (w/mK) | Resistencia (m ² K/W) | Transmitancia total (W/m ² K) |
| 1 | Albañilería | 15 | | 0,530 | |
| 2 | Pintura | 0,1 | 0 | 0 | |
| TOTAL | | | | 0,530 | 1,89 |

Fuente 26: Elaboración Propia.

Tabla 5.7: Transmitancias tipo de muro 1(a) (primer piso) ⁽⁴¹⁾

| Tipo de muro 1 (a) (Primer piso) | | | | | |
|----------------------------------|--------------------------|--------------|----------------------|----------------------------------|---|
| Capa | Material | Espesor (cm) | Conductividad (w/mK) | Resistencia (m ² K/W) | Transmitancia total(W/m ² K) |
| 1 | Albañilería | 15 | | 0,530 | |
| 2 | pintura | 0,1 | 0 | 0,000 | |
| 3 | (Rs) total ⁴² | | | 0,13 | |
| TOTAL | | | | 0,660 | 1,52 |

Fuente 27: Elaboración propia.

⁴⁰ En el caso de la albañilería los valores para la resistencia térmica fueron obtenidos del listado oficial de soluciones térmicas (MINVU). En estos ya se encuentra en consideración la resistencia térmica superficial. Ficha código 1.2.M.B3.1 Ladrillo estructural (290mm x 140 mm x 94 mm). Ver anexo D.

⁴¹ Esta tabla se diferencia de la anterior ya que existe una porción de muro que se considera en contacto con otro local cerrado.

⁴² Para este caso la resistencia superficial debería corresponder a 0.15 m²K/W tanto por la superficie interior como exterior, pero al tratarse para la albañilería de un valor obtenido del listado oficial emitido por el MINVU se considera que ya cuenta con una resistencia superficial de 0.17 m²K/W por lo que solo se consideró adicionar el valor faltante para llegar a 0.3 m²K/W.

Para todos los casos referentes al cálculo de transmitancias el valor “(Rs) total” corresponde a la suma de las resistencias superficiales exteriores e interiores.

Tabla 5.8: Transmitancia de tipo de muro 2 (Segundo piso)

| Tipo de muro 2 (Segundo piso) | | | | | |
|-------------------------------|--------------------------|--------------|----------------------|--------------------------|----------------------------------|
| Capa | Material | Espesor (cm) | Conductividad (W/mK) | Resistencia (m^2K/W) | Transmitancia total (W/m^2K) |
| 1 | Tabiquería ⁴³ | 8,5 | | 1,370 | |
| 2 | Estuco ⁴⁴ | 1,5 | 1,4 | 0,011 | |
| TOTAL | | | | 1,381 | 0,72 |

Fuente 28: Elaboración propia.

▪ **Cadenas y sobre cimientos:**

Tabla 5.9: Transmitancias cadenas y sobre cimientos de hormigón armado.

| Cadenas y sobrecimientos de hormigon | | | | | |
|--------------------------------------|-------------------------------|--------------|----------------------|--------------------------|----------------------------------|
| Capa | Material | Espesor (cm) | Conductividad (W/mK) | Resistencia (m^2K/W) | Transmitancia total (W/m^2K) |
| 1 | Hormigón armado ⁴⁵ | 15 | 1,63 | 0,092 | |
| 2 | (Rs) total | | | 0,170 | |
| TOTAL | | | | 0,262 | 3,816 |

Fuente 29: Elaboración propia.

⁴³ Valores obtenidos del listado oficial de soluciones térmicas aprobados por el ministerio de vivienda y urbanismo. Ficha, código 1.2.1.C2 (Muro tabique perimetral estructura metálica con aislación térmica de Poliestireno expandido).

⁴⁴ Valores obtenidos del listado que entrega la norma NCh 853 of 2007.

⁴⁵ En el caso del hormigón armado los valores fueron obtenidos de la normativa vigente nch853 of 2007.

- **Bloques de vidrio**

Una de las ventanas correspondientes a la planta del primer piso fue sustituido por bloques de vidrio doble, estos serán considerados como parte de los muros perimetrales con su transmitancia correspondiente.

Para este tipo de materiales es necesario realizar la ponderación de transmitancias según corresponda a la superficie de vidrio y el estuco necesario para pegarlos.

Tabla 5.10: Transmitancias bloques de vidrio.

| Bloque de vidrio | | | | | |
|------------------|----------------------|--------------|----------------------|--------------------------|----------------------------------|
| Capa | Material | Espesor (cm) | Conductividad (W/mK) | Resistencia (m^2K/W) | Transmitancia total (W/m^2K) |
| 1 | Bloque ⁴⁶ | 8 | 0,12 | 0,667 | |
| 2 | (Rs)total | | | 0,17 | |
| TOTAL | | | | 0,837 | 1,195 |

Fuente 30: Elaboración propia.

Tabla 5.11: Transmitancias mortero de pega..

| Mortero | | | | | |
|---------|-----------|--------------|----------------------|--------------------------|----------------------------------|
| Capa | Material | Espesor (cm) | Conductividad (W/mK) | Resistencia (m^2K/W) | Transmitancia total (W/m^2K) |
| 1 | Mortero | 15 | 0,87 | 0,172 | |
| 2 | (Rs)total | | | 0,17 | |
| TOTAL | | | | 0,342 | 2,920 |

⁴⁶ Valores obtenidos a través de los principales proveedores.

Fuente 31: Elaboración propia.

Finalmente realizando la ponderación se obtienen los siguientes resultados:

Tabla 5.12: Ponderación de transmitancias para muro con bloques de vidrio.

| Ponderación de transmitancias | | | | |
|-------------------------------|----------|----------------------------|-------------|--------------------------------------|
| Capa | Material | Transmitancia (W/m^2K) | % por m^2 | Transmitancia ponderada (W/m^2K) |
| 1 | Bloque | 1,195 | 90% | 1,076 |
| 2 | Mortero | 2,920 | 10% | 0,292 |
| | | | TOTAL | 1,368 |

Fuente 32: Elaboración propia.

■ **Vivienda piloto N°2**

La totalidad de los muros perimetrales de la vivienda son construidos en albañilería armada, confinada con sobreseimientos y cadenas de hormigo armado con un espesor de muro de 14 cm. La albañilería está conformada por ladrillos cerámicos hechos a máquina.

Los muros no cuentan con ningún tipo de recubrimiento en su exterior más que pintura que por su mínimo espesor, no es considerado en el cálculo de las transmitancias térmicas. En su interior los muros cuentan con tres tipos de recubrimiento o hay ausencia de éste según la habitación que corresponda. Estos recubrimientos pueden ser: estuco de mortero, estuco con mampostería de baldosas o enlucido de yeso.

A continuación se pueden observar los valores obtenidos para las transmitancias de cada tipo de muro, cadenas y sobre cimientos de hormigón.

▪ **Albañilerías.** ⁴⁷:

Tabla 5.13: Transmitancia tipo de muro 1 vivienda N°2.

| Tipo de muro 1 | | | | | |
|----------------|----------------------|--------------|----------------------|----------------------------------|------------------------------------|
| Capa | Material | Espesor (cm) | Conductividad (W/mK) | Resistencia (m ² K/W) | Transmitancia (W/m ² K) |
| 1 | Albañilería | 14 | | 0,530 | |
| 2 | Estuco ⁴⁸ | 2,5 | 1,4 | 0,018 | |
| TOTAL | | | | 0,548 | 1,825 |

Fuente 33: Elaboración propia.

Tabla 5.14 Transmitancia tipo de muro 2 vivienda N°2.

| Tipo de muro 2 | | | | | |
|----------------|-----------------------|--------------|----------------------|----------------------------------|------------------------------------|
| Capa | Material | Espesor (cm) | Conductividad (W/mK) | Resistencia (m ² K/W) | Transmitancia (W/m ² K) |
| 1 | Albañilería | 14 | | 0,530 | |
| 2 | Baldosa ⁴⁹ | 0,5 | 0,81 | 0,006 | |
| TOTAL | | | | 0,536 | 1,865 |

Fuente 34: Elaboración propia

⁴⁷ En el caso de la albañilería los valores para la resistencia térmica fueron obtenidos del listado oficial de soluciones térmicas (MINVU), en estos ya se encuentra en consideración la resistencia térmica superficial. Ficha código 1.2.M.B3.1 Ladrillo estructural (290mm x 140 mm x 94 mm).

^{48 49} En estos casos los valores fueron obtenidos de la normativa vigente NCh853 of 2007.

Tabla 5.15: Transmitancia tipo de muro 3 vivienda N°2.

| tipo de muro 3 | | | | | |
|----------------|--------------------------------|--------------|----------------------|--------------------------|----------------------------|
| Capa | Material | Espesor (cm) | Conductividad (W/mK) | Resistencia (m^2K/W) | Transmitancia (W/m^2K) |
| 1 | Albañilería | 14 | | 0,530 | |
| 2 | Enlucido de yeso ⁵⁰ | 0,5 | 0,35 | 0,014 | |
| TOTAL | | | | 0,544 | 1,837 |

Fuente 35: Elaboración propia.

Tabla 5.16: Transmitancia tipo de muro 4 vivienda N°2.

| Tipo de muro 4 | | | | | |
|----------------|-------------|--------------|----------------------|--------------------------|----------------------------|
| Capa | Material | Espesor (cm) | Conductividad (W/mK) | Resistencia (m^2K/W) | Transmitancia (W/m^2K) |
| 1 | Albañilería | 14 | | 0,530 | |
| TOTAL | | | | 0,530 | 1,887 |

Fuente 36: Elaboración propia.

⁵⁰ Idem.

▪ **Cadenas y sobre cimientos:**

Tabla 5.17: Cadenas y sobre cimientos de hormigón 1 casa N°2.

| Cadenas y sobre cimientos de hormigón 1 | | | | | |
|---|-------------------------------|--------------|----------------------|--------------------------|----------------------------|
| Capa | Material | Espesor (cm) | Conductividad (W/mK) | Resistencia (m^2K/W) | Transmitancia (W/m^2K) |
| 1 | Hormigón armado ⁵¹ | 15 | 1,63 | 0,092 | |
| 2 | (Rs) total | | | 0,170 | |
| TOTAL | | | | 0,262 | 3,816 |

Fuente 37: Elaboración propia.

Tabla 5.18: Cadenas y sobre cimientos de hormigón 2 casa N°2.

| Cadenas y sobre cimientos de hormigón 2 | | | | | |
|---|-----------------------|--------------|----------------------|--------------------------|----------------------------|
| Capa | Material | Espesor (cm) | Conductividad (W/mK) | Resistencia (m^2K/W) | Transmitancia (W/m^2K) |
| 1 | Hormigón armado | 15 | 1,63 | 0,092 | |
| 2 | Baldosa ⁵² | 0,5 | 0,81 | 0,006 | |
| 3 | (Rs) total | | | 0,170 | |
| TOTAL | | | | 0,268 | 3,729 |

Fuente 38: Elaboración propia.

⁵¹En estos casos los valores fueron obtenidos de la normativa vigente NCh853 of 2007.

⁵² Ídem.

5.2.2 Ventanas

En las viviendas se pueden notar dos tipos de ventanas que conforman las respectivas envolventes de las viviendas:

- Ventanas de vidrio monolítico (vidrio simple) ,con marco de aluminio y espesor de vidrio de 0,5 cm
- Ventanas de doble vidrio hermético (DVH) tipo termo panel, con marcos de PVC, espesores de vidrio de 0,5 cm y cámara de aire intermedia de 1 cm.

Las secciones Transversales de los marcos se reconocen como bastante complejas. Para la realización de los cálculos se trabajara con los valores de transmitancia entregados por el Sistema de Calificación Energética para diferentes tipos de marcos y ventanas.

- Vidrios: El valor de la transmitancia de los vidrios está dado por la siguiente tabla⁵³:

⁵³ Manual de Procedimientos para la calificación energética en viviendas chilenas. Sección 2.4

Figura 5.3: Transmitancias térmicas para vidrios.

Tabla 5. U_{vidrio} En función del ancho del espaciador.

| Ancho del espaciador | U_{vidrio} (W/m ² K) |
|--|--|
| Vidrio monolítico (VM). Sin espaciador | 5.80 |
| DVH con espaciador de 6 mm | 3.28 |
| DVH con espaciador de 9 mm | 3.01 |
| DVH con espaciador de 12 mm | 2.85 |
| DVH con espaciador de 15 mm o mayor | 2.80 |

Fuente 39: Manual de procedimiento CEV.

- **Marcos:** En las viviendas se pueden notar dos tipos de marcos según el vidrio correspondiente a la ventana sea monolítico o doble, con marcos de aluminio o PVC respectivamente. Al igual que en el caso de los vidrios, se trabajará con los valores para las transmitancias entregados por el sistema de calificación energética indicados en la siguiente tabla.⁵⁴

Figura 5.4: Transmitancias para marcos de ventanas.

Tabla 6. $U_{\text{marco no macizo}}$

| Marco | U_{fr} W/m ² K |
|---------------|------------------------------------|
| Metal sin RPT | 5.8 |
| Al con RPT | 3.3 |
| PVC | 2.8 |
| Madera | 2.6 |

Fuente 40: Manual de procedimiento CEV.

⁵⁴ Fuente: Manual de Procedimientos para la calificación energética en viviendas chilenas. Sección 2.4

5.2.3 Puertas

Se pueden observar dos tipos de puerta que conforman la envolvente de la vivienda. Todas las puertas están conformadas principalmente de madera maciza, la diferencia está en que dos de ellas (puertas de acceso) presentan cierto porcentaje de vidriado. Las transmitancias para estas superficies de vidriado serán calculadas con la información obtenida para vidrio simple considerándose como ventanas.

A continuación se observan los valores obtenidos:

Tabla 5.19: Transmitancias calculadas para puertas.

| Puertas madera | | | | | |
|----------------|-----------|--------------|----------------------|--------------------------|----------------------------------|
| Capa | Material | Espesor (cm) | Conductividad (W/mK) | Resistencia (m^2K/W) | Transmitancia total (W/m^2K) |
| 1 | Madera | 5 | 0,104 | 0,481 | |
| 2 | (Rs)total | | | 0,17 | |
| TOTAL | | | | 0,651 | 1,537 |

Fuente 41: Elaboración propia.

5.2.4 Techumbre

En este caso ambas viviendas piloto cuentan con la misma configuración de techumbre y similares materiales en cuanto a aislación y terminaciones de cielo. Esta configuración corresponde a la denominada techumbre fría. Ambas viviendas contienen aislación solo sobre el su cielo, permitiendo la ventilación a través de rendijas bajo la cubierta utilizada para la techumbre. Se considera como límite de la envolvente el cielo de la vivienda.

Figura 5.5: Configuración de techo frío.



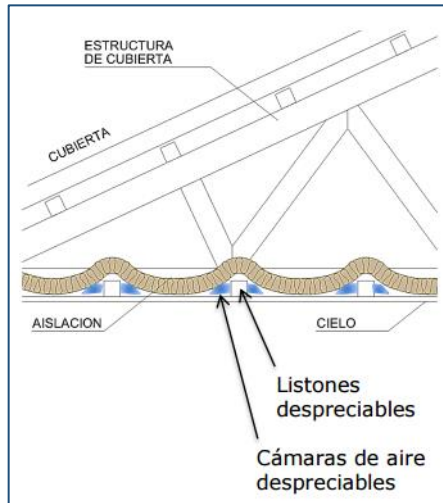
Fuente 42: MINVU, Jornada de acreditación, sistema de calificación energética.

La sección correspondiente al cielo es compuesta por los siguientes materiales:

- Madera correspondiente a las cerchas (pino insigne).
- Aislante térmico.
- Madera correspondiente a listones de cielo.
- Madera correspondiente a cubierta de cielo (terciado).

Para el cálculo se despreciarán los listones de cielo al igual que las pequeñas cámaras de aire que estos forman junto al aislante.

Figura 5.6: Esquema aislación en la techumbre.



Fuente 43: MINVU, Jornada de acreditación, sistema de calificación energética.

Este tipo de configuración para la arquitectura del cielo se considera como heterogénea por lo que se debe realizar una ponderación de las transmitancias térmicas aportadas por los materiales como se indica a continuación.

- Cálculo de resistencias y transmitancias para techos :

$$R_{cercha} = R_{si} + R_{cubierta} + R_{cercha} + R_{se} \quad U_{cercha} = \frac{1}{R_{cercha}} \quad (Ec. 5.2)$$

$$R_{aislante} = R_{si} + R_{cubierta} + R_{Aislante} + R_{se} \quad U_{aislante} = \frac{1}{R_{aislante}} \quad (Ec. 5.3)$$

Donde

$R_{(***)}$: Resistencia térmica correspondiente al elemento respectivo.

R_{si} , R_{se} : Resistencia superficial interior y exterior respectivamente.

Finalmente la ponderación de transmitancias según área de ocupación en la cubierta de cielo es la siguiente:

$$\bar{U} = \frac{\sum U_i * \% \text{ de material}}{100\%} = \frac{1}{R_t} \left[\frac{W}{m^2 K} \right] \quad (\text{Ec. 5.4})$$

A continuación se observan los resultados obtenidos:

Tabla 5.20: Transmitancias para cerchas de madera.

| Transmitancia cerchas de madera | | | | | |
|---------------------------------|----------------------------|--------------|----------------------|--------------------------|----------------------------|
| Capa | Material | Espesor (cm) | Conductividad (W/mK) | Resistencia (m^2K/W) | Transmitancia (W/m^2K) |
| 1 | Pino | 12,5 | 0,104 | 1,202 | |
| 2 | Terciado | 0,7 | 0,28 | 0,025 | |
| 3 | (Rs)interior ⁵⁵ | | | 0,1 | |

⁵⁵ Se consideran transmitancias superficiales iguales a 0,1 (m^2K/W) como indica la normativa para el límite de elementos de la envolvente con recintos cerrados ventilados. Y de movimiento de aire ascendente. (Manual de acondicionamiento térmico y criterios de intervención. CDT)

| | | | | | |
|---|--------------|--|-------|-------|-------|
| 4 | (Rs)exterior | | | 0,1 | |
| | | | TOTAL | 1,427 | 0,701 |

Fuente 44: Elaboración propia.

Tabla 5.21: Transmitancias aislante en cubierta de cielo.

| Transmitancias aislante | | | | | |
|-------------------------|--------------|--------------|----------------------|--------------------------|----------------------------|
| Capa | Material | Espesor (cm) | Conductividad (W/mK) | Resistencia (m^2K/W) | Transmitancia (W/m^2K) |
| 1 | Aislante | 15 | 0,041 | 3,659 | |
| 2 | Terciado | 0,7 | 0,28 | 0,025 | |
| 3 | (Rs)interior | | | 0,1 | |
| 4 | (Rs)exterior | | | 0,1 | |
| | | | TOTAL | 3,884 | 0,257 |

Fuente 45: Elaboración propia.

Para el cálculo de porcentaje de tipo de material correspondiente a un m² de superficie de cielo se considerara una configuración estándar de cerchas de 5 cm de ancho, 12,5 cm de espesor y distanciamiento de 90 cm entre eje y eje. El espesor de aislante se considerará de 12 cm.

Tabla 5.22: Ponderación de transmitancias para cubierta de cielo.

| Ponderación de transmitancias | | | | |
|-------------------------------|----------|--------------------------|----------|--------------------------------------|
| | Material | Resistencia (W/m^2K) | % por m2 | Transmitancia ponderada (W/m^2K) |
| 1 | Pino | 0,701 | 3% | 0,021 |
| 2 | Aislante | 0,257 | 97% | 0,250 |
| | | | TOTAL | 0,271 |

Fuente 46: Elaboración propia.

5.2.5 Pisos

Para el cálculo de la transmitancia de pisos en contacto con el terreno, se considera la resistencia térmica lineal y el perímetro de la vivienda en contacto con el terreno. No se consideran las partes del perímetro que se encuentren en contacto con otros recintos acondicionados térmicamente. El cálculo real de las transmitancias solo se admite mediante ensayos, pero la normativa permite considerar tres casos aplicables según el tipo de aislación del piso para simplificar los cálculos (Tabla N°4 NCh853 of 2007).

Para establecer cuál de los casos corresponde utilizar, es necesario conocer las resistencias de cada configuración de piso presentes en las viviendas, que se presentan a continuación:

Tabla 5.23: Transmitancia tipo de piso 1.

| Tipo de piso 1 (Piso flotante) | | | |
|--------------------------------|-------------|---------------|--------------------------|
| | Espesor (m) | conductividad | Resistencia (W/m^2K) |
| Hormigón | 0,10 | 1,63 | 0,06 |
| Mortero | 0,02 | 1,40 | 0,01 |
| Madera laminada | 0,01 | 0,23 | 0,03 |
| Aislante | 0,01 | 0,20 | 0,03 |
| (Rs)total | | | 0,17 |
| Total: | | | 0,31 |

Fuente 47: Elaboración propia.

Tabla 5.24: Transmitancia tipo de piso 2.

| Tipo de piso 2 (Piso Alfombrado) | | | |
|----------------------------------|-------------|---------------|--------------------------|
| | Espesor (m) | conductividad | Resistencia (W/m^2K) |
| Hormigón | 0,10 | 1,63 | 0,06 |
| Mortero | 0,02 | 1,40 | 0,01 |
| Alfombrado | 0,01 | 0,05 | 0,20 |
| (Rs)total | | | 0,17 |
| Total: | | | 0,45 |

Fuente 48: Elaboración propia.

Tabla 5.25: Transmitancia tipo de piso 3.

| Tipo de piso 3 (Piso de baldosa) | | | |
|----------------------------------|-------------|---------------|--------------------------|
| | Espesor (m) | conductividad | Resistencia (W/m^2K) |
| Hormigón | 0,10 | 1,63 | 0,06 |
| Mortero | 0,02 | 1,40 | 0,01 |
| Adhesivo | 0,01 | 1,40 | 0,00 |
| Cerámica | 0,01 | 0,80 | 0,01 |
| (Rs)total | | | 0,17 |
| | | | Total: 0,26 |

Fuente 49: Elaboración propia.

Una vez conocido el parámetro de la resistencia térmica total de cada configuración, se puede determinar cuál de los casos corresponde a este escenario a través de la siguiente tabla:

Tabla 5.26: Transmitancia lineal según nivel de aislación de pisos.

| Tabla 4 - Transmitancia térmica lineal, según aislación del piso considerado | | |
|--|---|--|
| Aislación del piso o radier | Resistencia térmica total, R_T $m^2 \times ^\circ C/W$ | Transmitancia térmica lineal, K_ℓ $W/(m \times K)$ |
| Corriente | 0,15 - 0,25 | 1,4 |
| Medianamente aislado | 0,26 - 0,60 | 1,2 |
| Aislado | > 0,60 | 1,0 |

Fuente 50: NCh 853 of 2007.

Para este caso se considerará que el piso de ambas viviendas es medianamente aislado con una transmitancia térmica línea de 1,2 (W/mK); ya que todas las configuraciones para el piso presentes en las viviendas cuentan con una resistencia total dentro del rango indicado en la tabla anterior.

5.3 Descripción del análisis

Hasta este punto se han calculado los principales parámetros para la realización del análisis de las viviendas tanto en términos de energía como de temperatura. Con esta información obtenida, se presenta a continuación el análisis realizado, que sigue la siguiente pauta general, de referencia para ambas viviendas evaluadas:

- Análisis energético y costos asociados
 - Análisis de la situación inicial.
 - Análisis de la situación actual.
 - Régimen de uso de calefactores.
 - Consumo de energéticos.
 - Gastos semanales.
 - Costo semanales de la energía.
 - Comparación de los sistemas según la situación.
- Estimación de la temperatura interior de las viviendas
 - Cálculo de pérdidas volumétricas globales (GV1 y GV2).
 - Cálculo de ganancias térmicas.
 - Análisis de resultados.
- Cálculo del material particulado evitado
 - Cuantificación del material particulado producido.
- Percepción de los usuarios

5.4 Análisis energético y costos asociados, vivienda piloto N°1

5.4.1 Situación inicial

Inicialmente la familia correspondiente a esta vivienda piloto hacía uso de tres tipos diferente de equipos y en consecuencia tres tipos diferentes de energéticos para la calefacción del hogar:

- Calefactor a leña

- Estufa a gas licuado (GLP)
- Calefactor eléctrico

El régimen de utilización de los equipos se debe separar principalmente en su uso según los días de la semana debido al ritmo de vida y la rutina familiar, por lo que se debe diferenciar entre “días de la semana” (de lunes a viernes) y “días del fin de semana” (sábado y domingo).

Debido a que durante los días laborales de la semana la vivienda no se encuentra ocupada por todos los integrantes de la familia. Durante la mayor parte del día se mantenía la siguiente rutina para la calefacción de la vivienda, según tipo de calefactor:

5.4.1.1 Régimen de uso de calefactores

A continuación se detalla la rutina de uso de los equipos según el energético utilizado y el periodo de la semana.

- **Calefactor a leña.**

- Días de la semana (Lunes a Viernes): Durante los días de semana, al no encontrarse gran parte del grupo familiar en el hogar, el calefactor a leña no se utilizaba sino hasta el momento del regreso de la mayoría de los ocupantes de la vivienda, utilizándolo en los siguientes horarios:

1. **Hora de Encendido:** La hora de encendido promedio corresponde a las **17:00 hrs.**

2. **Hora de apagado:** La hora de apagado se estima como una hora después de ingresada la última carga de leña del día. Esto debido a que la familia declara no apagarla manualmente, sino esperar a que se apague por si sola. Ya que la estufa es alimentada por última vez alrededor de las 21:00 hrs., se estima que la hora de apagado en promedio corresponde a las **22:00 hrs.**

De lo anterior se establece un **promedio de uso durante los días de semana de 5 horas diarias.**

- Días del fin de semana (sábados y domingos): En los días correspondientes al fin de semana se encuentra prácticamente toda la familia en el hogar durante el día y la noche, por lo que la estufa a leña se mantiene encendida durante el día completo.

El régimen de utilización durante las horas de uso es el siguiente:

1. **Hora de encendido:** La hora de encendido promedio corresponde a las **10:00 hrs.**

2. **Hora de apagado:** La hora de apagado, al igual que en la situación anterior se estima como una hora después de ingresada la última carga de leña del día, hora que en promedio corresponde a las **22:00 hr.**

De lo anterior se establece un **promedio de uso durante los días del fin de semana de 12 horas.**

- **Estufa a gas licuado (GLP) y calefactor eléctrico**
 - **Días de la semana (Lunes a Viernes):** Durante los días de la semana se utilizaban en conjunto estos dos equipos para calefaccionar la vivienda en los siguientes horarios:
 1. Hora de primer encendido: La hora de encendido promedio corresponde a las **06:00 hrs.**
 2. Hora de primer apagado: **07:00 hrs.**
 3. Hora de segundo encendido: La hora de encendido promedio corresponde a las **11:00 hrs.**
 4. Hora de segundo apagado: En promedio corresponde a las **16:00 hrs.**

De lo anterior se establece un **promedio de horas de uso durante los días de la semana de 6 horas diarias para cada calefactor**

- **días del fin de semana (sábados y Domingos):** A estos equipos no se les daba uso durante el fin de semana.

En resumen se observa que las horas de uso diario de cada equipo, durante una semana es el siguiente:

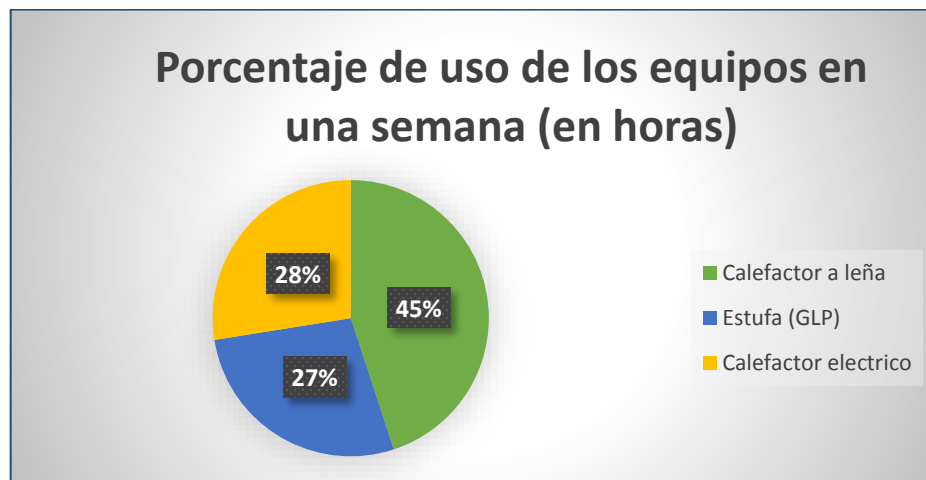
Tabla 5.27: Horas de uso semanal por tipo de calefactor. Situación inicial vivienda N°1.

| Equipo | Horas de uso por día | | Total semanal (horas) |
|----------------------|----------------------|---------------|-----------------------|
| | Semana | Fin de semana | |
| Calefactor a leña | 5 | 12 | 49 |
| Estufa (GLP) | 6 | 0 | 30 |
| Calefactor eléctrico | 6 | 0 | 30 |

Fuente 51: Elaboración propia.

A continuación se puede observar la distribución del uso de calefacción durante la semana según el total de horas de uso de los equipos.

Figura 5.7: Porcentaje de uso por tipo de calefactor.



Fuente 52: Elaboración propia, en base a encuesta realizada a la familia.

5.4.1.2 Consumo de energéticos

Como se mencionó anteriormente, inicialmente la familia de la vivienda piloto hacía uso de tres tipos diferentes de energéticos para la calefacción del hogar:

- Leña

- Gas licuado (GLP)
- Electricidad

La cuantificación del consumo se realizará para una semana según las horas promedio de uso diario calculadas para cada equipo y sus características.

Tabla 5.28: Consumo semanal por tipo de energético.

| Tipo de energético | Horas de uso | Consumo por hora | Consumo semanal | Unidad |
|--------------------|--------------|------------------|-----------------|--------|
| Leña | 49 | 0.8 | 39.2 | Kg |
| Gas | 30 | 0.24 | 7.2 | Kg |
| Electricidad | 30 | 1 | 30 | kWh |

Fuente 53: Elaboración propia.

- **Leña:** Según las características técnicas del calefactor a leña obtenidas del proveedor, la tasa de quemado corresponde a un valor entre 0,5 kg/hr y 2 kg/hr dependiendo de la potencia a la que funcione el equipo, Por otro lado, según estudios realizados por CDT, la tasa de quemado promedio utilizada en Santiago varía entre 0,64 kg/hr a 0,8 kg/hr. Para este caso, debido al uso extensivo del equipo, se considerará el límite superior (0,8 kg/hr). Con esta información junto a las 49 horas de uso por semana se estima que el calefactor consume **39.2 kilos de leña por semana**.
- **Gas licuado (GLP):** El consumo promedio para estufas de este tipo va desde 220 gr/hr a 300 gr/hr. Se considera en este caso un consumo de 224 gr/hr que junto a las 30 horas de uso por semana declaradas por la familia, arroja un consumo para la estufa de **7,2 kilogramos de gas por semana o 28,8 kg/mes**, lo que concuerda con la cantidad consumida declarada por la familia (2 cilindros de 15 kilos por mes).

- **Electricidad:** Multiplicando su potencia nominal (1000 W) por las 30 horas de uso por semana declaradas, **el calefactor consume aproximadamente 30 kWh en electricidad por semana.**

5.4.1.3 Costos de los energéticos

Según información entregada por los principales proveedores del os energéticos se estimó el precio promedio por cada uno de ellos.

- **Precios de venta:**

- **Leña⁵⁶:**

Tabla 5.29: Precio de venta leña Casa piloto N°1.

| Proveedor | Saco 25 kg (\$) | Precio promedio (\$) |
|-----------|-----------------|----------------------|
| EASY | 4.990 | 4.640 |
| SODIMAC | 4.290 | |

Fuente 54: Elaboración propia, en base a información de los proveedores.

- **Gas licuado⁵⁷:**

Tabla 5.30: Precio de venta GLP Casa piloto N°1.

| Proveedor | Precio 15 kg (\$) | Precio promedio(\$) |
|-----------|-------------------|---------------------|
| GASCO | 12.900 | 13.000 |
| ABASTIBLE | 13.900 | |
| LIPIGAS | 12.200 | |

Fuente 55: Elaboración propia, en base a información de los proveedores.

- **Electricidad:**

Según información emitida por Chilectra, actualmente ENEL DISTRIBUCIÓN el valor asociado al consumo de un kilowatt-hora actualmente es de: **\$112,3**.

⁵⁶ El valor de los precios se encuentra a libre disposición en las páginas web correspondientes a cada proveedor: www.easy.cl, www.sodimac.cl. Los precios fueron consultados para el mes de julio del año 2016. Todos los valores se encuentran con IVA incluido.

⁵⁷ El valor del precio de venta de este combustible fue obtenido del listado oficial de proveedores proporcionados por el gobierno a través de su página web: www.gasenlinea.gob.cl, para el mes de julio de 2016, en la comuna de Maipú. Todos los valores se encuentran con IVA incluido.

- Corresponde al valor del kWh de un cliente con tarifa BT1, para el mes de julio del 2016.⁵⁸
- Válido para suministro aéreo de energía en la comuna de Maipú
- IVA incluido.
- **Esta información se encuentra a libre disposición en la página web del proveedor, el valor fue consultado el día 15 de julio de 2016.**⁵⁹

5.4.1.4 Gastos semanales por energéticos

⁵⁸ En este caso no se considera el aumento en los costos por el hecho se superar el límite de invierno debido a un convenio con la empresa proveedora.

⁵⁹ www.chilectra.cl / www.eneldistribucionchile.cl

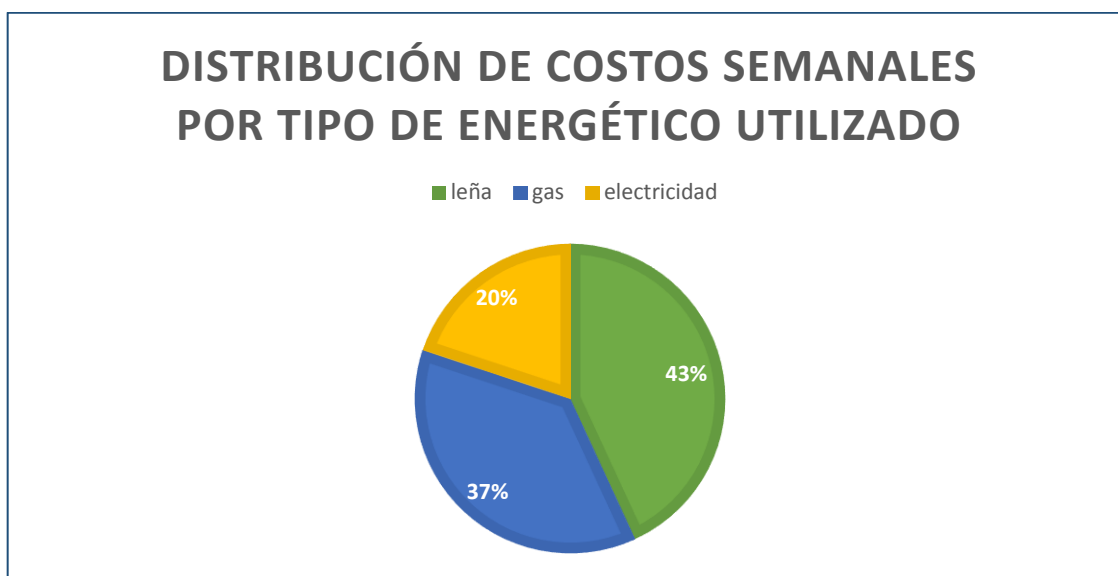
De acuerdo a la información anterior respecto a los precios y el consumo semanal de energético calculado previamente, el costo semanal para la vivienda piloto es el siguiente.

Tabla 5.31: Gastos semanales por energético situación inicial casa N°1.

| Tipo de energético | Consumo semanal | Unidad | Precio unitario | Unidad | Costo semanal (\$) | Total semanal(\$) |
|--------------------|-----------------|--------|-----------------|--------|--------------------|-------------------|
| Leña | 39,2 | kg | 186 | \$/kg | 7.291 | 16.893 |
| Gas | 7,2 | kg | 867 | \$/kg | 6.242 | |
| Electricidad | 30 | kwh | 112 | \$/kWh | 3.360 | |

Fuente 56: Elaboración propia.

Figura 5.8: Distribución de costos semanal por tipo de energético. Situación inicial, casa N°1.



Fuente 57: Elaboración propia, en base a precios según principales proveedores.

5.4.1.5 Consumo energético en la vivienda para la calefacción

- **Consumo de energía bruta:**

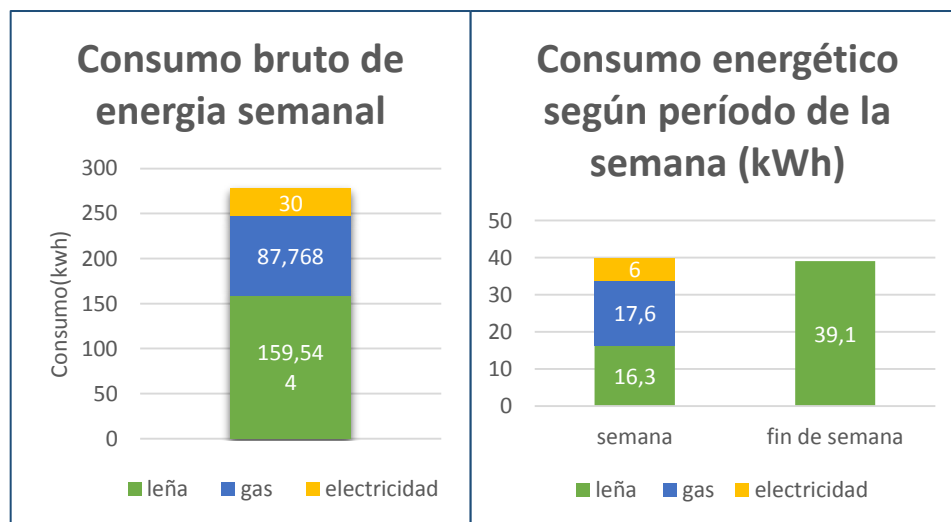
Corresponde a la energía consumida directamente por un artefacto para su funcionamiento. Para los combustibles se obtiene multiplicando la cantidad de energético consumido por su poder calorífico, en el caso de la electricidad corresponde solamente al consumo ya que esta es directamente una forma de energía.

Tabla 5.32: Consumo de energía bruta semanal vivienda N°1.

| Tipo de energético | Consumo semanal | Unidad | Factor de transformación (Poder Calorífico Inferior) | | Consumo energético bruto (kwh) | Consumo energético semanal (kwh) |
|---------------------------------|-----------------|--------|--|---------|--------------------------------|----------------------------------|
| Leña | 39.2 | kg | 4.07 | kwh/kg | 159.5 | 277.3 |
| Gas | 7.2 | kg | 12.2 | kwh/kg | 87.8 | |
| Electricidad (equipo existente) | 30 | kWh | 1 | Kwh/kwh | 30 | |

Fuente 58: Elaboración propia.

Figura 5.9: Consumo energético semanal por tipo de energético.



Fuente: elaboración propia, en base a los consumos obtenidos.

5.4.1.6 Energía útil entregada por el sistema de calefacción

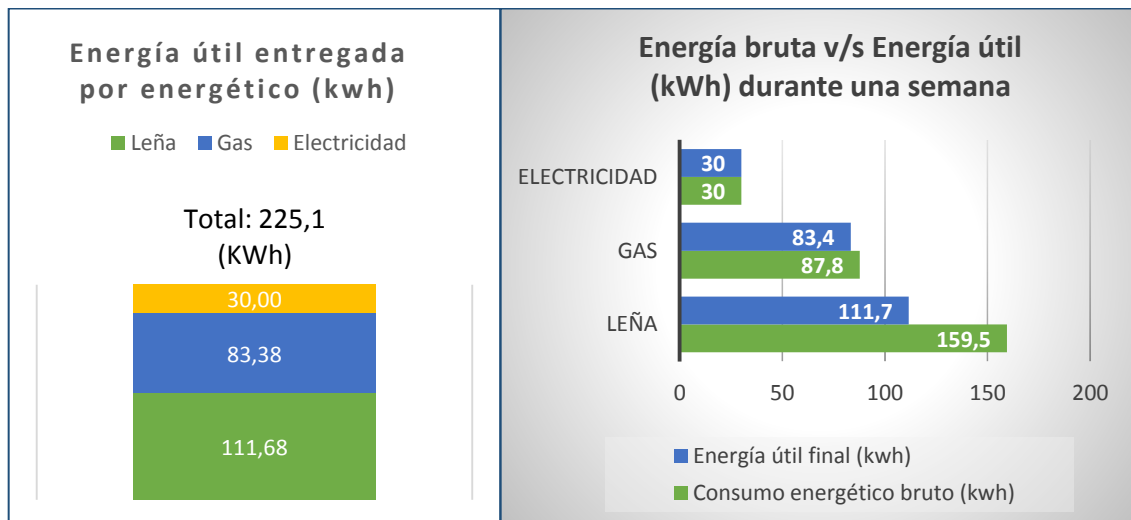
La energía útil como su nombre lo indica corresponde a la energía que entregan los equipos la cual servirá finalmente para calefaccionar un recinto. En este caso, se deben considerar los rendimientos de cada equipo ya que en sus procesos de conversión de energía en calor se presentan diversas pérdidas en los equipos a combustión, y en el caso de los equipos eléctricos, debido su funcionamiento la energía entregada puede ser mayor a la consumida.

Tabla 5.33: Energía útil entregada por los equipos para la calefacción.

| Tipo de energético | Consumo semanal | Unidad (consumo) | Consumo energético bruto (kwh) | Consumo energético semanal (kwh) | Rendimiento | Energía útil final (kwh) | Total semanal (KWh) calóricos | Costo de la energía útil (\$/KWh) |
|--------------------|-----------------|------------------|--------------------------------|----------------------------------|-------------|--------------------------|-------------------------------|-----------------------------------|
| leña | 39,2 | kg | 159,54 | 277,3 | 70% | 111,68 | 225,1 | 75,1 |
| gas | 7,2 | kg | 87,77 | | 95% | 83,38 | | |
| electricidad | 30,0 | kwh | 30,00 | | 100% | 30,00 | | |

Fuente 59: Elaboración propia.

Figura 5.10: Energía Útil entregada a la vivienda.



Fuente: Elaboración propia.

5.4.2 Situación actual

5.4.2.1 Costo del energético

Como se describió anteriormente, el costo de la energía es determinado por la tarifa fija establecida por ENEL DISTRIBUCIÓN según el tipo de vivienda y comuna, que en este caso corresponde a La tarifa BT1 con un cargo de \$112.4 por kilowatt-hora. IVA incluido.⁶⁰

5.4.2.2 Consumo energético en la vivienda para la calefacción

El consumo energético para la situación actual se determina directamente de la potencia consumida por los equipos, los que cuentan con sensores que captan las potencias instantáneas a las cuales se encuentran trabajando los equipos a intervalos de 10 minutos. Para fines del cálculo se considerará que dicha potencia se mantiene constante durante el periodo de tiempo mencionado.

Con el fin de comparar la situación actual con la inicial, se diferenciará entre los consumos durante los días de semana (lunes a viernes) y durante el fin de semana (sábado y domingo). Para el estudio se consideraron los datos entregados por el sistema entre los de junio y agosto del presente año 2016.

- **Energía bruta consumida por el equipo de aire acondicionado (bomba de calor):**

⁶⁰ Información obtenida de la página web del proveedor para el mes de julio del año 2016.

Ya que este equipo se encuentra en funcionamiento durante todo el día, se procedió a identificar los consumos acumulados al final de cada jornada. De esta forma, el consumo asociado para cada día, se determinó al obtener la diferencia entre los consumos acumulados para el día requerido y el consumo acumulado del día anterior.⁶¹

Tabla 5.34: Consumo semanal calefactor principal (bomba de calor)

| Consumos promedio calefactor principal – bomba de calor(kWh) | | | | | | |
|---|------------------------------|---------------------------------|-----------------------------|--------------------------------|-----------------------|--------------------------|
| semana | Consumo total días de semana | Consumo promedio días de semana | Consumo total fin de semana | Consumo promedio fin de semana | Consumo total semanal | Consumo promedio semanal |
| 1 | 45,24 | 35,17 | 16,37 | 11,91 | 61,61 | 47,09 |
| 2 | 46,62 | | 12,26 | | 58,88 | |
| 3 | 25,00 | | 3,80 | | 28,80 | |
| 4 | 23,83 | | 15,23 | | 39,06 | |

Fuente 60: Elaboración propia.

- **Energía bruta consumida por los paneles radiantes de muro:**

⁶¹Los datos fueron obtenidos a través de una plataforma virtual desarrollada por MAGNET para ENEL DISTRIBUCION donde los datos recopilados por los sensores fueron enviados vía remota.

A través de la misma metodología anteriormente descrita, también se determinó el consumo para cada uno de los calefactores secundarios.

Tabla 5.35: Consumo semanal calefactor secundario (panel radiante eléctrico)

| Consumos promedio equipos secundarios - radiadores de muro (kWh) | | | | | | |
|---|------------------------------|---------------------------------|-----------------------------|--------------------------------|-----------------------|--------------------------|
| semana | Consumo total días de semana | Consumo promedio días de semana | Consumo total fin de semana | Consumo promedio fin de semana | Consumo total semanal | Consumo promedio semanal |
| 1 | 63,35 | 67,07 | 21,15 | 34,04 | 84,50 | 101,11 |
| 2 | 60,83 | | 36,98 | | 97,81 | |
| 3 | 76,20 | | 29,60 | | 105,80 | |
| 4 | 67,89 | | 48,45 | | 116,33 | |

Fuente 61: Elaboración propia.

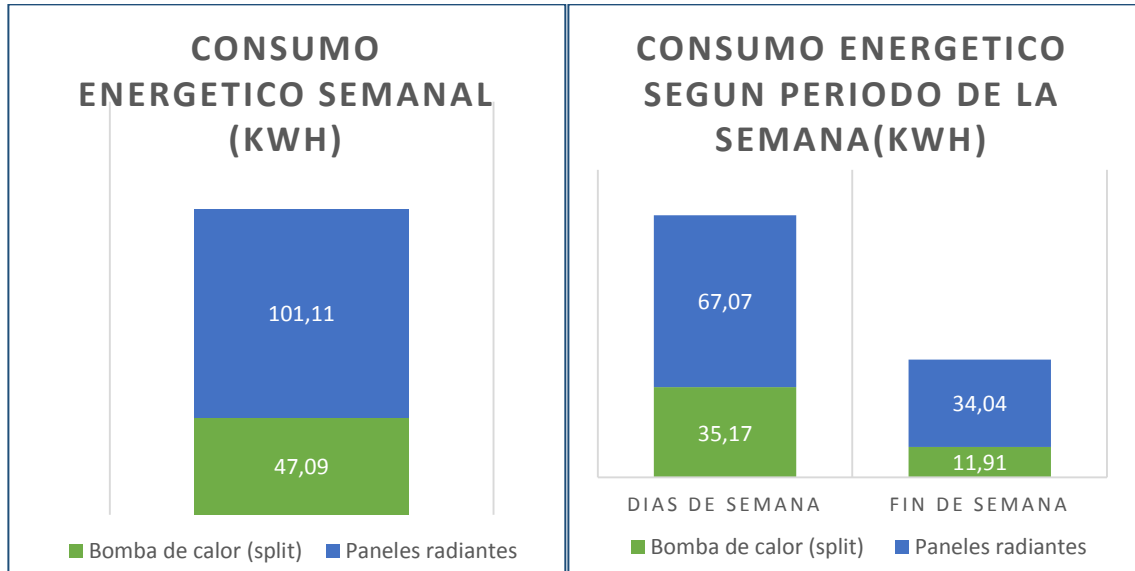
▪ **Consumo de energía bruta total:**

Tabla 5.36: Consumo de energía bruta total .Situación actual casa N°1.

| TIPO DE EQUIPO | CONSUMO PROMEDIO SEMANAL POR EQUIPO (KWH) | CONSUMO PROMEDIO SEMANAL TOTAL (KWH) |
|------------------------|---|--------------------------------------|
| BOMBA DE CALOR | 47,09 | 148,20 |
| PANEL RADIANTE DE MURO | 101,11 | |

Fuente 62: Elaboración propia.

Figura 5.11: Consumo energético semana situación actual casa N°1.



Fuente 63: Elaboración propia.

5.4.2.3 Energía útil entregada por el sistema de calefacción

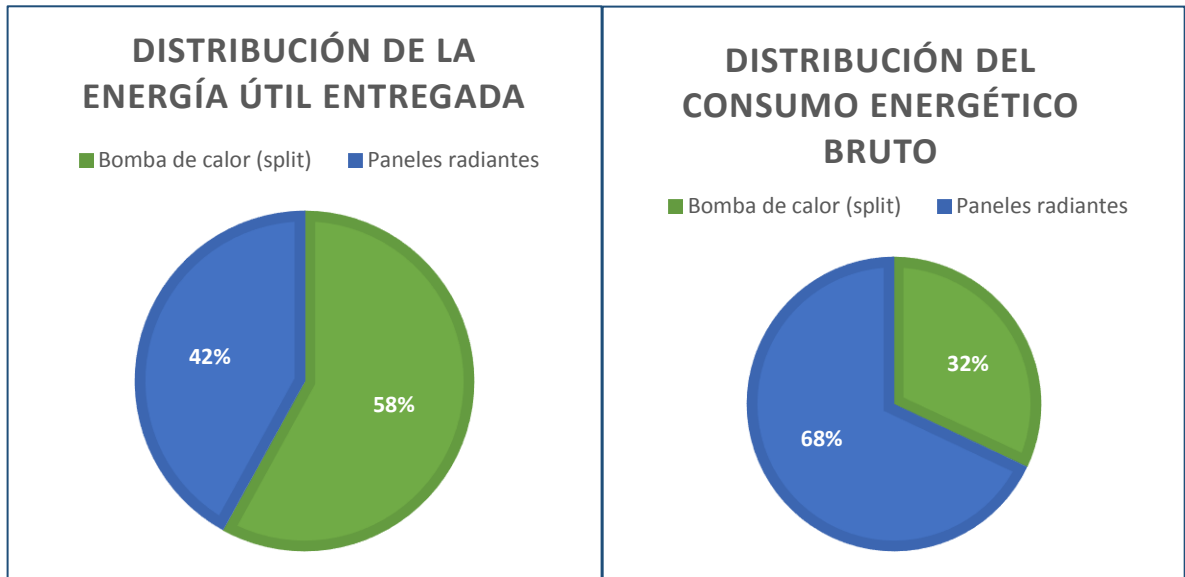
Corresponde a la energía que realmente entrega el sistema de calefacción al ambiente en términos de calor. Se puede observar que a pesar de que el equipo principal consume menos energía bruta que los secundarios, entrega una mayor cantidad de calor a las habitaciones como resultado de su principio de funcionamiento (bomba de calor).

Tabla 5.37: Energía útil entregada por los equipos de calefacción, situación actual, casa N°1.

| Equipo | Consumo semanal (kwh) | Rendimiento (%) | Energía útil (kwh) (calórica) | total semanal (kwh) |
|----------------------------|-----------------------|-----------------|-------------------------------|---------------------|
| Bomba de calor (A.C.Split) | 47,09 | 300% | 141,27 | 242,38 |
| Paneles radiantes | 101,11 | 100% | 101,11 | |

Fuente 64: Elaboración propia.

Figura 5.12: Consumo energético versus energía útil entregada por el sistema.



Fuente 65: Elaboración propia.

Tal como se expresó, anteriormente, se puede apreciar que a pesar de consumir considerablemente menos energía que los equipos secundarios, el calefactor principal a la larga entrega la mayor parte del calor, alcanzando más de un 60% del total.

5.4.2.4 Costo de la energía

El costo de la energía está determinado por su consumo y según la tarifa que le corresponde a la vivienda. A continuación se pueden observar los costos en dinero según el tipo de calefactor.

Tabla 5.38: Costo de la energía útil, situación Actual casa N°1.

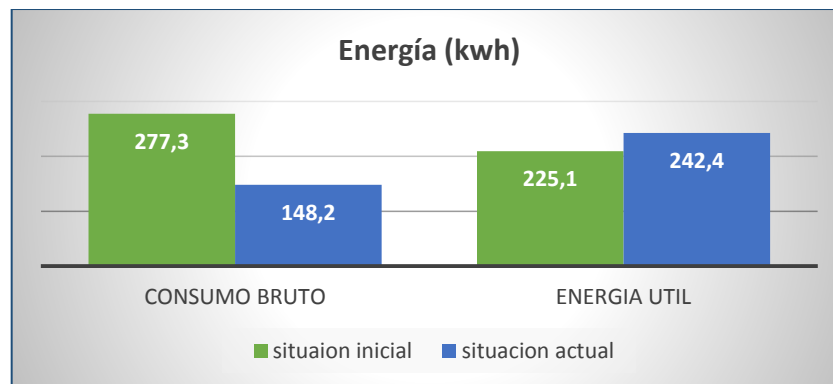
| Equipo | Consumo semanal (kwh) | Rendimiento (%) | Energía útil (kwh) (calórico) | Total energía útil semanal (kwh) | Precio de la energía (\$/kWh) | Costo de la energía semanal (\$) | Costo de la energía útil (\$/kwh) |
|------------------------|-----------------------|-----------------|-------------------------------|----------------------------------|-------------------------------|----------------------------------|-----------------------------------|
| Bomba de calor (Split) | 47,09 | 300% | 141,27 | 242,38 | 112,4 | 16.657,68 | 68,73 |
| Paneles radiantes | 101,11 | 100% | 101,11 | | | | |

Fuente 66: Elaboración propia.

5.4.3 Comparación de sistemas de calefacción según situación

- Comparación de consumo energético bruto de la vivienda en las diferentes situaciones en contra de la energía útil entregada por los sistemas de calefacción.

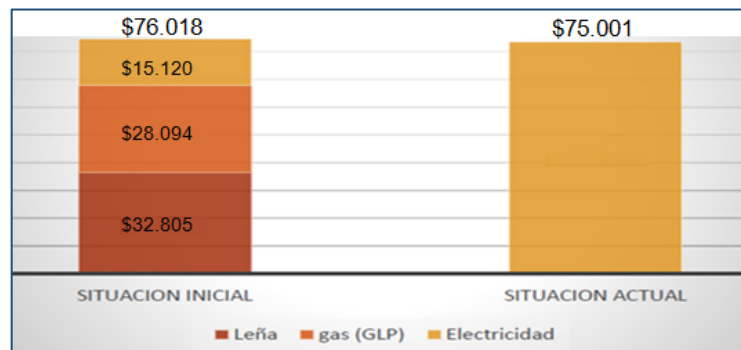
Figura 5.13: Comparación de consumo versus energía entregada por semana.



Fuente 67: Elaboración propia.

En la figura 5.13, se puede observar que el consumo de energía bruta (energéticos consumidos) ha tendido a disminuir con el cambio en un 46.6% aproximadamente. La energía útil entregada supera el nivel de la situación inicial, dando cuenta de la eficiencia del sistema.

Figura 5.14: Comparación de costos mensuales en las situaciones.



Fuente 68: Elaboración propia.

En tanto que en la figura 5.14 se observa que los gastos en calefacción en general se mantienen, observándose sólo una leve disminución mensual.

Otro parámetro a destacar es el costo de la energía útil con el cual se puede apreciar cuánto dinero gasta realmente la familia por el concepto de la energía utilizada para calefacción. En la situación inicial correspondía a \$75 por kWh calórico aproximadamente. En tanto que post recambio, disminuyó a \$ 69 por kWh calórico.

5.5 Análisis energético y costos asociados, vivienda piloto N°2

5.5.1 Situación inicial

En un principio, previo a la instalación de los equipos provistos por ENEL DISTRIBUCIÓN, la vivienda tuvo dos sistemas de calefacción diferentes en distintos periodos de tiempo:

- Período 1: Entre los años 2010 y 2015, la familia utilizó sólo **leña** para calefaccionar el hogar en su totalidad.
- Período 2: A partir del año 2015, en pos de una motivación propia en favor de la descontaminación, se cambia el sistema utilizado a base de leña por uno compuesto por dos equipos y energéticos diferentes:
 - Estufa a gas (GLP)
 - Estufa a parafina (kerosene)

En términos de patrones de uso de calefacción, es importante mencionar que debido al ritmo de vida familiar, el régimen de utilización de los equipos es similar tanto en los días de semana como en los fines de semana, por lo que no es relevante realizar una diferenciación en este sentido, a diferencia de la vivienda piloto N°1.

5.5.1.1 Régimen de uso de los calefactores

De acuerdo a información entregada por los jefes de hogar, se considera que el horario de utilización para cualquiera de los equipos de calefacción en ambos períodos corresponde al siguiente.⁶² :

- Hora de encendido de equipos: 17:30 hr
- Hora de pagado de equipos: 00:00hr

Se debe destacar que en el caso de la leña, se considera la última carga a las 23:00 hr, la cual se consume por completo alrededor de la 00:00hr.

En resumen, se observa que las horas semanales de utilización de los energéticos según los distintos escenarios es la siguiente:

Tabla 5.39: Régimen de uso de calefacción situación inicial periodo uno casa N°2.

| Periodo | Energético utilizado | Horas de uso por día | Total horas de uso semanal |
|---------|----------------------|----------------------|----------------------------|
| 1 | LEÑA | 7 | 49 |
| 2 | GAS(GLP) | 7 | 49 |
| | KEROSSENE | 7 | 49 |

Fuente 69: Elaboración propia.

⁶² Véase anexo F. Para régimen de utilización de los según las horas diarias de ocupación.

5.5.1.2 Consumo de energéticos

Como se mencionó anteriormente, en su situación inicial previa al recambio de equipos, existen dos períodos diferentes en términos de sistemas de calefacción y energéticos utilizados:

- Período N°1
 - Exclusivamente leña
- Período N°2
 - Gas licuado (GLP)
 - Kerosene (Parafina)

La cuantificación del consumo se realizará para una semana según las horas promedio de uso diario calculadas para cada equipo y las características correspondientes a los mismos.

- **Período N°1:**
 - **Leña:** Según las características técnicas del calefactor a leña obtenidas del proveedor, la tasa de quemado corresponde a un valor entre 1 kg/hr y 3 kg/hr dependiendo de la potencia de funcionamiento del equipo. Por otro lado, según información entregada por el jefe de hogar (quien operaba generalmente el equipo), en que este declara utilizar siempre el equipo en su máxima capacidad. Para este caso, debido al uso extensivo del equipo, se considerará el límite superior (2.5 kg/hr). Con esta información junto a las 49 horas de uso por semana se estima que el calefactor consume **122,5 kilos de leña por semana.**

- **Período N°2**

- **Gas licuado (GLP):** El consumo promedio para estufas de este tipo va desde 220 gr/hr a 300 gr/hr. Se considera en este caso un consumo de 229 gr/hr, ya que según la cantidad consumida declarada por la familia (3 cilindros de 15 Kg por mes) junto a las 49 horas de uso por semana se obtiene un consumo para la estufa de **11,2 kilogramos de gas por semana o 44,9 kg/mes**, lo que concuerda con la declaración.
- **Kerosene:** Según las características técnicas del calefactor obtenidas del proveedor, el consumo para el equipo utilizado corresponde a un valor entre 0,11 l/hr y 0,406 l/hr dependiendo de la potencia de funcionamiento del equipo. Se considera en este caso el máximo consumo (0,406 L/hr) que junto a las 49 horas de uso por semana declaradas por la familia, arroja un consumo para la estufa de **19,89 litros de kerosene por semana**, lo que concuerda con la cantidad consumida declarada por la familia (1 bidón de 20 litros por semana).

A continuación se observan los consumos de energéticos para cada periodo:

Tabla 5.40: Consumo de energéticos, situación inicial, periodo 1, Casa N°2.

| Periodo | Energético utilizado | Total horas de uso semanal | Consumo por hora (kg) | Consumo semanal | Unidad |
|---------|----------------------|----------------------------|-----------------------|-----------------|--------|
| 1 | LEÑA | 49 | 2,50 | 122,5 | Kg |
| 2 | GAS(GLP) | 49 | 0,23 | 11,27 | Kg |
| | KEROSENE | 49 | 0,41 | 20,09 | L |

Fuente 70: Elaboración propia.

5.5.1.3 Costo de los energéticos

En el período de calefacción a leña, ésta era adquirida mediante un proveedor particular y de manera informal a diferencia del segundo escenario, en que según información entregada por los principales proveedores se estimó el costo promedio por energético.

5.5.1.3.1 Precios de venta

- Leña⁶³:

Tabla 5.41: Precio de venta para la leña en la vivienda N°2.

| Proveedor | Precio por Kg (\$) |
|---------------------|--------------------|
| Particular informal | 80 |

Fuente 71: Elaboración propia.

- Gas licuado (GLP)⁶⁴:

Tabla 5.42: Precio de venta para GLP en la vivienda N°2.

| Proveedor | Precio 15 kg (\$) | Precio promedio(\$) |
|-----------|-------------------|---------------------|
| GASCO | 12.900 | 13.000 |
| ABASTIBLE | 13.900 | |
| LIPIGAS | 12.200 | |

Fuente 72: Elaboración propia.

⁶³ El valor del precio de venta fue declarado directamente por el jefe de hogar.

⁶⁴ El valor del precio de venta tanto para el gas como para el kerosene, fue obtenido del listado oficial de proveedores proporcionados por el gobierno a través de su página web: www.gasenlinea.gob.cl, para el mes de julio de 2016, en la comuna de Maipú. Todos los valores se encuentran con IVA incluido.

- Kerosene :

Tabla 5.43: Precio de venta para kerosene en la vivienda N°2.

| Proveedor | Precio por litro (\$) | Precio promedio (\$) |
|-----------|-----------------------|----------------------|
| COPEC | 590 | 595 |
| PETROBRAS | 580 | |
| SHELL | 615 | |

Fuente 73: Elaboración propia.

5.5.1.4 Gastos semanales

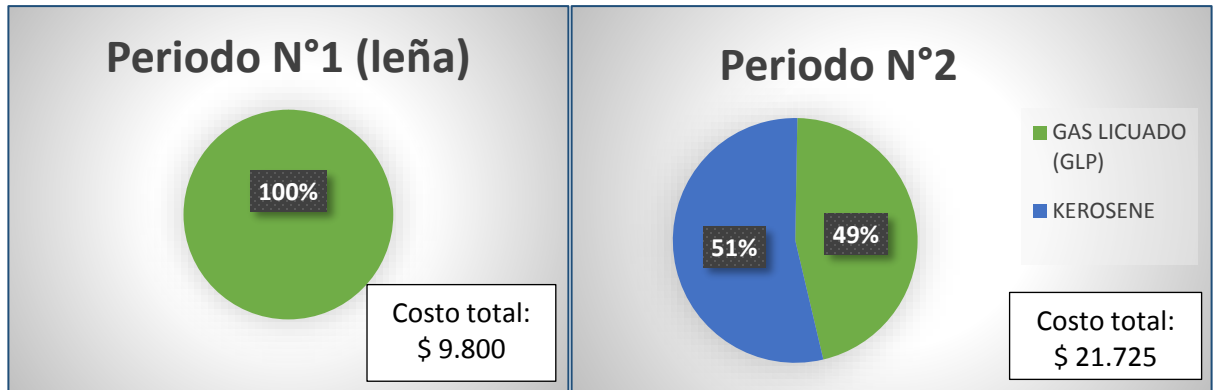
De acuerdo a los valores anteriores, el costo semanal para la vivienda piloto en cada período es el que sigue:

Tabla 5.44: Costos semanales por periodo, situación inicial, casa N°2.

| Escenario | Tipo de energético | Consumo semanal | Unidad | Precio unitario | Unidad | Costo semanal (\$) | Total semanal(\$) |
|-----------|--------------------|-----------------|--------|-----------------|--------|--------------------|-------------------|
| PN°1 | leña | 122,5 | kg | 80 | \$/kg | 9800 | 9800 |
| PN°2 | gas | 11,27 | kg | 867 | \$/kg | 9.771,1 | 21.725 |
| | Kerosene | 20,09 | L | 595 | \$/L | 11.953,6 | |

Fuente 74: Elaboración propia.

Tabla 5.45: Distribución de uso de energéticos por periodo.



Fuente 75: Elaboración propia.

Se puede apreciar que entre ambos periodos, el gasto en calefacción total aumenta en un 120% principalmente debido al menor precio de la leña respecto del de los otros combustibles.

5.5.1.5 Consumo de energía en la vivienda

- Consumo de energía bruta:

Corresponde a la energía real consumida directamente por el artefacto en su funcionamiento. Para los combustibles se obtiene multiplicando la cantidad de energético consumido por su poder calorífico, en el caso de la electricidad corresponde solamente al consumo ya que esta es directamente una forma de energía.

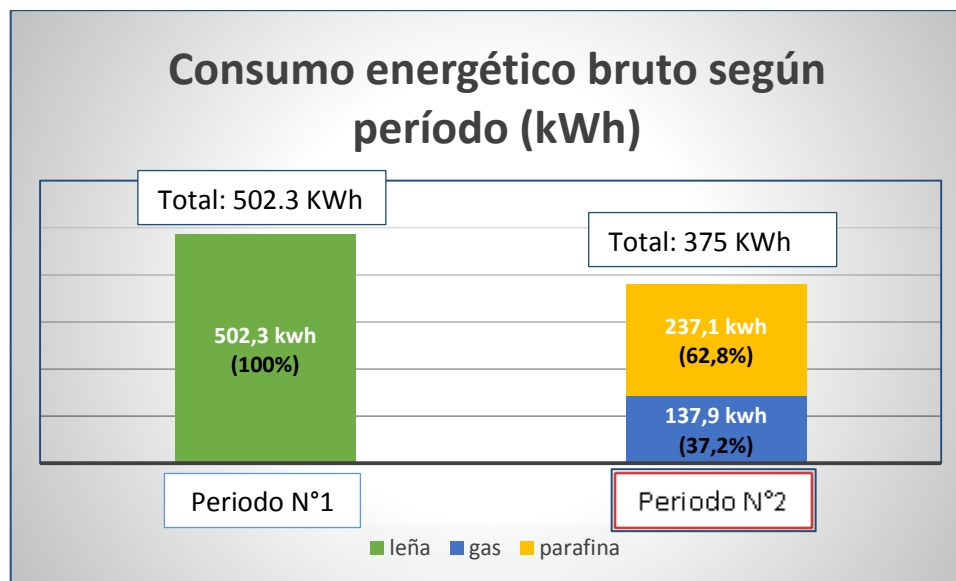
En la siguiente tabla se muestran los resultados obtenidos y a continuación su comparación según tipo de combustible:

Tabla 5.46: Consumo energético semanal por periodo y tipo de energético.

| Período | tipo de energético | consumo semanal | unidad | Factor de transformación | | consumo energético bruto (kwh) | consumo energético semanal (kwh) |
|---------|--------------------|-----------------|--------|---------------------------|---------|--------------------------------|----------------------------------|
| | | | | Poder Calorífico Inferior | | | |
| N°1 | Leña | 122,5 | kg | 4,1 | kwh/kg | 502,3 | 502,3 |
| N°2 | Gas | 11,3 | kg | 12,2 | kwh/kg | 137,9 | 375 |
| | Kerosene | 20,1 | L | 11,8 | Kwh/kwh | 237,1 | |

Fuente 76: Elaboración propia.

Figura 5.15: Consumo energético bruto semanal por periodo y tipo de energético.



Fuente 77: Elaboración propia.

5.5.1.6 Energía útil entregada por el sistema

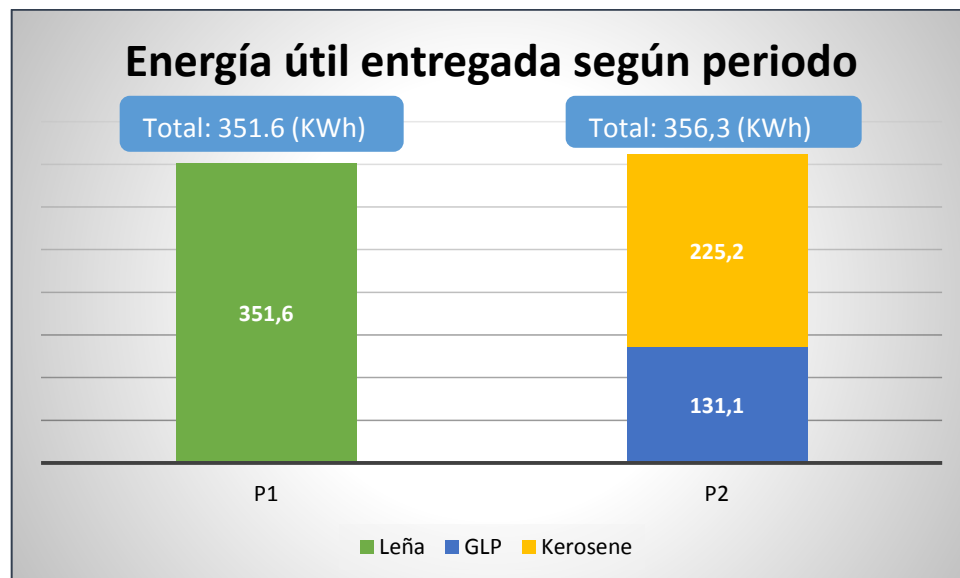
En este caso, se deben considerar los rendimientos de cada equipo ya que en sus procesos de conversión de energía en calor se presentan diversas pérdidas.

Tabla 5.47: Energía útil entregada por los sistemas de calefacción en cada periodo.

| Periodo | Tipo de energético | Consumo semanal | Unidad | Consumo energético bruto (kwh) | Consumo energético semanal (kwh) | Rendimiento (%) | Energía útil final (kwh) | total semanal (kwh) calóricos | Costo de la energía útil (\$) |
|---------|--------------------|-----------------|--------|--------------------------------|----------------------------------|-----------------|--------------------------|-------------------------------|-------------------------------|
| P N°1 | Leña | 122,5 | kg | 502,3 | 502,3 | 70% | 351,6 | 351,6 | 28 |
| P N°2 | Gas | 11,3 | kg | 137,9 | 375 | 95% | 131,1 | 356,3 | 61 |
| | kerosene | 20,1 | L | 237,1 | | 95% | 225,2 | | |

Fuente 78: Elaboración propia.

Figura 5.16: Energía útil entregada por los sistemas de calefacción por energético en cada periodo.



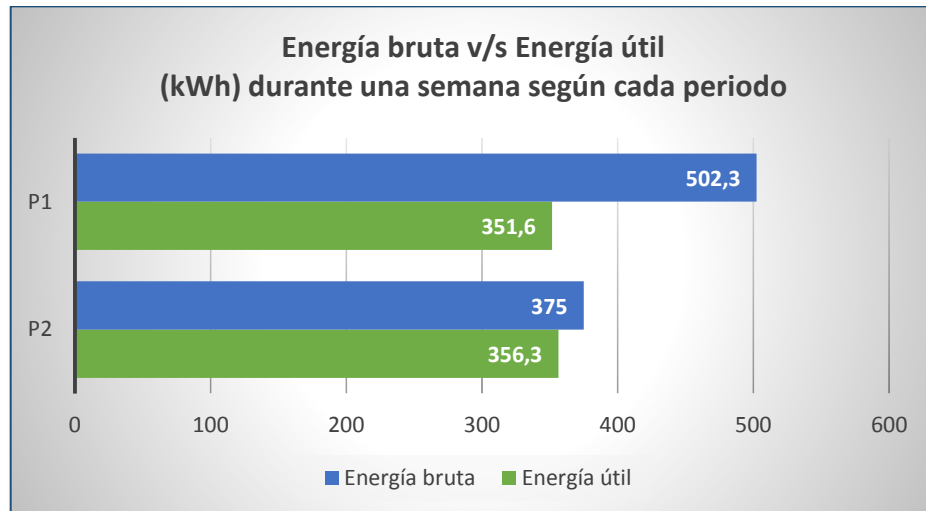
Fuente 79: Elaboración propia.

Se puede apreciar un leve aumento en 5 kWh semanales entre un período y otro, equivalente a un incremento de 1% en el consumo de energía. Es interesante notar que, a pesar de que el consumo bruto de energía en el período n° 1 era mayor debido a las menores eficiencias de los sistemas calefactores a leña respecto a los de GLP y kerosene (al no poseer escape de gases), la energía final entregada fue muy similar.

Es importante mencionar también que, en el período n°2, la calidad del aire interior es peor que en el caso del período 1. Esto, debido a la no existencia de escape de gases lo que genera mayores contaminantes y humedad al interior del hogar. Por otro lado, la leña genera mayor contaminación extra domiciliaria (PM 2,5), a diferencia de los calefactores a GLP y kerosene. Estas diferencias son sólo mencionadas, pero no se han cuantificado para el marco de este estudio.

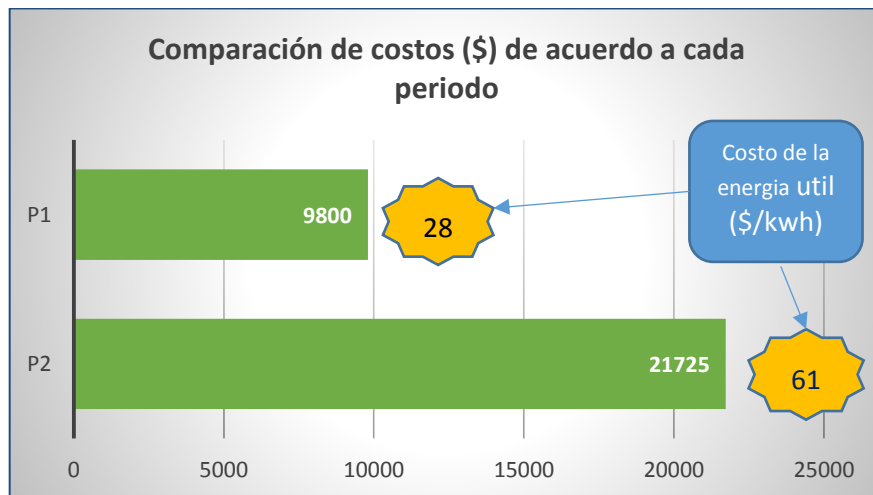
A continuación, se puede apreciar la comparación general entre los distintos escenarios en cuanto a energía bruta, energía útil y costos.

Figura 5.17: Energía útil vs energía bruta en cada periodo



Fuente 80: Elaboración propia.

Figura 5.18: Comparación de costos semanal para cada periodo



Fuente 81. (Elaboración propia)

Como se puede observar en las gráficas anteriores, la energía útil entregada por la leña es ligeramente menor que la entregada por los calefactores a GLP y kerosene a pesar de su mayor consumo de leña, en términos de energía bruta. Sin embargo, debido al sustancial menor costo de la leña respecto a las otras alternativas, el gasto mensual es menor.

5.5.2 Situación actual

El cálculo de los consumos energéticos correspondientes a esta situación será realizado en base a encuestas relacionadas con tiempo de uso de cada equipo junto con las especificaciones técnicas para el consumo eléctrico de estos.

Es importante mencionar que además de los equipos eléctricos implementados, la familia declara complementar su calefacción con los equipos utilizados con anterioridad (calefactores a kerosene y GLP) durante algunas horas en los días más fríos.

5.5.2.1 Régimen de uso de calefactores

De acuerdo a la información proporcionada por los jefes de hogar, el régimen diario de utilización de los equipos es el siguiente:

- Split (bomba de calor): 7 horas diarias.
- Radiadores eléctricos: 5 horas diarias.
- Estufa (GLP): 2 horas diarias.
- Estufa (Kerosene): 2 horas diarias.

De acuerdo a lo declarado por los usuarios, los equipos de combustión (ambas estufas) sólo son utilizados 4 días por semana.

Con la información anterior sobre el régimen diario de calefacción se establecen las horas de uso semanales para cada equipo.

Tabla 5.48: Régimen semanal de horas de uso de calefactores.

| Equipos utilizados | Energético utilizado | Horas de uso por día | Total horas de uso semanal |
|----------------------------------|----------------------|----------------------|----------------------------|
| A.C (Bomba de calor) | Electricidad | 7 | 49 |
| Paneles radiantes | Electricidad | 5 | 35 |
| Estufa 1 ⁶⁵ (inicial) | GLP | 2 | 8 |
| Estufa 2 (inicial) | Kerosene | 2 | 8 |

Fuente 82: Elaboración propia.

5.5.2.2 Consumo de energéticos

Debido a errores en el sistema de medición la cuantificación del consumo se realizará para una semana según las horas de uso diario calculadas para cada equipo y las características correspondientes a los mismos.

- **Paneles radiantes:** para la estimación del consumo de estos equipos se considerará una potencia de uso promedio de **900 Watts** de acuerdo al funcionamiento del mismo tipo de equipos en la vivienda piloto anterior.

⁶⁵ Las estufas a GLP y kerosene, son usadas sólo 2 horas al día, y 4 días a la semana.

- **Estufa GLP:** Según el régimen de uso indicado en el periodo 2 de la situación inicial el consumo por cada hora corresponde a **0.24 Kg.**⁶⁶
- **Estufa kerosene:** Según el régimen de uso indicado en el periodo 2 de la situación inicial el consumo por cada hora corresponde a **0.41 litros.**⁶⁷
- **Bomba de calor (SPLIT):** Para este caso específico debido al funcionamiento del equipo no es comparable directamente con su homólogo en la vivienda N°1

A cusa de lo anterior, se realizará una correlación entre la energía útil de cada vivienda y en cada situación ya que ésta corresponde a la energía necesaria para mantener calefaccionadas las viviendas según el criterio de cada familia.

Se considerará que la variación de energía útil necesaria para cada vivienda será proporcional en cada una de las situaciones. Así, conociéndose la energía útil para esta situación, se podrá determinar el consumo y costos correspondientes a la bomba de calor.

A continuación se presentan los consumos de energético para cada equipo.

⁶⁶ valor obtenido en base a la declaración del combustible consumido y las horas de uso declaradas por la familia para la situación inicial.

⁶⁷ Ídem.

5.5.2.2.1 Consumo energético de equipos eléctricos

El consumo de este tipo de equipos es calculado según las horas de utilización y las diferentes potencias que permiten su funcionamiento.

Tabla 5.49: Consumo semanal equipos eléctricos.

| Equipo | Tipo de potencia | Valor de la potencia (W) | Horas de uso por día | Horas de uso semanal | Consumo semanal (Wh) | Consumo total semanal (KWh) |
|-------------------|------------------|--------------------------|----------------------|----------------------|----------------------|-----------------------------|
| Paneles radiantes | De uso | 900 | 5 | 35 | 31500 | 31,5 |

Fuente 83: Elaboración propia.

5.5.2.2.2 Equipos de combustión

Al igual que en la situación inicial de la vivienda, el consumo de energéticos está dado por la horas de uso de los equipos, la potencia de utilización y el poder calorífico del combustible.

Tabla 5.50: Consumo semanal equipos de combustión.

| Equipo | Energético utilizado | Total horas de uso semanal | Consumo por hora (Kg) | Consumo semanal | Unidad |
|--------|----------------------|----------------------------|-----------------------|-----------------|--------|
| Estufa | GAS(GLP) | 8 | 0,24 | 1,92 | Kg |
| | KEROSENE | 8 | 0,41 | 3,28 | L |

Fuente 84: Elaboración propia.

5.5.2.3 Costo de los energéticos

5.5.2.3.1 Energía eléctrica

En este caso la tarifa utilizada en la vivienda corresponde a un tipo de tarifa flexible en que se realiza un 30% de cargo adicional entre las 18:00 hrs y las 22:00 hrs junto con un descuento de un 30% entre las 22:00 y las 8:00 hrs. Este cargo adicional o descuento es aplicado en base a la tarifa BT1 con un cargo de \$112.4 por kilowatt-hora IVA incluido. (Información obtenida de la página web del proveedor para el mes de julio del año 2016).

5.5.2.3.2 Combustibles

Los valores de los precios de los energéticos combustibles son los correspondientes a los de la situación inicial en esta vivienda indicados en el inciso: 5.5.1.3.1 "Precios de venta".

5.5.2.4 Consumo de energía en la vivienda (sin consideración de bomba de calor)

- Consumo de energía bruta:

Como ya se ha mencionado, corresponde a la energía consumida directamente por un artefacto para su funcionamiento. Para los combustibles, se obtiene multiplicando la cantidad de energético consumido por su poder calorífico. Y en el caso de la electricidad, corresponde solamente al consumo ya que ésta es directamente una forma de energía.

A continuación se presentan los resultados obtenidos para el consumo bruto de energía:

Tabla 5.51: Consumo de energía bruta.

| Escenario | Tipo de energético | Consumo semanal | Unidad | Factor de transformación | | Consumo energético bruto (kwh) | Consumo energético semanal (kwh) |
|-------------------|--------------------|-----------------|--------|---------------------------|---------|--------------------------------|----------------------------------|
| | | | | Poder Calorífico Inferior | | | |
| Paneles radiantes | Electricidad | 31,5 | Kwh | n/a | n/a | 31,5 | 93,628 |
| Estufas | Gas | 1,92 | Kg | 12,2 | kwh/kg | 23,424 | |
| | Kerosene | 3,28 | L | 11,8 | Kwh/kwh | 38,704 | |

Fuente 85: Elaboración propia.

5.5.2.5 Energía útil entregada por el sistema (sin consideración de bomba de calor)

Corresponde a la energía que realmente entrega el sistema de calefacción al ambiente en forma de calor.

Tabla 5.52: Energía útil entregada por los sistemas de calefacción.

| Escenario | tipo de energético | consumo energético bruto (kwh) | consumo energético semanal (kwh) | Rendimiento (%) | Energía útil final (kwh) | total semanal (kwh) calóricos |
|-------------------|--------------------|--------------------------------|----------------------------------|-----------------|--------------------------|-------------------------------|
| Paneles radiantes | Electricidad | 31,5 | 93,628 | 100% | 31,50 | 90,52 |
| Estufas | Gas | 23,424 | | 95% | 22,25 | |
| | Kerosene | 38,704 | | 95% | 36,77 | |

Fuente 86: Elaboración propia.

5.5.2.6 Correlación para la obtención de la energía útil total

Tabla 5.53: Correlación para la obtención de la energía útil total.

| | Vivienda 1 | Vivienda 2 | % de aumento |
|-------------------|------------|------------|--------------|
| Situación Inicial | 209,1 Kwh | 361,5 Kwh | 73% |
| Situación actual | 242,4 Kwh | 419,1 Kwh | 73% |

Fuente 87: Elaboración propia.

Se puede apreciar que en su situación inicial la vivienda 2 presenta un 73% más de energía útil que la vivienda 1. Considerando este mismo porcentaje para la situación actual podemos establecer que la vivienda número dos percibirá 419,1 KWh de energía útil.

Con esta información podemos obtener los consumos particulares para la bomba de calor, considerando un rendimiento de un 300%.

- Energía útil entregada por la bomba de calor: 328.6 KWh (Calóricos)
- Energía bruta consumida por la bomba de calor: 109.5 KWh (Eléctricos)

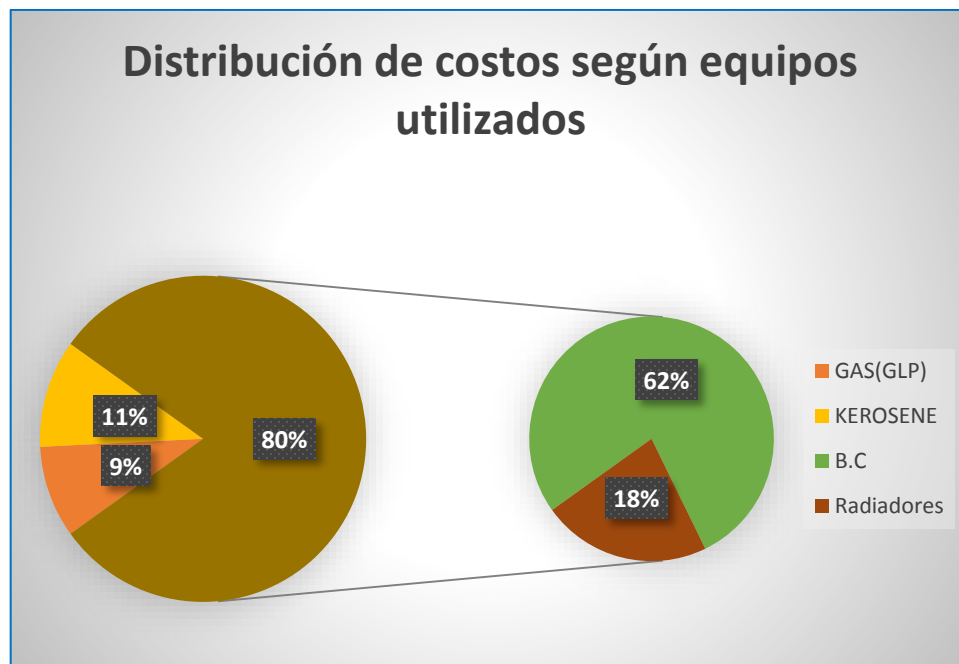
Gracias a estos datos, podemos obtener los consumos para todos los equipos involucrados y su costo asociado. En la siguiente tabla se pueden observar los resultados de los consumos.

Tabla 5.54: Costos totales semanales.

| Equipo | Energético utilizado | Consumo semanal | Unidad | Precio unitario | Unidad | Costo semanal (\$) | Total semanal(\$) |
|-------------------|----------------------|-----------------|--------|-------------------|--------|--------------------|-------------------|
| Bomba de calor | Electricidad | 109,5 | kWh | VAR ⁶⁸ | \$/kWh | 11.385 | 18.277 |
| Paneles radiantes | electricidad | 31,5 | kWh | VAR ⁶⁹ | \$/kWh | 3.275 | |
| Estufa | GAS(GLP) | 1,92 | Kg | 867 | \$/Kg | 1.664,6 | |
| | KEROSENE | 3,28 | L | 595 | \$/L | 1.951,6 | |

Fuente 88: Elaboración propia.

Figura 5.19: Distribución de costos según equipo utilizado



Fuente 89: Elaboración propia.

⁶⁸ Corresponde a la tarifa flexible en este caso se considera que aun 37.5% del consumo se le aplica el sobre precio del 30% y a un 62.5% del consumo el descuento del 30% según el horario de utilización de los equipos.

⁶² Ídem.

5.5.2.6.1 Costo de la energía útil

Conociendo el costo de la energía útil para el nuevo sistema de calefacción, se puede estimar cuánto dinero se gasta efectivamente por concepto de la energía entregada para calefaccionar la vivienda. Con esto se puede realizar una comparación de costo y energía respecto de otros sistemas.

Figura 5.20: Costo de la energía útil

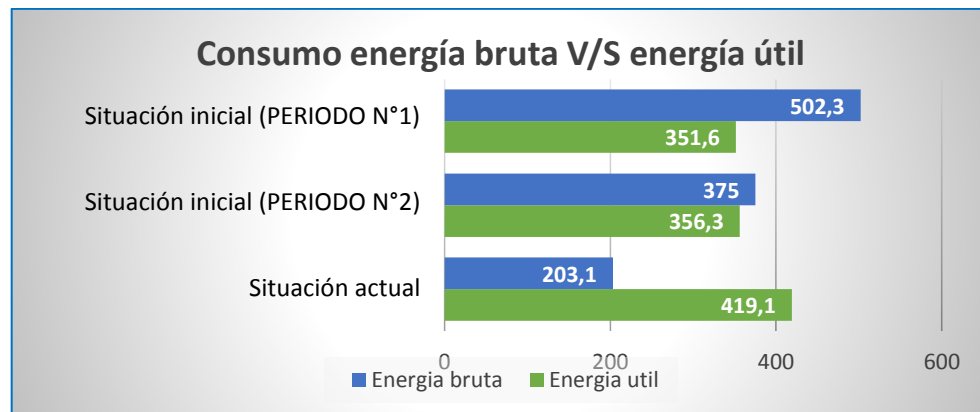
| Costo total semanal(\$) | Energía útil final semanal (kwh) calóricos | Costo de la energía útil (\$/Kwh) |
|-------------------------|--|-----------------------------------|
| 18.277 | 419,1 | 47 |

Fuente 90: Elaboración propia.

5.5.3 Comparación de sistemas de calefacción según situación

- Comparación de consumo energético bruto de la vivienda en las diferentes situaciones con la energía útil entregada por los sistemas de calefacción.

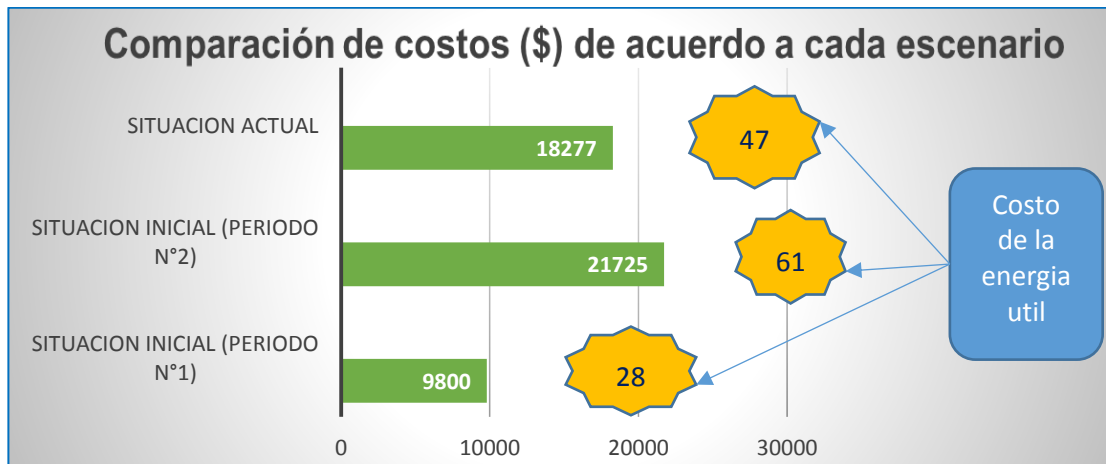
Figura 5.21: Consumo de energía bruta vs energía útil para cada situación.



Fuente 91: Elaboración propia.

- Comparación de costos semanales para cada sistema de calefacción y el costo de la energía útil

Figura 5.22: Comparación de costos de acuerdo a cada Situación.



Fuente 92: Elaboración propia.

En términos de gasto en calefacción, se observa que éstos fueron menores tanto en el período 1 (leña), como en la situación actual. Durante el período 2, los gastos fueron mayores (casi el doble del período 1). Sin embargo, si se compara el período 1 y el actual se observa en este último una menor generación de energía útil, lo que puede ser debido a un uso excesivo de calefacción en los períodos anteriores, o un déficit de calefacción en la situación actual (esto se analizará en detalle en la sección de estimación de temperatura). En todo caso, el menor costo unitario (costo de energía / energía útil entregada) lo presenta la leña (período 1) seguido de la situación actual (mix electricidad, GLP y kerosene). Es importante mencionar que si se utilizase sólo tecnologías de bomba de calor, es probable que el costo unitario fuese menor en la situación actual que en el caso con leña (período 1), pero debido al uso de tecnologías de menor eficiencia, esto no ocurre.

5.3 Estimación de la temperatura interior de las viviendas

La temperatura del ambiente es una de las principales variables a considerar cuando hablamos de confort térmico. Se puede decir que existe confort térmico cuando las personas no experimentan sensaciones de calor o frío. Para que esta sensación térmica sea ideal se debe contar con una temperatura óptima, comúnmente conocida como temperatura de confort la cual depende de 4 factores principales:

- Temperatura del aire
- Humedad del aire
- Movimiento del aire
- Temperatura superficial de elementos interiores

La temperatura del aire a la cual el cuerpo humano se siente en equilibrio térmico es de aproximadamente 20°C. Este valor fue obtenido tras la realización de varias experiencias en países desarrollados. Si bien, se pueden observar ciertas variaciones en esta temperatura relacionados a diferentes factores como: la edad, el sexo o la alimentación de los individuos. Este valor no variará más de 2 °C.

Tanto la variación de la humedad como del movimiento del aire, provoca cambios en la sensación térmica de modo que la temperatura de confort varía. El movimiento del aire influye provocando la evaporación del sudor sobre la piel logrando que esta se enfríe. Esto resulta en una sensación térmica inferior (efecto de la utilización de un ventilador).

En el caso de la humedad del aire, este influye de forma contraria ya que a mayor cantidad de humedad es más difícil evaporar el sudor lo cual incrementa la sensación térmica (calor)

A pesar de los posibles cambios en estos factores, al considerar un lugar cerrado como las viviendas evaluadas en este estudio, se puede esperar que dichas variaciones sean pequeñas, así la temperatura de confort para que los habitantes de las viviendas se sientan en equilibrio térmico se considerará en el rango de 18°C a 22°(20°C +/- 2°C).

En este contexto, a continuación se realizará la estimación de las temperaturas internas en las viviendas piloto con el objetivo de establecer dichas temperaturas; como parámetros para evaluar el aumento o la disminución del confort entregado por los sistemas de calefacción implementados en el recambio, versus los utilizados anteriormente.

Como se mencionó anteriormente, utilizando la expresión para la estimación de la demanda energética y conociendo el valor de la misma calculado con anterioridad en base a la utilización de quipos para la calefacción, su rendimiento y el poder calorífico de los combustibles es posible despejar de dicha ecuación la temperatura interna de la vivienda dada por el factor de la temperatura base contenida en el parámetro e los grados día (GD).obteniendo la expresión dada por la ecuación (Ec 4.15),

$$T_{interior} = \frac{(Dda + GT) * 1000}{Gv_2 * V * N * 24} + T_{exterior} [^{\circ}C]$$

La cual es una modificación de la fórmula matemática utilizada por el sistema de calificación energética de MINVU para la estimación de la demanda energética, la cual es posible aplicar conociendo el requerimiento térmico de cada vivienda, calculado en este estudio como el consumo energético en términos de calefacción, es decir, el calor útil aportado por los sistemas de calefacción evaluados en secciones anteriores.

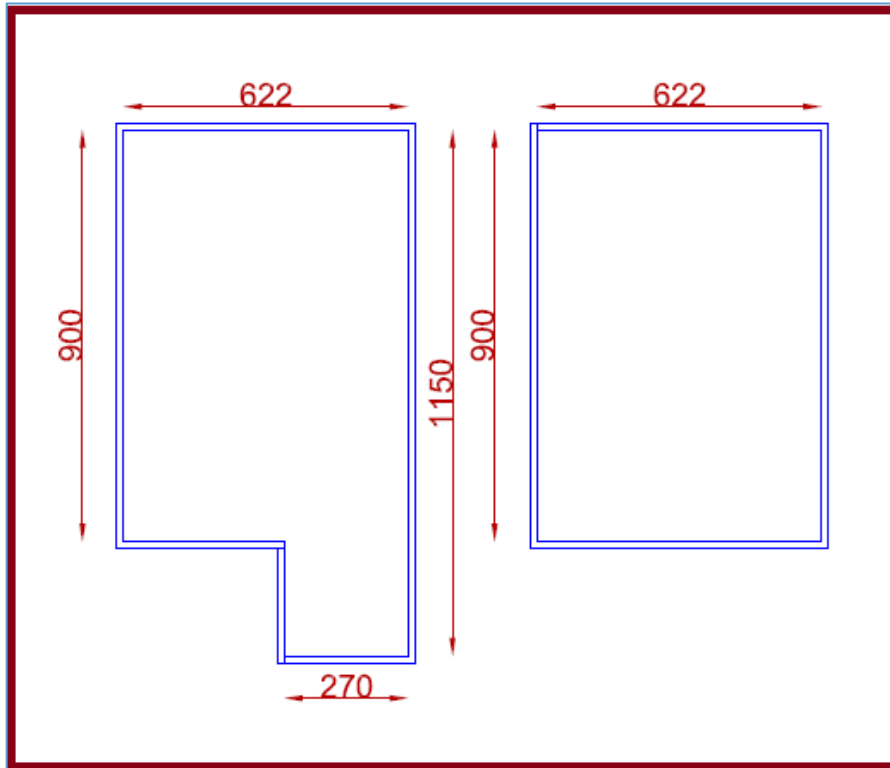
5.3.1 Calculo de perdidas volumétricas globales (GV1)

Este tipo de pérdidas corresponden a el calor transmitido por conducción hacia el exterior de la vivienda, a travez de la envolvente. Para su calculo es necesario conocer paramatros geométricos de las envolventes tales como como su área, perímetro y volumen.

En las siguientes paginas, (Figuras 5.23 y 5.24) se pueden observar las dimensiones mas importantes para cada planta de las viviendas , necesareas para la determinacion de los parametros mencionados.

- Vivienda N° 1

Figura 5.23: Dimensiones del perímetro exterior vivienda n°1.



Fuente 93: Elaboración propia.

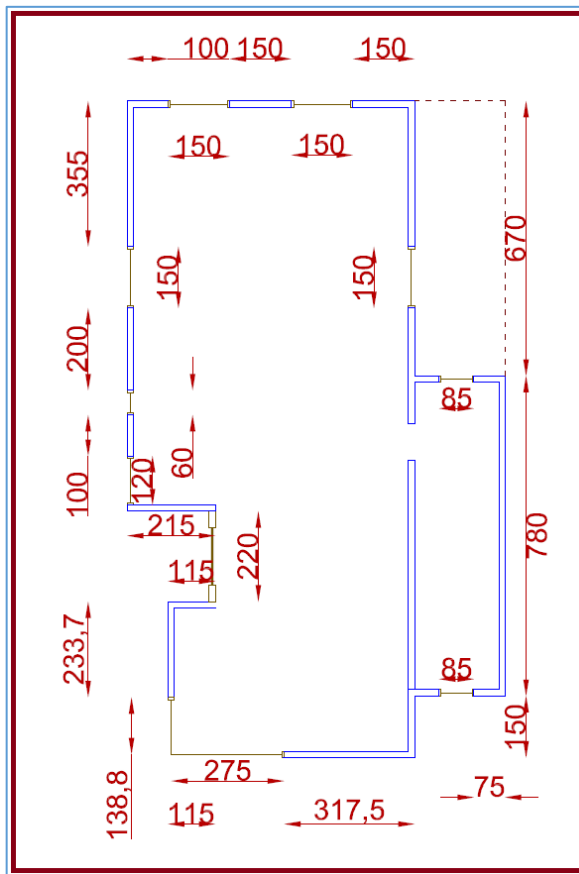
De la imagen anterior (**figura 5.23**), se obtienen los siguientes valores⁷⁰:

- Perímetro planta 1 (en contacto con el terreno): 35.4 m
- Área de planta 1: 62.75 m²
- Área de planta 2: 56 m²
- Altura de cada piso: 2.2 m
- Volumen de la vivienda entre piso y cielo: 261.162 m³

⁷⁰ Todos los valores de las cotas se encuentran expresados en centímetros.

- Vivienda N° 2.

Figura 5.24: Dimensiones perímetro vivienda N°2.



Fuente 94: Elaboración propia.

De las dimensiones del perímetro de esta vivienda (Figura 5.24), se obtienen los siguientes valores

- Perímetro total: 51.2 m^2
- Área de planta: 113.3 m^2
- Altura: 2.2 m
- Volumen de la vivienda entre piso y cielo: 250 m^3

Para obtener las pérdidas GV1 se deben obtener las transmitancias totales de cada elemento de las envolventes. Para esto es necesario realizar la ponderación de cada transmitancia por su superficie correspondiente. Los valores para cada vivienda se presentan a continuación.

- Transmitancias ponderadas, vivienda N°1:

Tabla 5.55: transmitancia por superficie casa N1

| Elemento | Superficie (m ²) | Transmitancia (U) (W/m ² K) | Si * Ui (W/K) |
|----------------------------|------------------------------|--|---------------|
| Muros | | | |
| Albañilería piso1 | 53,30 | 1,89 | 100,74 |
| Tabiquería piso 2 | 68,95 | 0,72 | 49,64 |
| Cadenas de hormigón | | | |
| Tipo 1 | 7,07 | 3,81 | 26,94 |
| Ventanas | | | |
| Tipo 1 | 18,39 | 5,8 | 106,66 |
| Bloque de vidrio | 1,20 | 1,37 | 1,64 |
| Marcos | | | |
| Marcos Al | 5,56 | 3,3 | 18,35 |
| Marcos M | 0,40 | 2,6 | 1,04 |
| Puertas | | | |
| Puertas | 3,00 | 1,53 | 4,59 |
| Cielo | | | |
| Cielo | 62,73 | 0,27 | 16,94 |

Fuente 95: Elaboración propia.

Tabla 5.56: Transmitancia para piso casa N°1

| Elemento | Perímetro (m) | Transmitancia lineal (Kl) | P * Kl (W/K) |
|-------------|---------------|---------------------------|--------------|
| Piso | | | |
| Piso | 35,4 | 1,2 | 42,48 |

Fuente 96: Elaboración propia.

▪ Transmitancias ponderadas, vivienda N°2:

Tabla 5.57: Transmitancias para cada elemento de la envolvente, casa N°2.

| Tipo de Elemento | Transmitancia (U) (W/m ² K) | Superficie (m ²) | Si * Ui (W/K) |
|----------------------------------|--|------------------------------|---------------|
| Muros | | | |
| Tipo 1 | 1,83 | 24,00 | 43,92 |
| Tipo 2 | 1,87 | 16,00 | 29,92 |
| Tipo 3 | 1,84 | 21,00 | 38,64 |
| Tipo 4 | 1,89 | 34,77 | 65,72 |
| Cadenas y sobreseimientos | | | |
| Tipo 1 | 3,81 | 9,43 | 35,93 |
| Tipo 2 | 3,72 | 3,38 | 12,57 |
| Ventanas | | | |
| Vidrio simple | 5,80 | 5,18 | 30,01 |
| Vidrio doble | 3,28 | 9,12 | 29,91 |
| Marcos | | | |
| Aluminio | 3,30 | 0,62 | 2,05 |
| PVC | 2,80 | 1,58 | 4,42 |
| Puertas | | | |
| Puerta | 1,54 | 5,32 | 8,19 |
| Cielo | | | |
| Cielo | 0,27 | 113,33 | 30,60 |

Fuente 97: Elaboración propia.

Tabla 5.58: Transmitancias para piso, casa N°2.

| Tipo de Elemento | Transmitancia lineal (Kl) | Perímetro (m) | P * Kl (W/K) |
|------------------|---------------------------|---------------|--------------|
| Piso | | | |
| piso | 1,20 | 51,20 | 61,44 |

Fuente 98: Elaboración propia.

De la información en las tablas anteriores e obtiene los siguientes valores para cada vivienda:

- GV1 vivienda N°1:

$$\sum(U * S) = 326.54 \left[\frac{W}{K} \right] \quad K_l * p = 42.48 \left[\frac{W}{K} \right] \quad V = 261.162 [m^3]$$

Finalmente

$$Gv_1 = \frac{\sum(U * S) + K_l * p}{V} = 1.41 [W/m^3K]$$

- GV1 vivienda N°2:

$$\sum(U * S) = 331.61 \left[\frac{W}{K} \right] \quad K_l * p = 61.44 \left[\frac{W}{K} \right] \quad V = 250 [m^3]$$

Finalmente

$$Gv_1 = \frac{\sum(U * S) + K_l * p}{V} = 1.57 [W/m^3K]$$

5.3.2 Cálculo de pérdidas volumétricas (GV2)

Consiste en la suma de las pérdidas Gv_1 con las provocadas por el movimiento de aire dentro de la vivienda, dado por las renovaciones horarias de aire (n). Se considerará una renovación por hora ($n = 1$), según lo explicado en la metodología.⁷¹

Con lo cual se obtiene los siguientes resultados para cada vivienda.

- GV2 vivienda N°1:

$$Gv_1 = 1.41 \text{ [W/m}^3\text{K]}$$

$$Gv_2 = Gv_1 + 0.35 * 1 = \mathbf{1.76 \text{ [W/m}^3\text{K]}}$$

- GV2 vivienda N°2:

$$Gv_1 = 1.57 \text{ [W/m}^3\text{K]}$$

$$Gv_2 = Gv_1 + 0.35 * n = \mathbf{1.92 \text{ [W/m}^3\text{K]}}$$

⁷¹ Similitud de las viviendas y clima de este estudio con un estudio previo de la ASHRAE.

5.3.3 Calculo de ganancias térmicas

A continuación se calcularán los 3 tipos de ganancias térmicas (radiación solar, calor aportado por personas y calor aportado por equipos eléctricos de uso común)

5.3.3.1 Ganancias térmicas por la radiación solar:

Para calcular este tipo de ganancia es necesario conocer la radiación solar incidente por cada orientación de las viviendas y la superficie de ventana correspondiente a cada una de estas orientaciones. A continuación se observan las tablas 5.59 y 5.60, las cuales contienen dicha información.⁷²

- Superficie de ventana según orientación, vivienda N°1

Tabla 5.59: Superficie de ventanas por orientación casa N°1

| Superficie de vidrio por orientación | | | | |
|--------------------------------------|----------|---------|---------|----------|
| Tipo de ventana | Noroeste | Noreste | Sureste | Suroeste |
| Vidrio simple | 6.86 | 0 | 5.33 | 0 |
| Doble vidrio | 0 | 0 | 0 | 0 |

Fuente 99: Elaboración propia.

⁷² Estos valores se puede revisar en la sección “Condiciones Climáticas” del presente documento.

- Superficie de ventana según orientación, vivienda N°2

Tabla 5.60: Área de vidrio por orientación casa N°2.

| superficie de vidrio por orientación | | | | |
|--------------------------------------|----------|---------|---------|----------|
| Tipo de ventana | Noroeste | Noreste | Sudeste | Suroeste |
| Vidrio simple | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Doble vidrio | 4,17 | 0 | 9,1208 | 0 |

Fuente 100: Elaboración propia.

Luego a través de la expresión dada por la ecuación (4.6),

$$GT_{I(\text{Radiación})} = \frac{(R_{90} * \alpha) * 12 * N * \beta * \sum S_i * F_s}{1000} \left[\frac{KWh}{mes} \right] \quad (Ec. 4.6)$$

Donde:

$F_s = 1$: (Factor de corrección por tipo de vidrio, en este caso corresponde a vidrio simple).

$\beta = (1/0.85)$: Corrección para marcos metálicos según procedimiento de la ASHRAE.

$\alpha = 1$: Corresponde a una corrección por altura innecesaria en este caso.

N : Corresponde a la cantidad de días del mes en cuestión.

Se logran obtener los valores para las ganancias térmicas mensuales por cada orientación, y finalmente las ganancias térmicas totales por radiación para cada vivienda, Indicados en las Tablas 5.61 y 5.62.

- Ganancia térmicas por radiación, vivienda N°1

Tabla 5.61: Ganancia térmicas por radiación mensual

| mes | GT (S.E) (KWh/mes) | GT (N.O) (KWh/mes) | GT total (KWh/mes) |
|------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| enero | 3,15 | 5,93 | 9,07 |
| febrero | 2,72 | 5,13 | 7,85 |
| marzo | 3,06 | 5,76 | 8,82 |
| abril | 2,78 | 5,22 | 8,00 |
| mayo | 2,21 | 4,15 | 6,36 |
| junio | 2,08 | 3,91 | 5,98 |
| julio | 2,03 | 3,82 | 5,85 |
| agosto | 1,92 | 3,62 | 5,54 |
| septiembre | 2,17 | 4,09 | 6,26 |
| octubre | 1,54 | 2,89 | 4,43 |
| noviembre | 2,27 | 4,27 | 6,53 |
| diciembre | 2,82 | 5,30 | 8,11 |

Fuente 101: Elaboración propia.

- Ganancia térmicas por radiación, vivienda N°2

Tabla 5.62: Ganancia térmicas por radiación mensual

| mes | GT (S.E) (KWh/mes) | GT (N.O) (KWh/mes) | GT total rad (KWh/mes) |
|------------|-----------------------|-----------------------|---------------------------|
| enero | 5,39 | 3,06 | 8,4 |
| febrero | 4,66 | 2,65 | 7,3 |
| marzo | 5,24 | 2,98 | 8,2 |
| abril | 4,75 | 2,70 | 7,4 |
| mayo | 3,78 | 2,15 | 5,9 |
| junio | 3,55 | 2,02 | 5,6 |
| julio | 3,47 | 1,97 | 5,4 |
| agosto | 3,29 | 1,87 | 5,2 |
| septiembre | 3,72 | 2,11 | 5,8 |
| octubre | 2,63 | 1,50 | 4,1 |
| noviembre | 3,88 | 2,20 | 6,1 |
| diciembre | 4,82 | 2,74 | 7,6 |

Fuente 102: Elaboración propia.

5.3.3.2 Ganancias térmicas por metabolismo:

Estas ganancias corresponden al calor liberado por las personas al desenvolverse al interior de las viviendas, no se considera la realización de ninguna actividad física dentro de la vivienda por lo que se estima la potencia generada promedio por persona de 75 watts. Según **Tabla 4.3** proporcionada por la ASHRAE, indicada en capítulo 4: “Marco teórico”, la cual indica los factores a utilizar en este caso,

A continuación se observa la carga de ocupación daría por días de la semana y fin de semana para cada ocupante de cada vivienda.⁷³

⁷³ Para revisar en detalle la carga de ocupación para cada vivienda véase anexo G

- Carga de ocupación vivienda N°1:

Tabla 5.63: Carga de ocupación diaria, vivienda N°1.

| | Ocupación días de semana | | | | | | | Ocupación fin de semana | | | | |
|------------------------|--------------------------|--------|--------|---------|------|------|--------|-------------------------|--------|--------|--------|------|
| | Madre | Hijo 1 | Hijo 2 | Sra H 1 | Bebe | Emp | Alumno | Madre | Hijo 1 | Hijo 2 | Sra H1 | Bebe |
| Carga de ocupación (h) | 12 | 15 | 17 | 21 | 17 | 7 | 2 | 22 | 22 | 20 | 20 | 20 |
| Factor de ocupación | 0,50 | 0,63 | 0,71 | 0,88 | 0,71 | 0,29 | 0,08 | 0,92 | 0,92 | 0,83 | 0,83 | 0,83 |

Fuente 103: Elaboración propia.

- Carga de ocupación vivienda N°2:

Tabla 5.64: Carga de ocupación diaria, vivienda N°2.

| | Ocupación días de semana | | | | Ocupación fin de semana | | | |
|----------------------------------|--------------------------|-------|--------|-------|-------------------------|-------|--------|-------|
| | Padre | Madre | Hija 1 | Hija2 | Padre | Madre | Hija 1 | Hija2 |
| Carga de ocupación total por día | 10 | 20 | 14 | 14 | 17 | 20 | 22 | 22 |
| Factor de ocupación diario | 0,42 | 0,83 | 0,58 | 0,58 | 0,71 | 0,83 | 0,92 | 0,92 |

Fuente 104: Elaboración propia.

Finalmente las ganancias termias aportadas por las personas para cada vivienda son las siguientes:

- Ganancias térmicas por metabolismo, Vivienda N°1:

$$GT_{personas}(semana) = 22 * 0.075 * 91 = 150.15 \left[\frac{kwh}{mes} \right]$$

$$GT_{personas}(fin\ de\ semana) = 8 * 0.075 * 104 = 62.4 \left[\frac{kwh}{mes} \right]$$

$$GT_{personas}(TOTAL) = GT_{per}(semana) + GT_{per}(fin\ de\ semana) = \mathbf{212.55} \left[\frac{kwh}{mes} \right]$$

- Ganancias térmicas por metabolismo, Vivienda N°2:

$$GT_{personas}(semana) = 22 * 0.075 * 58 = 95.7 \left[\frac{kwh}{mes} \right]$$

$$GT_{personas}(fin\ de\ semana) = 8 * 0.075 * 81 = 48.6 \left[\frac{kwh}{mes} \right]$$

$$GT_{personas}(TOTAL) = GT_{per}(semana) + GT_{per}(fin\ de\ semana) = \mathbf{144.3} \left[\frac{kwh}{mes} \right]$$

5.3.3.2 Ganancias térmicas aportadas por equipos eléctricos:

Se considera que el 100% de la energía consumida por aparatos eléctricos en algún momento alcanzara la forma de calor.

Según el régimen de consumo eléctrico de las viviendas se considerará que el consumo básico correspondiente a los equipos eléctricos de uso común es el siguiente para cada vivienda.⁷⁴

- Ganancia térmica por uso de equipos eléctricos vivienda N°1: 500 KWh/mes.

- Ganancia térmica por uso de equipos eléctricos vivienda N°1: 550 KWh/mes.

5.3.3.3 Ganancias térmicas totales:

Finalmente las ganancias térmicas totales corresponden a la suma algebraica de todas las ganancias térmicas previamente calculadas, las cuales se encuentran expresados en (KWh/mes). Estas son presentadas a continuación en las tablas 5.65 y 5.66.

⁷⁴ Para revisar el detalle del consumo eléctrico de las viviendas, véase anexo G.

- Ganancias térmicas totales vivienda N°1:

Tabla 5.65: Ganancias térmicas totales casa N°1.

| GT total rad | GT personas | GT equipos | GT TOTAL |
|--------------|-------------|------------|----------|
| 9,1 | 212,6 | 500,0 | 721,6 |
| 7,9 | 212,6 | 500,0 | 720,4 |
| 8,8 | 212,6 | 500,0 | 721,4 |
| 8,0 | 212,6 | 500,0 | 720,5 |
| 6,4 | 212,6 | 500,0 | 718,9 |
| 6,0 | 212,6 | 500,0 | 718,5 |
| 5,8 | 212,6 | 500,0 | 718,4 |
| 5,5 | 212,6 | 500,0 | 718,1 |
| 6,3 | 212,6 | 500,0 | 718,8 |
| 4,4 | 212,6 | 500,0 | 717,0 |
| 6,5 | 212,6 | 500,0 | 719,1 |
| 8,1 | 212,6 | 500,0 | 720,7 |

Fuente 105: Elaboración propia.

- Ganancias térmicas totales vivienda N°2:

Tabla 5.66: Ganancias térmicas totales casa N°2.

| GT total rad | GT personas | GT equipos | GT TOTAL |
|--------------|-------------|------------|----------|
| 8,4 | 144,3 | 550,0 | 702,7 |
| 7,3 | 144,3 | 550,0 | 701,6 |
| 8,2 | 144,3 | 550,0 | 702,5 |
| 7,4 | 144,3 | 550,0 | 701,7 |
| 5,9 | 144,3 | 550,0 | 700,2 |
| 5,6 | 144,3 | 550,0 | 699,9 |
| 5,4 | 144,3 | 550,0 | 699,7 |
| 5,2 | 144,3 | 550,0 | 699,5 |
| 5,8 | 144,3 | 550,0 | 700,1 |
| 4,1 | 144,3 | 550,0 | 698,4 |
| 6,1 | 144,3 | 550,0 | 700,4 |
| 7,6 | 144,3 | 550,0 | 701,9 |

Fuente 106: Elaboración propia.

5.3.4 Resultados

En base a los parámetros calculados en este capítulo es posible determinar los valores de la temperatura media mensual interior, a través de la fórmula ya antes mencionada correspondiente a la ecuación (4.15).

Considerando el 100% de la demanda o consumo energético para los meses más fríos del invierno (junio, julio y agosto) y un 40% del consumo mensual calculado, para los meses adyacentes al rango anterior (mayo y septiembre), así obteniendo los resultados expuestos a continuación.

5.3.4.1 Resultados Vivienda N°1

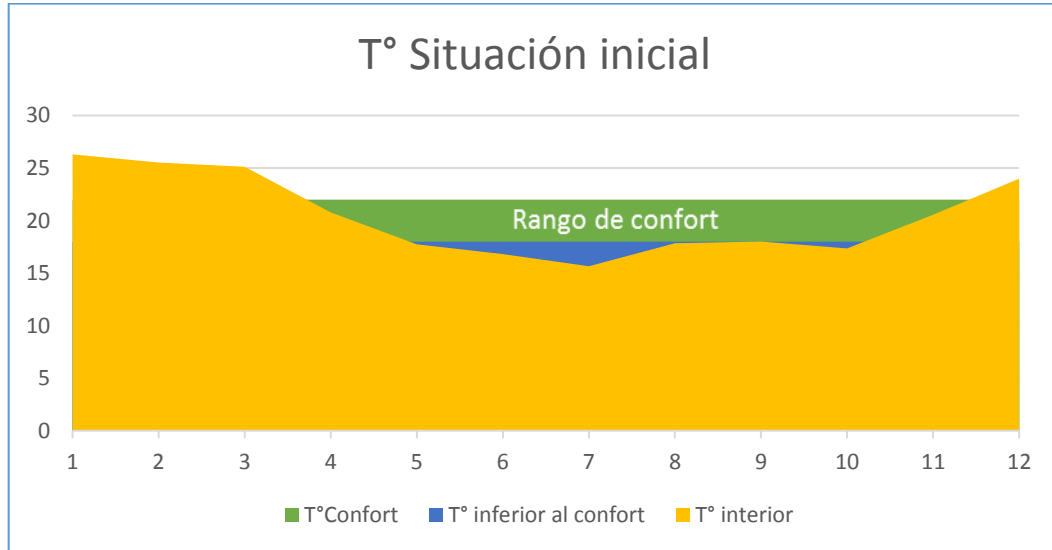
- **Situación inicial , (Combustión en base a leña)**

Tabla 5.67: Temperatura interior casa N°1 situación inicial.

| mes | Consumo | GV2 | GT | Vol | n | T° exterior | T° interior |
|------------|---------|------|--------|---------|----|-------------|-------------|
| Enero | | 1,76 | 721,62 | 261,162 | 31 | 24,2 | 26,31 |
| Febrero | | 1,76 | 720,40 | 261,162 | 28 | 23,2 | 25,53 |
| Marzo | | 1,76 | 721,37 | 261,162 | 31 | 23,02 | 25,13 |
| Abril | | 1,76 | 720,55 | 261,162 | 30 | 18,61 | 20,79 |
| Mayo | 483,965 | 1,76 | 718,91 | 261,162 | 31 | 14,23 | 17,75 |
| Junio | 967,93 | 1,76 | 718,53 | 261,162 | 30 | 11,72 | 16,82 |
| Julio | 967,93 | 1,76 | 718,40 | 261,162 | 31 | 10,73 | 15,66 |
| Agosto | 967,93 | 1,76 | 718,09 | 261,162 | 31 | 12,92 | 17,85 |
| Septiembre | 483,965 | 1,76 | 718,81 | 261,162 | 30 | 14,38 | 18,01 |
| Octubre | | 1,76 | 716,98 | 261,162 | 31 | 15,26 | 17,36 |
| Noviembre | | 1,76 | 719,08 | 261,162 | 30 | 18,39 | 20,56 |
| Diciembre | | 1,76 | 720,66 | 261,162 | 31 | 21,89 | 24,00 |

Fuente 107: Elaboración propia.

Figura 5.25: Temperatura interior vs confort, casa N°1 situación inicial.



Fuente 108: Elaboración propia.

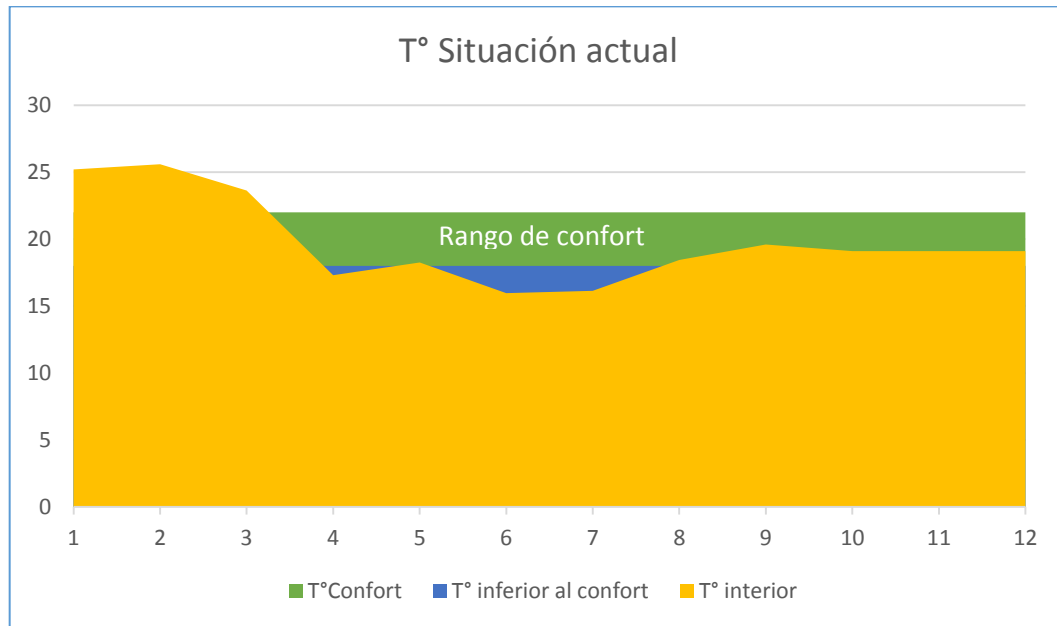
▪ **Situación actual (electricidad)**

Tabla 5.68: Temperatura interior casa N°1 situación actual.

| mes | Consumo | GV2 | GT | Vol | n | T° exterior | T° interior |
|------------|---------|------|--------|---------|----|-------------|-------------|
| Enero | | 1,76 | 721,62 | 261,162 | 31 | 23,096 | 25,206 |
| Febrero | | 1,76 | 720,40 | 261,162 | 28 | 23,263 | 25,595 |
| Marzo | | 1,76 | 721,37 | 261,162 | 31 | 21,52 | 23,629 |
| Abril | | 1,76 | 720,55 | 261,162 | 30 | 15,128 | 17,305 |
| Mayo | 521,16 | 1,76 | 718,91 | 261,162 | 31 | 14,629 | 18,255 |
| Junio | 1042,32 | 1,76 | 718,53 | 261,162 | 30 | 10,643 | 15,964 |
| Julio | 1042,32 | 1,76 | 718,40 | 261,162 | 31 | 10,988 | 16,137 |
| Agosto | 1042,32 | 1,76 | 718,09 | 261,162 | 31 | 13,295 | 18,443 |
| Septiembre | 521,16 | 1,76 | 718,81 | 261,162 | 30 | 15,852 | 19,599 |
| Octubre | | 1,76 | 716,98 | 261,162 | 31 | | |
| Noviembre | | 1,76 | 719,08 | 261,162 | 30 | | |
| Diciembre | | 1,76 | 720,66 | 261,162 | 31 | | |

Fuente 109: Elaboración propia.

Figura 5.26: Temperatura interior vs confort casa N°1 situación actual.



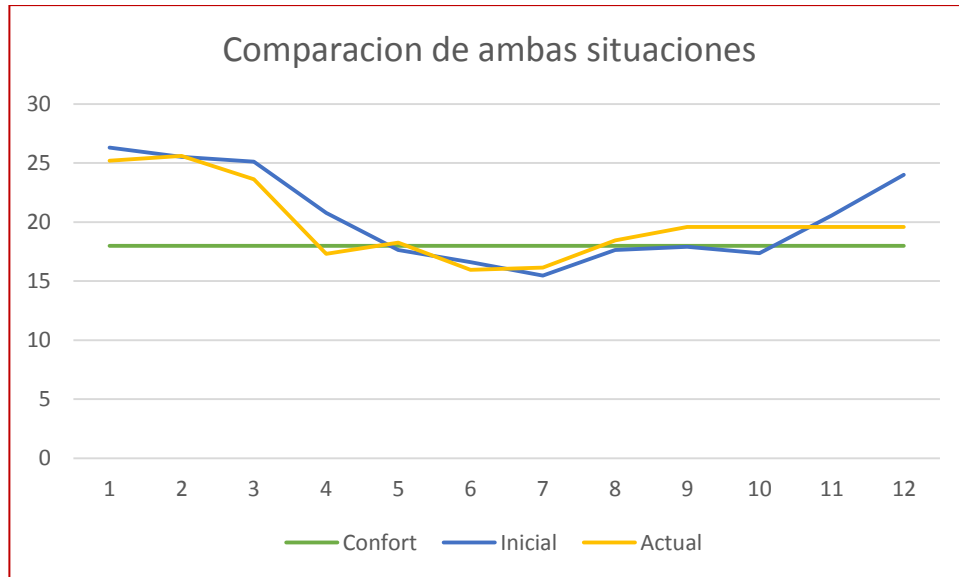
Fuente 110: Elaboración propia.

En base a los gráficos de comparación de temperatura interior versus temperatura de confort, expuestos en las figuras (5.25, 5.26, 5.29, 5.30 y 5.31), se definirá el primer indicador para cuantificar el nivel de confort alcanzado en cada vivienda. Llamaremos a este ratio “Grados Estacionales”.

Este indicador muestra básicamente de los grados de temperatura en que se excede el rango de la temperatura de confort durante la temporada de verano, o los grados faltantes para alcanzar dicha temperatura durante la temporada invernal. En este caso nos enfocaremos en la temporada de invierno, cuantificando y comparando el déficit de temperatura para cada situación de cada vivienda. (Para el invierno corresponde al área azul visible en los gráficos de temperatura.

▪ **Comparación de las situaciones, Vivienda N°1:**

Figura 5.27: Comparación de la temperatura interior en ambas situaciones Vivienda N°1.



Fuente 111: Elaboración propia.

Para realizar una adecuada comparación en cuanto a la temperatura de confort alcanzada en la vivienda, se efectuó la comparación en torno a los Grados Estacionales definidos anteriormente. Mientras menor sea la magnitud de este indicador quiere decir que la vivienda en general se encuentra más cercana a la temperatura de confort.

Tabla 5.69: Grados estacionales vivienda N°1.

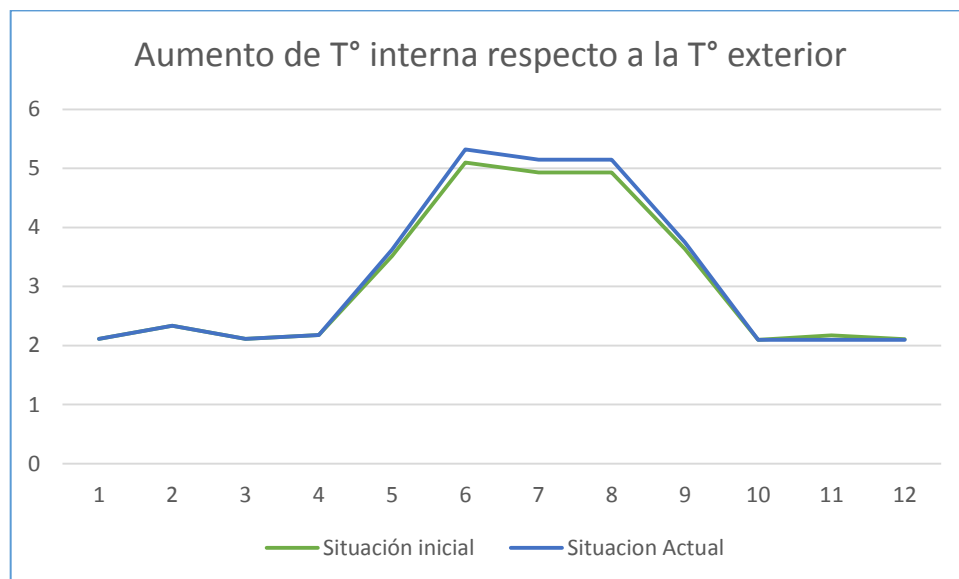
| Grados Estacionales | |
|---------------------|---------------|
| Situación Inicial | -4,561 |
| Situación Actual | -4,594 |

Fuente 112: Elaboración propia.

Por lo tanto en la Tabla 5.69 se puede distinguir que en la situación inicial de la vivienda, según parámetro de los grados estacionales, esta se encontró más cercana al confort en comparación a la situación actual con el recambio de equipos, pero se debe destacar que la diferencia es muy pequeña pudiéndose decir, que prácticamente las viviendas se encontraron al mismo nivel durante las dos situaciones.

Por otro lado, se puede considerar para el análisis otro parámetro o indicador para determinar cuál de las opciones pudiese ser la más favorable, este corresponde a la diferencia de temperatura entre el interior y el exterior de la vivienda, es decir, cuál de las opciones de equipos calefactores logro incrementar en mayor medida la temperatura interior de la vivienda en relación a la temperatura exterior del año de evaluación correspondiente.

Figura 5.28: Comparación del aumento de temperatura respecto a la temperatura exterior. En cada situación, vivienda N°1.



Fuente 113: Elaboración propia.

En el gráfico de la figura 5.28 se pueden notar las diferencias de temperatura mes a mes respecto al exterior para cada situación de la vivienda N°1. Con esta información se puede razonar que la en la situación actual (sistema de calefacción eléctrico) la vivienda se mantiene a una mayor temperatura respecto al ambiente exterior a lo largo de todo el análisis, en comparación a la situación previa (combustibles). Concluyendo que el sistema eléctrico propuesto es favorable en esta vivienda respecto al su aporte calórico en relación al sistema anterior.

5.3.4.1 Resultados Vivienda N°2

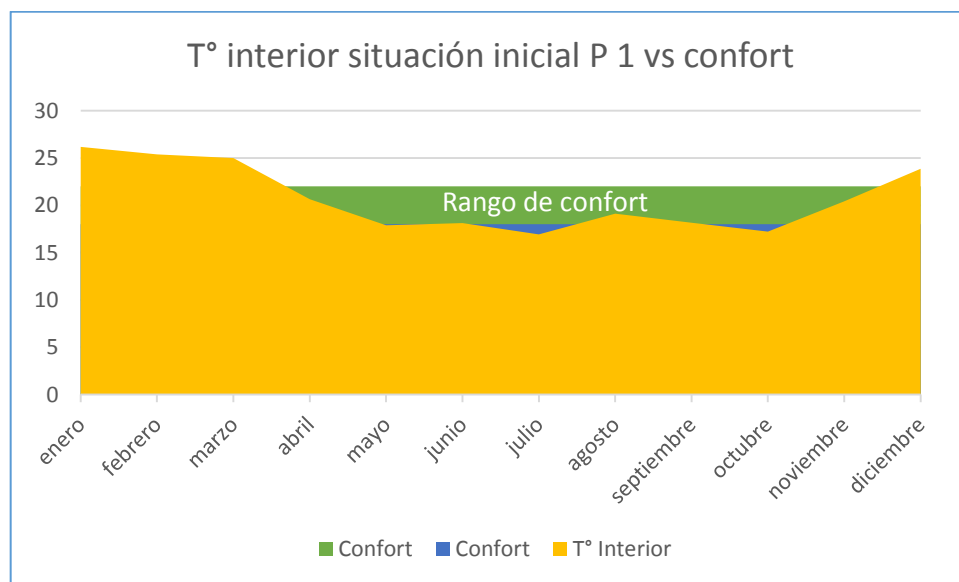
- **Situación inicial periodo 1 , (Combustión en base a leña)**

Tabla 5.70: Temperatura interior situación inicial periodo 1.

| Mes | consumo | GV2 | GT | V | N | T° exterior | T° interior |
|------------|---------|------|--------|-----|----|-------------|-------------|
| enero | | 1,92 | 702,75 | 250 | 31 | 24,2 | 26,17 |
| febrero | | 1,92 | 701,61 | 250 | 28 | 23,2 | 25,38 |
| marzo | | 1,92 | 702,51 | 250 | 31 | 23,02 | 24,99 |
| abril | | 1,92 | 701,75 | 250 | 30 | 18,61 | 20,64 |
| mayo | 604,752 | 1,92 | 700,22 | 250 | 31 | 14,23 | 17,88 |
| junio | 1511,88 | 1,92 | 699,87 | 250 | 30 | 11,72 | 18,12 |
| julio | 1511,88 | 1,92 | 699,75 | 250 | 31 | 10,73 | 16,92 |
| agosto | 1511,88 | 1,92 | 699,46 | 250 | 31 | 12,92 | 19,11 |
| septiembre | 604,752 | 1,92 | 700,13 | 250 | 30 | 14,38 | 18,16 |
| octubre | | 1,92 | 698,43 | 250 | 31 | 15,26 | 17,22 |
| noviembre | | 1,92 | 700,38 | 250 | 30 | 18,39 | 20,42 |
| diciembre | | 1,92 | 701,85 | 250 | 31 | 21,89 | 23,86 |

Fuente 114: Elaboración propia.

Figura 5.29: Temperaturas situación inicial periodo 1, en relación al confort.



Fuente 115: Elaboración propia

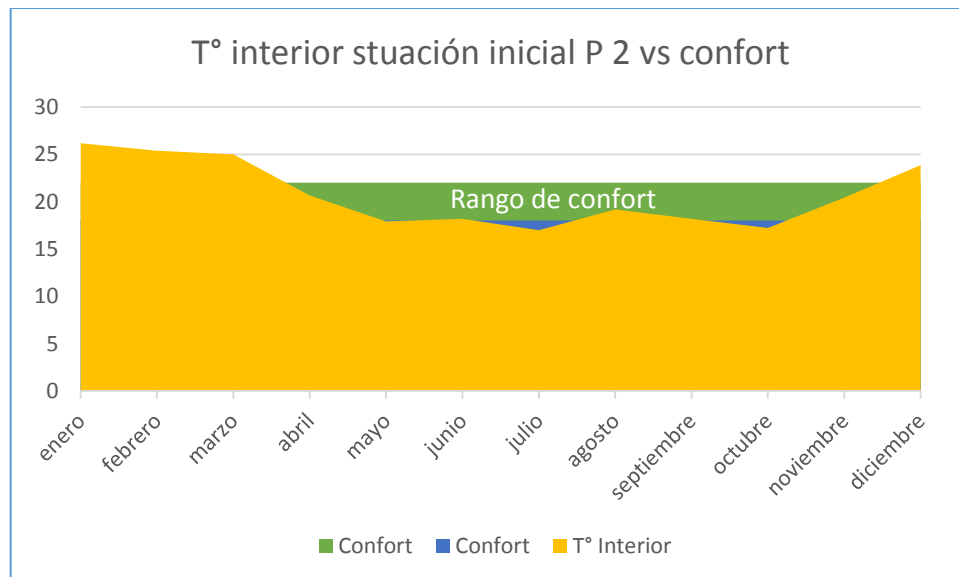
▪ **Situación inicial periodo 2 , (GLP, Kerosene)**

Tabla 5.71: Temperatura interior situación inicial periodo 2.

| Mes | consumo | GV2 | GT | V | N | T° exterior | T° interior |
|------------|---------|------|--------|-----|----|-------------|-------------|
| enero | | 1,92 | 702,75 | 250 | 31 | 24,2 | 26,17 |
| febrero | | 1,92 | 701,61 | 250 | 28 | 23,2 | 25,38 |
| marzo | | 1,92 | 702,51 | 250 | 31 | 23,02 | 24,99 |
| abril | | 1,92 | 701,75 | 250 | 30 | 18,61 | 20,64 |
| mayo | 612,836 | 1,92 | 700,22 | 250 | 31 | 14,23 | 17,91 |
| junio | 1532,09 | 1,92 | 699,87 | 250 | 30 | 11,72 | 18,18 |
| julio | 1532,09 | 1,92 | 699,75 | 250 | 31 | 10,73 | 16,98 |
| agosto | 1532,09 | 1,92 | 699,46 | 250 | 31 | 12,92 | 19,17 |
| septiembre | 612,836 | 1,92 | 700,13 | 250 | 30 | 14,38 | 18,18 |
| octubre | | 1,92 | 698,43 | 250 | 31 | 15,26 | 17,22 |
| noviembre | | 1,92 | 700,38 | 250 | 30 | 18,39 | 20,42 |
| diciembre | | 1,92 | 701,85 | 250 | 31 | 21,89 | 23,86 |

Fuente 116: Elaboración propia.

Figura 5.30: Temperaturas situación inicial periodo 2 en relación al confort.



Fuente 117: Elaboración propia.

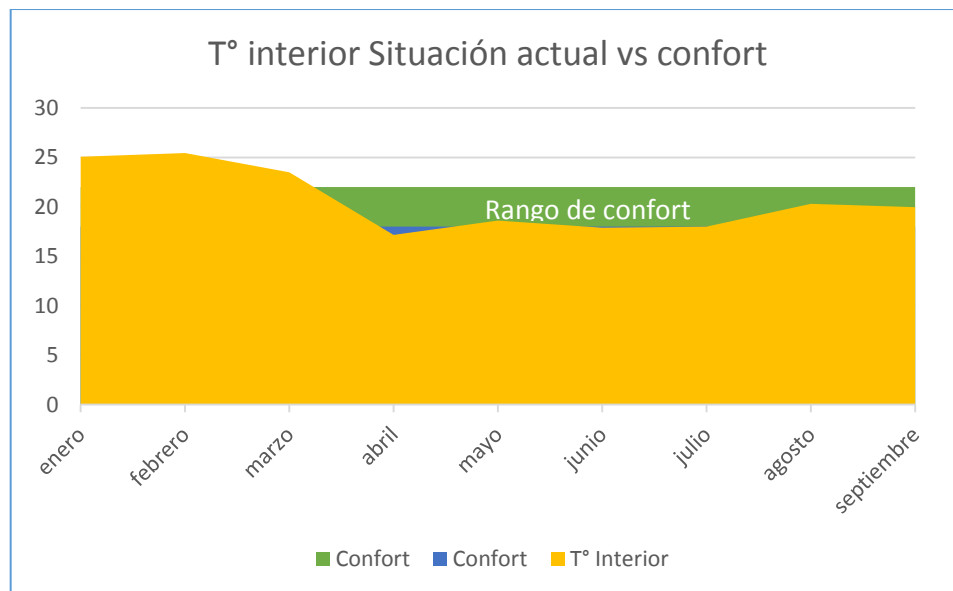
▪ **Situación actual , (Equipos eléctricos)**

Tabla 5.72: Temperatura interior situación actual.

| Mes | consumo | GV2 | GT | V | N | T° exterior | T° interior |
|------------|---------|------|--------|-----|----|-------------|-------------|
| enero | | 1,92 | 702,75 | 250 | 31 | 23,096 | 25,06 |
| febrero | | 1,92 | 701,61 | 250 | 28 | 23,263 | 25,44 |
| marzo | | 1,92 | 702,51 | 250 | 31 | 21,52 | 23,49 |
| abril | | 1,92 | 701,75 | 250 | 30 | 15,128 | 17,16 |
| mayo | 720,852 | 1,92 | 700,22 | 250 | 31 | 14,629 | 18,61 |
| junio | 1802,13 | 1,92 | 699,87 | 250 | 30 | 10,643 | 17,88 |
| julio | 1802,13 | 1,92 | 699,75 | 250 | 31 | 10,988 | 17,99 |
| agosto | 1802,13 | 1,92 | 699,46 | 250 | 31 | 13,295 | 20,30 |
| septiembre | 720,852 | 1,92 | 700,13 | 250 | 30 | 15,852 | 19,96 |
| octubre | | 1,92 | 698,43 | 250 | 31 | - | - |
| noviembre | | 1,92 | 700,38 | 250 | 30 | - | - |
| diciembre | | 1,92 | 701,85 | 250 | 31 | - | - |

Fuente 118: Elaboración propia.

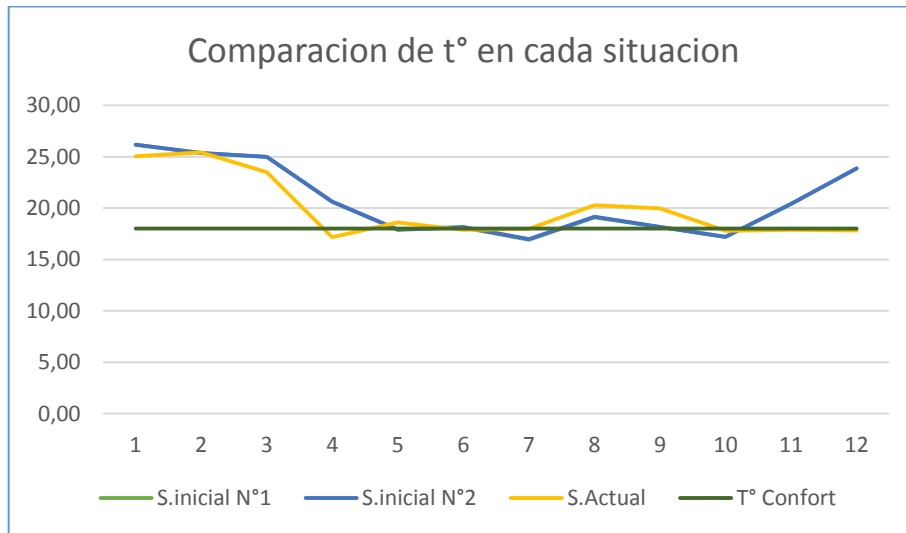
Figura 5.31: Temperaturas situación actual en relación al confort.



Fuente 119: Elaboración propia

▪ **Comparación de situaciones, Vivienda N°2.**

Figura 5.32: Comparación de las Temperaturas interiores para cada situación.



Fuente 120: Elaboración propia.

Al igual que para en análisis en la vivienda N°1 la comparación de las situaciones y periodos en este caso, se realizara mediante el análisis de los Grados Estacionales, siendo su magnitud indirectamente proporcional a la cercanía con el confort, es decir, mientras menor es el valor de las magnitud de los grados días más cercana se encontró la vivienda a la temperatura de confort durante la temporada de invierno evaluada.

Tabla 5.73: Grados estacionales vivienda N°2.

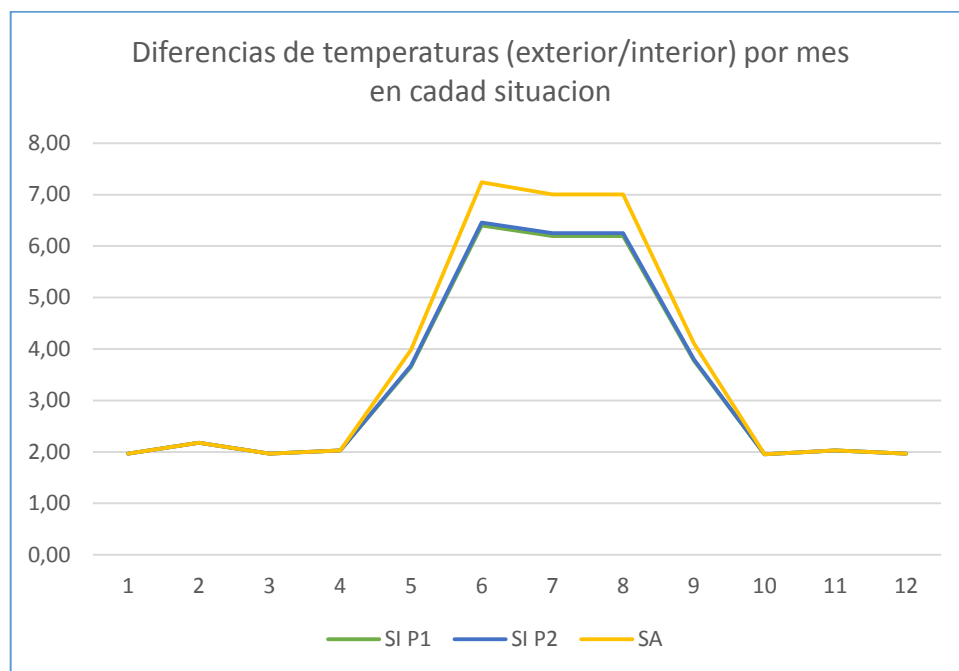
| Grados Estacionales | | |
|---------------------|-----------|-------|
| Situación inicial | Periodo 1 | -1,98 |
| | Periodo 2 | -1,89 |
| Situación actual | | -0,97 |

Fuente 121: Elaboración propia.

Con la información de la tabla 5.73, se puede decir que para la vivienda N°2 existe un déficit de temperatura menor en la situación actual donde se utilizó en sistema propuesto, en comparación a la situación inicial en sus dos periodos. Concluyendo preliminarmente que el sistema propuesto para el recambio es favorable.

En segundo lugar analizando las diferencias de temperatura interior y exterior para cada situación de esta vivienda, las que pueden ser observadas en el gráfico de la **figura 5.33**.

Figura 5.33: Comparación del aumento de temperatura interior respecto al exterior en cada situación.⁷⁵



Fuente 122: Elaboración propia.

⁷⁵ No se logra observar gran diferencia entre las situaciones iniciales ya que el calor entregado por los sistemas es muy similar

Se puede decir que el equipo eléctrico utilizado en la situación actual proporciona mayor cantidad de calor respecto a la situación inicial en sus dos periodos.

Concluyendo finalmente que el sistema de calefacción propuesto es favorable para las dos viviendas evaluadas, en cuanto al confort referente a la temperatura.

5.4 Calculo de emisiones de material particulado evitado

Una de las motivaciones para impulsar el recambio tecnológico es la colaboración con el proceso de descontaminación de la ciudad. Utilizando nuevos equipamientos de funcionamiento eléctrico se logra eliminar la generación de material particulado emitido al medio ambiente, así como también terminar con las emisiones intradomiciliarias, haciendo de este nuevo sistema una opción limpia y amigable con el medio.

La determinación del material particulado evitado se puede calcular considerando las condiciones de uso del calefactor a leña de la vivienda en la situación inicial.

5.4.1 Cuantificación del material particulado evitado en las Viviendas

Los resultados obtenidos del cálculo de emisiones de MPT son los siguientes, Según el tipo de calefactor utilizado en las viviendas, que corresponde a estufas de doble cámara de menor tamaño, los resultados obtenidos del cálculo de emisiones de MPT son los siguientes:

- **Factor de emisiones base (F) :**
 - Para ambas viviendas corresponde a 9,8 g/Kg, según estudio de la EPA debido a la similitud de los equipos en base a estudio comparativo realizado por la CDT.

▪ **Tasa de quemado (Q) :**

Según lo especificado por las fichas técnicas de los proveedores, modificada según la forma de uso del equipo, los valores para cada vivienda son los siguientes:

- Vivienda N°1: 0.8 kg/h
- Vivienda N°2: 3 kg/h

▪ **Factor por tasa de quemado:**

Según procedimiento del estudio de referencia.⁷⁶

- Vivienda N°1: 1.04
- Vivienda N°2: 0.65

▪ **Factor por tipo de leña (especie de la madera) (T) :**

- Para ambas viviendas se considera eucaliptus por ser la madera vendida en la región Metropolitana por los proveedores a las familias para su uso en la calefacción. Por lo tanto considerando un factor $T = 1$.

⁷⁶ CDT, informe final (2012), "Propuesta de medidas para el uso eficiente de la leña en la Región Metropolitana de Santiago".

▪ **Factor por humedad (H):**

- Vivienda N°1: se considera 1 para leña comprada, certificada como seca (20% humedad), considerando que esta nos era almacenada por mucho tiempo y esta se mantenía al interior de un patio cerrado. (adquirida a medida que se acaba cada saco).
- Vivienda N°2: se considera 1.25, para leña con un 30 % de humedad, debido a las condiciones y tiempo de almacenamiento (patio exterior, Adquirida en su totalidad en verano para ser utilizada durante el invierno). esta aumenta su porcentaje de humedad

▪ **Factor por antigüedad (A):**

- la antigüedad de los calefactores es de las viviendas N°1 y N°2 es de 6 y 9 años respectivamente, en ambos casos menor a los 15 años necesarios para considerar este factor mayor a 1. Por lo tanto considerando $A = 1$.

De acuerdo a las horas de uso semanales de cada calefactor, las emisiones producidas por la vivienda son las siguientes:

- Emisiones vivienda piloto N°1:

Tabla 5.74: Emisiones MP2, 5 anuales situación inicial casa N°1.

| Emisión por hora (gr) | Horas de uso semanal | Emisiones semanales (gr) | Emisiones mensuales (kg) | Emisiones anuales (kg) |
|-----------------------|----------------------|--------------------------|--------------------------|------------------------|
| 10,192 | 49 | 499,4 | 2,2 | 7,7 |

Fuente 123: Elaboración propia.

- Emisiones vivienda piloto N°2:

Tabla 5.75: Emisiones MP2, 5 anuales situación inicial casa N°2.

| Emisión por hora (gr) | Horas de uso semanal | Emisiones semanales (gr) | Emisiones mensuales (kg) | Emisiones anuales (kg) |
|-----------------------|----------------------|--------------------------|--------------------------|------------------------|
| 23,89 | 49 | 1.170,5 | 5,2 | 18 |

Fuente 124: Elaboración propia.

Como se observa en las tablas 5.74 y 5.75, considerando que un mes consta de 4.4 semanas en promedio y una duración del invierno de 3,5 meses las emisiones de material particulado alcanzan valores de 7,7 kilos anuales y 18 kilos anuales, para las viviendas N° 1 y N°2 respectivamente.

Al producirse el recambio las emisiones son nulas, por lo que el valor anterior corresponde directamente al material particulado evitado tras el recambio del sistema de calefacción.

5.5 Percepción de las familias

Una vez implementado el recambio y al estar las familias utilizando los equipos, se realizó una pequeña entrevista para conocer la percepción personal de las familias en cuanto al sistema implementado, obteniendo las siguientes respuestas

5.5.1 Familia vivienda piloto N° 1

5.5.1.1 Aspectos positivos

- **Limpieza interior:** sensación de seguridad y tranquilidad al saber y sentir que la casa se encuentra libre de emisiones que afecten a la salud familiar.
- **Buena distribución del calor:** se declara que el sistema funciona bien calentando el hogar y que abarca la mayor parte de este.
- **Calor confortable:** se hace la diferencia con el sistema anterior en que el calor producido por el calefactor a leña llegaba a ser sofocante, provocando transpiración y teniendo incluso que desabrigarse, a diferencia del caso actual en que la percepción de la calefacción es de un calor más “cómodo” y constante, permitiendo transitar por la mayor parte de la casa sin la necesidad de abrigarse ni desabrigarse en exceso
- **Comodidad de uso:** se define el sistema como muy cómodo ya que no se debe estar constantemente pendiente del él. Una vez programada la temperatura este funciona automáticamente.
- **Fácil adquisición de insumo:** no es necesario salir a comprar nada ni estar atento a que se acabe algún combustible determinado.

5.5.1.2 Aspectos negativos:

- **Inseguridad respecto a cortes de luz:** uno de los aspectos negativos que se mencionan es que si en algún momento dado se producen cortes del suministro eléctrico no contarían con calefacción.
- **Costos:** se reconoce a los costos como un factor neutro al mantenerse muy similares a periodos anteriores

5.5.2 Familia vivienda piloto N° 2

5.5.2.1 Aspectos positivos

- **Seguridad:** La dueña siente una mayor seguridad con estos equipos ya que al tener hijas pequeñas no existe el riesgo de quemaduras por la manipulación de los equipos, a diferencia de las situaciones anteriores
- **Amabilidad con el medio ambiente:** Uno de los motivos por los que la familia ha cambiado de calefacción es una motivación propia por aportar con la descontaminación por lo que este nuevo sistema les favorece sin perjudicar la calidad interior del aire.
- **Calor confortable:** La dueña de hogar declara sentirse cómoda con la temperatura de la vivienda cuando se encuentra en ella pero no le provoca una gran diferencia respecto a los sistemas anteriores.
- **Fácil adquisición del energético:** Al igual que en la vivienda N°1 da comodidad el no ser necesario salir a comprar nada ni estar atento a que se acabe algún combustible determinado.

5.5.2.2 Aspectos negativos:

- **Manipulación de los equipos:** Al momento de la encuesta aún no se estaba familiarizado con la manipulación y control de los equipos por lo que se percibe como una dificultad.
- **Funcionamiento del equipo:** La familia esta acostumbrada a encender la calefacción y calentarse rápidamente cuando es necesario y luego apagarla y así sucesivamente por lo que a veces el funcionamiento del equipo (de mayor enfoque a la climatización) genera incomodidad
- **Costos:** Siempre se considera este punto como negativo por el hecho de gastar dinero en calefacción pero se declara que los gastos se han mantenido similares a la situaciones previas

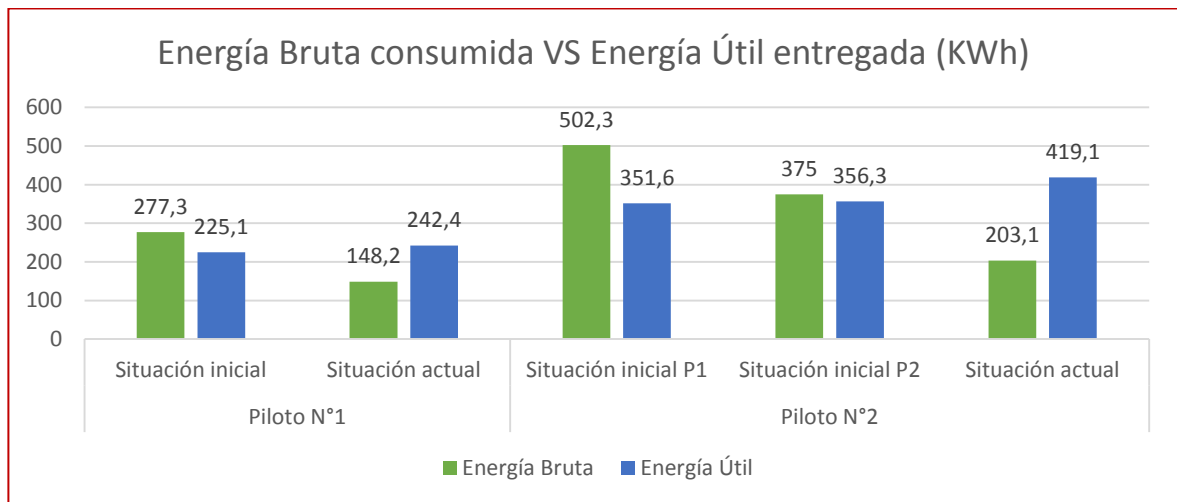
Sin importar cualquier calculo teórico que se pueda realizar el resultado más significativo respecto al confort es la percepción de los usuarios ya que estos son los que finalmente validan y pueden promocionar y difundir el uso de cualquier tipo de sistema de calefacción es por esto que esta encuesta final es de valiosa importancia donde en general la percepción de los usuarios es positiva en todos los ámbitos del análisis realizado.

Capítulo 6 Conclusiones y recomendaciones

Una vez finalizado el análisis se puede concluir que el sistema de calefacción eléctrico propuesto por ENEL DISTRIBUCIÓN que fue evaluado en el desarrollo de la presente memoria arrojó resultados favorables en cada ámbito analizado, tal como se observa a continuación.

- Consumo mensual de energía:

Figura 6.1: Comparativo energético de las viviendas.



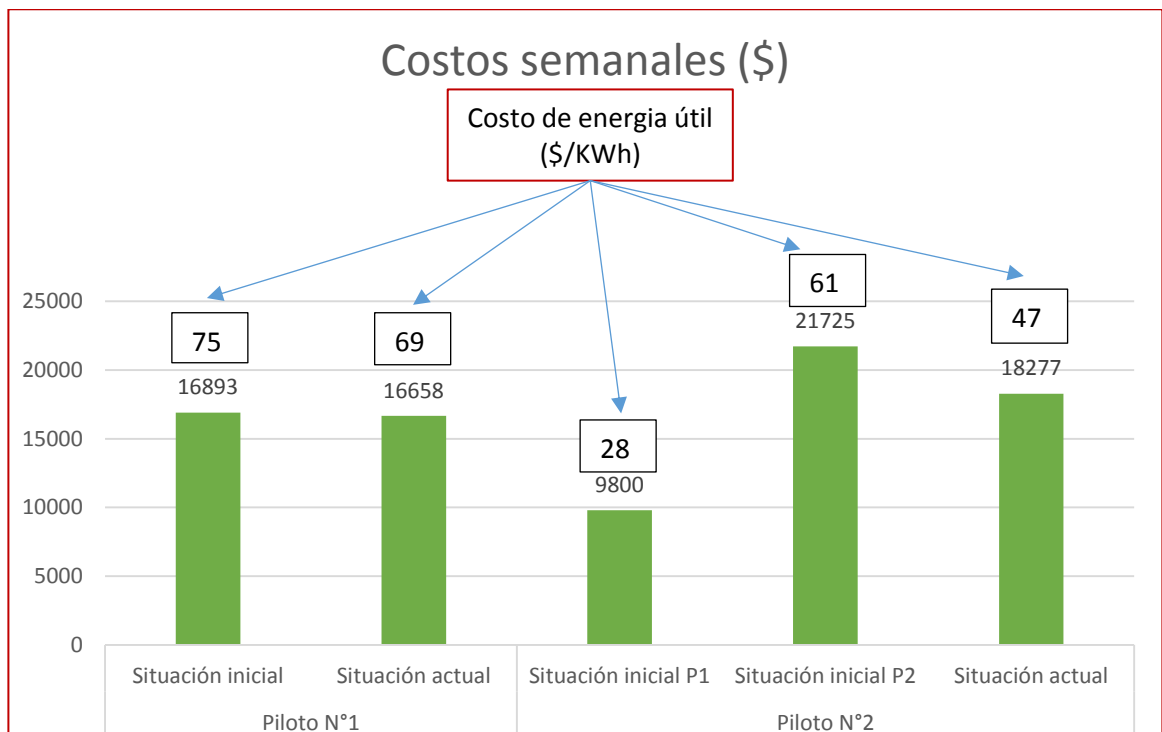
Fuente 125: Elaboración propia.

En la figura 6.1 se puede observar claramente que respectivas situaciones actuales de ambas viviendas, la energía calórica útil entregada por el sistema es mayor a la energía bruta consumida en comparación a cualquiera de las situaciones previas. Esto evidencia claramente la eficiencia del sistema incorporado. Este punto pudiese incluso volverse más eficiente al implementar mejoras en aislación para la envolvente de las viviendas.

Además, cabe señalar que dicha eficiencia energética está dada claramente por la utilización de un equipo Split como principal del sistema. Por lo tanto una posible mejora sería la utilización de un sistema Multi-Split en sustitución de los equipos radiadores de muro.

- Costos

Figura 6.2: Comparación de costos para cada vivienda.



Fuente 126: Elaboración propia.

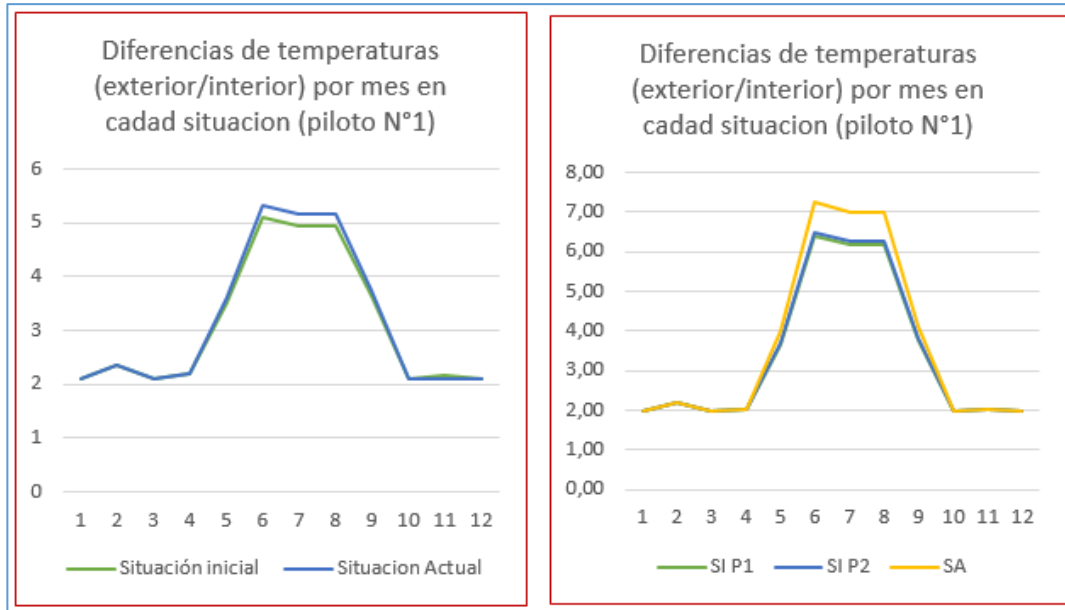
Como ya se ha mencionado, el punto de comparación es el costo de la energía útil. En la figura 6.2 se puede apreciar que el costo unitario de un kilowatt-hora es menor tanto respecto a la utilización de la leña e la vivienda N°1 como a la utilización de otros combustibles (GLP Y Kerosene) en la vivienda N°2. Para el caso de la comparación con el primer periodo de evaluación

de esta última vivienda (correspondiente a utilización de leña como combustible), se nota una gran disminución de los costos. Esto debido al carácter informal del proveedor de la leña y por ende su bajo costo de adquisición.

En general se puede concluir que el sistema es favorable en cuantos a los costos, pero se debe tener en consideración la situación en que la compra de leña sea a precios más bajos. Esto implicaría que el sistema no lograría ser favorable respecto de costos para zonas del país en que este combustible se transa a precios más bajos que los de la Región Metropolitana, como es el caso del sur de Chile. Donde, además, se debe hacer notar que el problema del material particulado es más grave aún; es por esto que este punto se debe mencionar como una acotación de la aplicación y alcance de este sistema restringiéndolo a la Región Metropolitana.

- Temperatura interior

Figura 6.3: Comparación del calor aportado a las viviendas.



Fuente 127: Elaboración propia.

Respecto a la temperatura interior en los gráficos presentes en la figura 6.3, el resultado de mayor relevancia se observa en la medida en que aumenta la temperatura interior respecto de la exterior para cada periodo y situación evaluada. Pudiéndose destacar que en ambas viviendas, una vez efectuado el recambio propuesto, aumenta la diferencia de temperatura interior de la vivienda respecto de la temperatura del ambiente exterior.

6.1 Análisis FODA

A pesar de que, como se ha visto hasta este punto, los resultados del análisis sean bastante favorables para el sistema eléctrico mixto conformado por una bomba de calor (aire acondicionado del tipo Split calefactor) y paneles radiantes, siempre existen diferentes factores positivos o negativos que pueden ser evaluados para definir el entorno -favorable o no- en que se desarrolla algún proyecto. En este sentido se expondrá a continuación un análisis FODA.

■ Fortalezas

- Utilización de menor cantidad energía, sistemas más eficiente.
- Sistemas más afable con el medio ambiente al eliminar las emisiones de contaminantes al exterior y mejorar la calidad del aire interior de una vivienda.
- Igualación en términos de confort a otras alternativas de calefacción.
- Mayor seguridad para los habitantes de la vivienda, eliminándose el riesgo de accidentes como incendios o quemaduras.

■ Oportunidades

- Opción de penetrar el mercado con el sistema propuesto, en concordancia con la modificación de la normativa vigente respecto del uso de combustibles de biomasa.
- Promover el uso de energías renovables en la población del Gran Santiago.
- Sistema de funcionamiento útil tanto para la calefaccionar como para enfriar, resultando en una oportunidad de diferenciación que puede alcanzar un mayor público objetivo.

- **Debilidades**

- Altos costos referentes a la inversión inicial.
- Incertidumbre ante los cortes de suministro eléctrico.
- Necesidad de la correcta utilización de los equipos y adecuada aislación de la vivienda para su desempeño eficiente.
- El consumidor objetivo debe circunscribirse sólo a zonas urbanas donde el tendido eléctrico este bien implementada.

- **Amenazas**

- Posible aparición de otras opciones tecnológicas de mayor facilidad y comodidad de uso según las costumbres de los usuarios.
- El uso inadecuado del sistema puede no tener los resultados esperados, provocando la disconformidad de los usuarios. Por ende debe adiestrarseles.

6.2 Del confort térmico

De acuerdo a este tema, corresponde señalar que el confort térmico puede ser el factor principal después de los costos a la hora de decidir respecto a que sistema de calefacción podría ser elegido para una vivienda. Respecto de lo anterior, si bien el sistema evaluado es bastante prometedor, es necesario señalar dos de los aspectos de vital importancia para el correcto funcionamiento de este tipo de sistemas:

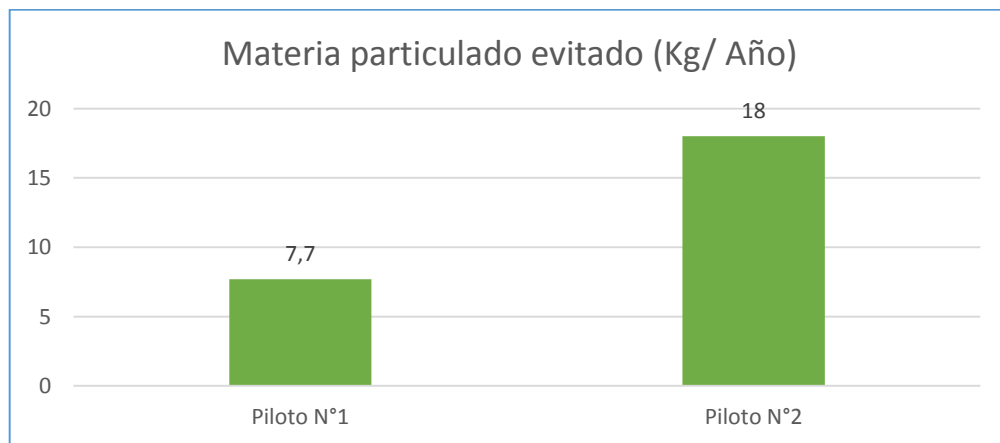
- I. Una eficiente aislación de la vivienda: esto puede lograrse mediante el mejoramiento térmico de la envolvente, reduciendo los puentes térmicos existentes en las viviendas que se presentan en los lugares donde un material correspondiente a la envolvente cuenta con una resistencia al paso del calor considerablemente menor a los materiales adyacentes. Algunos casos comunes de este fenómeno son las cadenas y pilares de hormigón, la calidad del aislante en las techumbres o el tipo de ventanas. Siendo los últimos dos relativamente asequibles de mejorar.

- II. En segundo lugar -y a percepción personal- de mayor importancia que el caso anterior, es la concientización y educación respecto a temas de eficiencia energética y sustentabilidad. Una forma relativamente factible de lograr este objetivo y a la vez optimizar el desempeño de este sistema de calefacción, es que a la par de la posible venta de este tipo de equipos se promueva y eduque al usuario sobre la climatización interior de una vivienda considerando una perspectiva de aplicación que les resulte provechosa. Tales como una correcta ventilación, adecuado aprovechamiento de la energía solar y el correcto uso de los equipos. Para este efecto durante la ejecución de este proyecto se introdujo a las familias en este tema, desarrollándose un pequeño manual para el usuario. (Para mayor detalle dirigirse al anexo J).

6.3 Del material particulado evitado

Como ha sido señalado con anterioridad en este documento, el material particulado fino respirable es de los “contaminantes” más dañinos para la población. Tema que ha logrado captar fuertemente la atención de las autoridades, puesto que la problemática provocada a los seres humanos se traduce en diferentes complicaciones como el aumento en las enfermedades respiratorias, lo que conlleva la mayor demanda y utilización de instalaciones de la salud, pudiendo además provocar pérdidas de días laborales, entre otras. Consecuencias que, además de disminuir la calidad de vida, inciden en la disminución la productividad a nivel país; generándose, por ende, costos económicos tanto para la población como para el estado, por lo que es posible cuantificar en términos monetarios el importante significado de disminuir la cantidad de este tipo de emisiones. Lo anterior, para este caso en particular se traduce en los siguientes resultados. En la tabla de la figura 6.4 se observan la masa de material particulado evitado gracias a la incorporación de equipo mixto de calefacción en el hogar.

Figura 6.4: Emisiones evitadas por las viviendas.



Fuente 128: Elaboración propia.

Considerando un valor de US\$ 100.000 anuales por la reducción de una tonelada de MP10⁷⁷

Cada vivienda logra ahorrar al Estado las siguientes cifras:

- Vivienda N°1: 770 US\$
- Vivienda N°2: 1800 US\$

Si bien se puede considerar que particularmente no son montos muy elevados. Al extrapolarse estas sumas a nivel comunal y de la ciudad, el resultado será claramente significativo.

⁷⁷ AGIES del anteproyecto de normas de emisión para artefacto de uso residencial que combustionan con leña y otros combustibles de biomasa.

Capítulo 7 Bibliografía y referencias

7.1 Lista de figuras, tablas e Ilustraciones

Ilustraciones

| | |
|---|----|
| Ilustración 1: Ejemplo de tipos de transferencia de calor. | 34 |
|---|----|

Figuras

| | |
|--|----|
| Figura 2.1: Fenómeno de la inversión térmica en comparación a una situación normal..... | 8 |
| Figura 2.2: Distribución de contaminantes por sector. | 13 |
| Figura 3.1: Comuna de Maipú en la Ciudad de Santiago. | 20 |
| Figura 3.2: Ubicación específica de cada piloto dentro de la comuna. | 21 |
| Figura 3.3: Equipo principal instalado en vivienda. | 22 |
| Figura 3.4: Equipo secundario instalado en vivienda. | 24 |
| Figura 3.5: Distribución interior vivienda piloto N°1 | 26 |
| Figura 3.6: Distribución interior vivienda piloto N°2 | 27 |
| Figura 4.1: Diagrama explicativo, comparativo de rendimiento para equipos comunes..... | 40 |
| Figura 4.2: Histograma de renovaciones de aire por hora viviendas de bajos ingresos..... | 50 |
| Figura 5.1 Temperatura exterior respecto al confort para el año 2015. | 67 |
| Figura 5.2: Temperatura exterior respecto al confort para el año 2016. | 68 |
| Figura 5.3: Transmitancias térmicas para vidrios. | 83 |
| Figura 5.4: Transmitancias para marcos de ventanas..... | 83 |
| Figura 5.5: Configuración de techo frío. | 85 |
| Figura 5.6: Esquema aislación en la techumbre. | 86 |
| Figura 5.7: Porcentaje de uso por tipo de calefactor..... | 96 |

| | |
|--|------------|
| Figura 5.8: Distribución de costos semanal por tipo de energético. Situación inicial, casa N°1. | 101 |
| Figura 5.9: Consumo energético semanal por tipo de energético. | 102 |
| Figura 5.10: Energía Útil entregada a la vivienda. | 103 |
| Figura 5.11: Consumo energético semana situación actual casa N°1. | 107 |
| Figura 5.12: Consumo energético versus energía útil entregada por el sistema. | 108 |
| Figura 5.13: Comparación de consumo versus energía entregada por semana. | 109 |
| Figura 5.14: Comparación de costos mensuales en las situaciones. | 110 |
| Figura 5.15: Consumo energético bruto semanal por periodo y tipo de energético. | 118 |
| Figura 5.16: Energía útil entregada por los sistemas de calefacción por energético en cada periodo..... | 119 |
| Figura 5.17: Energía útil vs energía bruta en cada periodo..... | 121 |
| Figura 5.18: Comparación de costos semanal para cada periodo..... | 121 |
| Figura 5.19: Distribución de costos según equipo utilizado..... | 129 |
| Figura 5.20: Costo de la energía útil..... | 130 |
| Figura 5.21: Consumo de energía bruta vs energía útil para cada situación..... | 130 |
| Figura 5.22: Comparación de costos de acuerdo a cada Situación..... | 131 |
| <i>Figura 5.23: Dimensiones del perímetro exterior vivienda n°1.</i> | <i>135</i> |
| <i>Figura 5.24: Dimensiones perímetro vivienda N°2.....</i> | <i>136</i> |
| <i>Figura 5.25: Temperatura interior vs confort, casa N°1 situación inicial.....</i> | <i>150</i> |
| <i>Figura 5.26: Temperatura interior vs confort casa N°1 situación actual.</i> | <i>151</i> |
| <i>Figura 5.27: Comparación de la temperatura interior en ambas situaciones Vivienda N°1.....</i> | <i>152</i> |
| <i>Figura 5.28: Comparación del aumento de temperatura respecto a la temperatura exterior. En cada situación, vivienda N°1.</i> | <i>153</i> |
| <i>Figura 5.29: Temperaturas situación inicial periodo 1, en relación al confort.</i> | <i>155</i> |
| <i>Figura 5.30: Temperaturas situación inicial periodo 2 en relación al confort.</i> | <i>156</i> |
| <i>Figura 5.31: Temperaturas situación actual en relación al confort.</i> | <i>157</i> |
| <i>Figura 5.32: Comparación de las Temperaturas interiores para cada situación.</i> | <i>158</i> |
| <i>Figura 5.33: Comparación del aumento de temperatura interior respecto al exterior en cada situación.</i> | <i>159</i> |

| | |
|---|-----|
| Figura 6.1: Comparativo energético de las viviendas. | 168 |
| Figura 6.2: Comparación de costos para cada vivienda..... | 169 |
| Figura 6.3: Comparación del calor aportado a las viviendas. | 171 |
| Figura 6.4: Emisiones evitadas por las viviendas. | 175 |
| Figura 8.1: Coincidencia de climas entre zona de estudio de la ASHRAE y zona central de Chile. | 187 |
| Figura 8.2: Ilustración de gráficos para aproximación de factor P. | 189 |
| Figura 8.3: Grafico final para unificación del factor P. | 189 |
| Figura 8.4: Temperaturas horarias, estación Pudahuel. (2015)..... | 190 |
| Figura 8.5: Temperaturas horarias, estación Pudahuel. (2016)..... | 191 |
| Figura 8.6: Detalle del consumo eléctrico vivienda N°2. | 203 |

Tablas

| | |
|--|----|
| Tabla 2.1: Cantidad de contaminantes emitidos según tipo de fuente..... | 10 |
| Tabla 4.1: Poder calorífico inferior según especie de madera. | 44 |
| Tabla 4.2: Ejemplo de pérdidas en el proceso de combustión de un calefactor a leña. | 45 |
| Tabla 4.3 : Tabla de la ASHRAE para ganancias térmicas según actividad física. | 55 |
| Tabla 4.4: Factor T, para las emisiones según el tipo de leña utilizado..... | 63 |
| Tabla 4.5: Valore para factor h debido a la humedad de la leña..... | 64 |
| Tabla 4.6: Factor por antigüedad..... | 65 |
| Tabla 5.1: Temperaturas exteriores para la zona de Maipú. Año 2015..... | 67 |
| Tabla 5.2: Temperaturas exteriores para la zona de Maipú. Año 2016..... | 68 |
| Tabla 5.3: Radiación solar por plano de incidencia para la zona de estudio. | 69 |
| Tabla 5.4: Factores de reducción por orientación de las superficies expuestas. | 70 |
| Tabla 5.5: Radiación solar según orientación. | 71 |

| | |
|---|-----|
| Tabla 5.6: Transmitancia tipo de muro 1 primer piso..... | 75 |
| Tabla 5.7: Transmitancias tipo de muro 1(a) (primer piso) () | 75 |
| Tabla 5.8: Transmitancia de tipo de muro 2 (Segundo piso) | 76 |
| Tabla 5.9: Transmitancias cadenas y sobre cimientos de hormigón armado..... | 76 |
| Tabla 5.10: Transmitancias bloques de vidrio. | 77 |
| Tabla 5.11: Transmitancias mortero de pega.. | 77 |
| Tabla 5.12: Ponderación de transmitancias para muro con bloques de vidrio. | 78 |
| Tabla 5.13: Transmitancia tipo de muro 1 vivienda N°2..... | 79 |
| Tabla 5.14 Transmitancia tipo de muro 2 vivienda N°2..... | 79 |
| Tabla 5.15: Transmitancia tipo de muro 3 vivienda N°2..... | 80 |
| Tabla 5.16: Transmitancia tipo de muro 4 vivienda N°2..... | 80 |
| Tabla 5.17: Cadenas y sobre cimientos de hormigón 1 casa N°2. | 81 |
| Tabla 5.18: Cadenas y sobre cimientos de hormigón 2 casa N°2. | 81 |
| Tabla 5.19: Transmitancias calculadas para puertas. | 84 |
| Tabla 5.20: Transmitancias para cerchas de madera..... | 87 |
| Tabla 5.21: Transmitancias aislante en cubierta de cielo. | 88 |
| Tabla 5.22: Ponderación de transmitancias para cubierta de cielo..... | 88 |
| Tabla 5.23: Transmitancia tipo de piso 1. | 89 |
| Tabla 5.24: Transmitancia tipo de piso 2. | 89 |
| Tabla 5.25: Transmitancia tipo de piso 3. | 90 |
| Tabla 5.26: Transmitancia lineal según nivel de aislación de pisos. | 90 |
| Tabla 5.27: Horas de uso semanal por tipo de calefactor. Situación inicial vivienda N°1. | 96 |
| Tabla 5.28: Consumo semanal por tipo de energético..... | 97 |
| Tabla 5.29: Precio de venta leña Casa piloto N°1. | 99 |
| Tabla 5.30: Precio de venta GLP Casa piloto N°1..... | 99 |
| Tabla 5.31: Gastos semanales por energético situación inicial casa N°1. | 101 |
| Tabla 5.32: Consumo de energía bruta semanal vivienda N°1. | 102 |
| Tabla 5.33: Energía útil entregada por los equipos para la calefacción. | 103 |
| Tabla 5.34: Consumo semanal calefactor principal (bomba de calor) | 105 |
| Tabla 5.35: Consumo semanal calefactor secundario (panel radiante eléctrico)..... | 106 |

| | |
|---|------------|
| Tabla 5.36: Consumo de energía bruta total .Situación actual casa N°1..... | 106 |
| Tabla 5.37: Energía útil entregada por los equipos de calefacción, situación actual, casaN°1. | 107 |
| Tabla 5.38: Costo de la energía útil, situación Actual casa N°1. | 109 |
| Tabla 5.39: Régimen de uso de calefacción situación inicial periodo uno casa N°2..... | 112 |
| Tabla 5.40: Consumo de energéticos, situación inicia, periodo 1, Casa N°2. | 114 |
| Tabla 5.41: Precio de venta para la leña en la vivienda N°2. | 115 |
| Tabla 5.42: Precio de venta para GLP en la vivienda N°2. | 115 |
| Tabla 5.43: Precio de venta para kerosene en la vivienda N°2..... | 116 |
| Tabla 5.44: Costos semanales por periodo, situación inicial, casa N°2. | 116 |
| Tabla 5.45: Distribución de uso de energéticos por periodo..... | 117 |
| Tabla 5.46: Consumo energético semanal por periodo y tipo de energético. | 118 |
| Tabla 5.47: Energía útil entregada por los sistemas de calefacción en cada periodo. | 119 |
| <i>Tabla 5.48: Régimen semanal de horas de uso de calefactores.</i> | <i>123</i> |
| Tabla 5.49: Consumo semanal equipos eléctricos..... | 125 |
| Tabla 5.50: Consumo semanal equipos de combustión. | 125 |
| Tabla 5.51: Consumo de energía bruta..... | 127 |
| Tabla 5.52: Energía útil entregada por los sistemas de calefacción. | 127 |
| Tabla 5.53: Correlación para la obtención de la energía útil total. | 128 |
| Tabla 5.54: Costos totales semanales. | 129 |
| <i>Tabla 5.55: transmitancia por superficie casa N1.....</i> | <i>137</i> |
| <i>Tabla 5.56: Transmitancia para piso casa N°1</i> | <i>137</i> |
| <i>Tabla 5.57: Transmitancias para cada elemento de la envolvente, casa N°2.</i> | <i>138</i> |
| <i>Tabla 5.58: Transmitancias para piso, casa N°2.</i> | <i>138</i> |
| <i>Tabla 5.59: Superficie de ventanas por orientación casa N°1.....</i> | <i>141</i> |
| <i>Tabla 5.60: Área de vidrio por orientación casa N°2.</i> | <i>142</i> |
| <i>Tabla 5.61: Ganancia térmicas por radiación mensual</i> | <i>143</i> |
| <i>Tabla 5.62: Ganancia térmicas por radiación mensual</i> | <i>144</i> |
| <i>Tabla 5.63: Carga de ocupación diaria, vivienda N°1.</i> | <i>145</i> |
| <i>Tabla 5.64: Carga de ocupación diaria, vivienda N°2.</i> | <i>145</i> |
| <i>Tabla 5.65: Ganancias térmicas totales casa N°1.....</i> | <i>148</i> |

| | |
|---|-----|
| <i>Tabla 5.66: Ganancias térmicas totales casa N°2.</i> | 148 |
| <i>Tabla 5.67: Temperatura interior casa N°1 situación inicial.</i> | 149 |
| <i>Tabla 5.68: Temperatura interior casa N°1 situación actual.</i> | 150 |
| <i>Tabla 5.69: Grados estacionales vivienda N°1.</i> | 152 |
| <i>Tabla 5.70: Temperatura interior situación inicial periodo 1.</i> | 155 |
| <i>Tabla 5.71: Temperatura interior situación inicial periodo 2.</i> | 156 |
| <i>Tabla 5.72: Temperatura interior situación actual.</i> | 157 |
| <i>Tabla 5.73: Grados estacionales vivienda N°2.</i> | 158 |
| Tabla 5.74: Emisiones MP2, 5 anuales situación inicial casa N°1. | 164 |
| Tabla 5.75: Emisiones MP2, 5 anuales situación inicial casa N°2. | 164 |
| Tabla 8.1: Régimen de uso de calefactores, situación inicial, vivienda N°1. | 198 |
| Tabla 8.2: Régimen de uso de calefactores, situación inicial, vivienda N°1. | 199 |
| Tabla 8.3: Régimen de uso de calefactores, situación inicial, vivienda N°2. | 200 |
| Tabla 8.4: Carga de ocupación diaria vivienda N°1. | 201 |
| Tabla 8.5: Carga de ocupación diaria vivienda N°2. | 202 |

Fotografías

| | |
|--|-----|
| Fotografía 8.1: Exterior vivienda piloto N°2. | 204 |
| Fotografía 8.2: Exterior vivienda piloto N°2, (1). | 205 |
| Fotografía 8.3: Exterior vivienda piloto N°2, (2). | 206 |
| Fotografía 8.4: Radiador eléctrico de muro, (1). | 207 |
| Fotografía 8.5: Radiador eléctrico de muro, (2). | 207 |
| Fotografía 8.6: Radiador eléctrico de muro, (3). | 208 |

7.2 Libros, artículos e informes técnicos

1. Agencia Chilena de Eficiencia Energética (ACEE), (2015). Véase “Qué es eficiencia energética” En <http://www.acee.cl/eficiencia-energetica/que-es-ee/> .
2. American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc (ASHRAE), ASHRAE Handbook Fundamentals, U.S.A, Atlanta 2009. Sections 16.18, 18.4, 19.2.
3. Ambiente Consultores. Análisis Comparativo de Programas de Recambio Tecnológico para Estufas a Leña y Evaluación de su Implementación en la R.M.”, para CONAMA R.M, Santiago, Chile 2010.
4. Carrier air conditioning Company. Handbook of air conditioning system design.
5. Corporación de Desarrollo Tecnológico, Propuesta de medidas para el uso eficiente de la leña en la Región Metropolitana de Santiago, Archivos CDT, Santiago, Chile 2012.
6. Corporación de Desarrollo Tecnológico, Manual de acondicionamiento térmico y criterios de intervención. CDT, Santiago, Chile 2015.
7. Cauce. Santiago : Soc. Ed. La República, 1983-1989 (Santiago : Tecnoprint) 7 v., n° 165, (4-10 jul. 1988), p. 44-45
8. Instituto Nacional de Estadísticas, Informe Anual, Medio ambiente, Santiago Chile 2015.
9. Instituto de Salud Pública (ISP), Libro de metodologías aprobadas. Método C-28 para la “DETERMINACION DE MATERIAL PARTICULADO Y CERTIFICACION Y AUDITORIA DE CALEFACTORES A LEÑA”, junto a otros métodos, Superintendencia de electricidad y combustible. Chile 2016.
10. Instituto geográfico militar, Mapa climático de América, IGM, Santiago Chile 2014.
11. Meléndez, Telmo. Salemos Santiago: Los problemas ambientales de Chile y sus alternativas de solución. Biblioteca Nacional de Chile (DIBAM), Santiago, Chile 1991.
12. Memoria Chilena, Art. 3507. Un fenómeno de la ciudad moderna: La contaminación atmosférica en Santiago, Biblioteca Nacional de Chile (DIBAM), Santiago, Chile 2013.

13. MINVU, Manual de Procedimientos para la calificación energética en viviendas chilenas.
14. MINVU, listado oficial de soluciones térmicas Santiago, Chile 2014.
15. Ministerio de Medio Ambiente, Informe de estado del medio ambiente artículo 52016, Cap. 1, Calidad del aire en Santiago, Santiago, Chile 2014.
16. O’Ryan, Raúl y Larraguibel, Luis. CONTAMINACION DEL AIRE EN SANTIAGO: ESTADO ACTUAL Y SOLUCIONES, Departamento de Ingeniería Industrial, Universidad de Chile, Santiago, Chile.
17. Proveedores técnicos, MINVU. NCh 853. Of 2007. Acondicionamiento térmico – Envoltura térmica de edificios – Cálculo de resistencias y transmitancias térmica.
18. Proveedores técnicos, MINVU. NCh 1960 of 89 Aislación Térmica – Cálculo de coeficientes volumétricos globales
19. Shan K. Wang. Hand Book of Air conditioning and refrigeration Second edition, McGraw-Hill, New York, U.S.A 2001.
20. SINIA, Análisis técnico-económico de la aplicación de una norma de emisión para artefactos de uso residencial que combustión con leña y otros combustibles de biomasa. Estudio desarrollado por Ambiente Consultores para CONAMA. Versión corregida mayo, 2007)
21. Sistema de información Nacional de Calidad del Aire (SINCA, estación de Pudahuel. Maipú, Santiago, Chile 2015, 2016.
22. Vitrina ambiental, centro de sustentabilidad Universidad Andrés Bello, Santiago Chile 2016.

7.2 Enlaces web

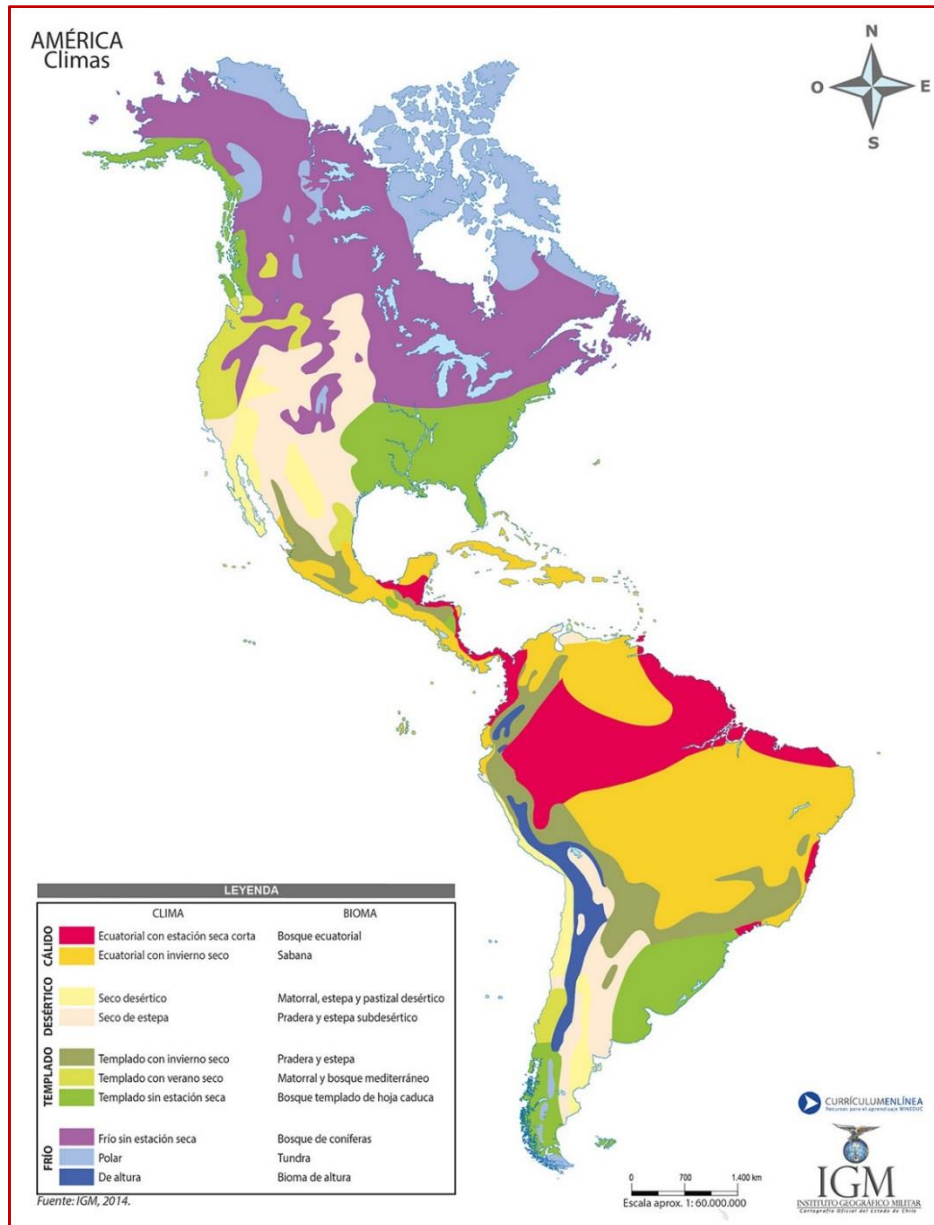
1. Valores para la radiación solar en la comuna de Maipú, Explorador solar de la Universidad de Chile, www.walker.dgf.uechile.cl.
2. MINVU, Manual de Procedimientos para la calificación energética en viviendas chilenas.
3. Precios de venta para la leña en Santiago, www.easy.cl, www.sodimac.cl.
4. Precios de venta para el gas licuado en Santiago, www.gasenlinea.gob.cl, www.chilectra.cl
5. Tarifas eléctricas para viviendas unifamiliares, www.eneldistribucionc.cl
6. Superintendencia de electricidad y combustible, www.sec.cl
7. Informe para la calidad del aire, www.unab.ambiental.cl

Capítulo 8 Anexos

A. Mapa climático de América, Instituto geográfico militar

Coincidencia de climas entre zona de estudio de la ASHRAE y zona central de Chile.

Figura 8.1: Coincidencia de climas entre zona de estudio de la ASHRAE y zona central de Chile.



Fuente 129: Instituto Geográfico Militar.

B. Determinación del factor P debido al funcionamiento de un calefactor a leña, para la determinación del material particulado emitido.

Este factor depende directamente del funcionamiento de un calefactor a leña, específicamente de la tasa de quemado que este mantiene durante su uso, según el “tiraje” con el cual se utiliza.

Tomando como referencia un estudio anterior desarrollado por la CDT en que, “Utilizando los datos de un estudio previo de Houck y Pitzman⁷⁸, se determinó una ecuación para el factor multiplicativo de emisión para tasas de quemado entre 0,6 y 6 kg/.Considerando que para tasas de quemado mayores que 1 kg/h, el factor P es menor que 1 y para tasas menores el factor es mayor que uno”. Obteniendo la siguiente expresión:

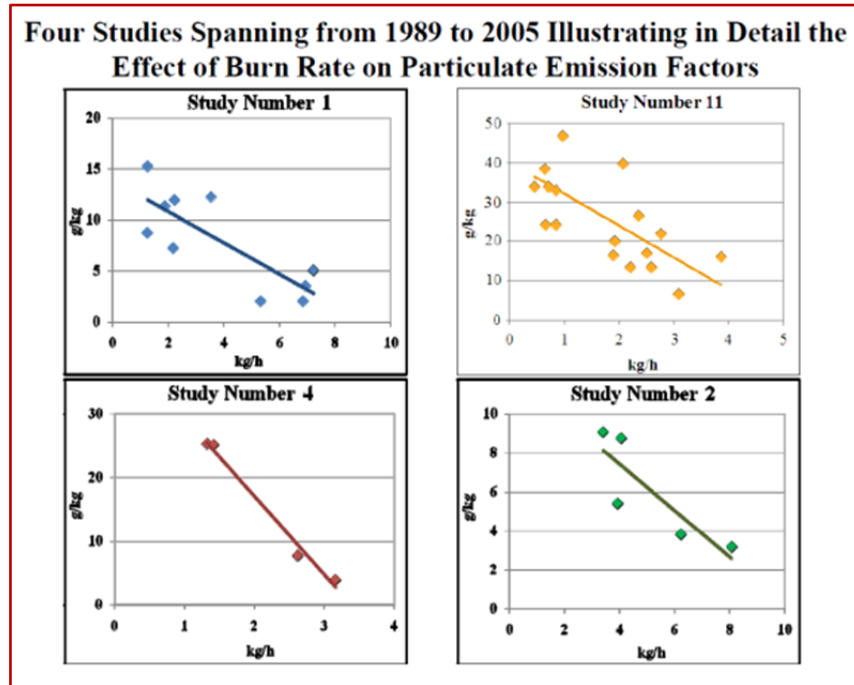
$$P = -0,1765Q + 1,1765$$

Dicha ecuación fue determinada estableciendo curvas de tendencia para datos de relación entre la tasa de quemado y emisiones de material particulado para 4 estudios diferentes y normalizando la curva para que el factor sea 1 para una tasa de quemado de 1 kg/h. ⁽⁷⁹⁾ Como se observa en las siguientes imágenes.

⁽⁷⁸⁾ “Emission Factors for Aged Uncertified Residential Cordwood Heaters”, James E. Houck and Lyrik Y. Pitzman, <http://www.epa.gov/ttnchie1/conference/ei17/session4/pitzman.pdf>

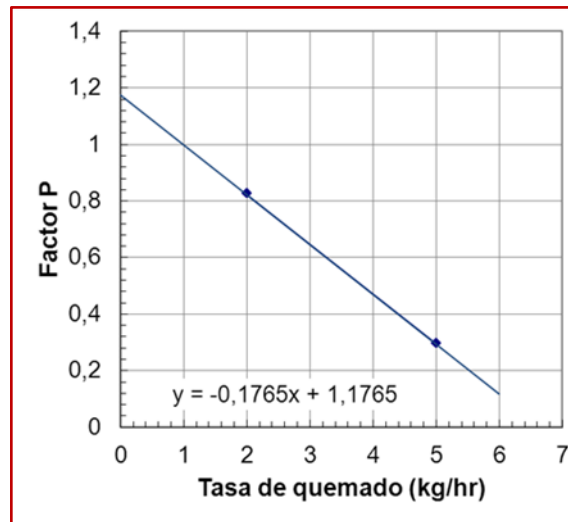
⁽⁷⁹⁾, Informe Final, “Propuesta de medidas para el uso eficiente de la leña en la Región Metropolitana de Santiago”, Desarrollado por la CDT).

Figura 8.2: Ilustración de gráficos para aproximación de factor P.



Fuente 130: "Emission Factors for Aged Uncertified Residential Cordwood Heaters", James E. Houck and Lyrik Y. Pitzman

Figura 8.3: Grafico final para unión del factor P.

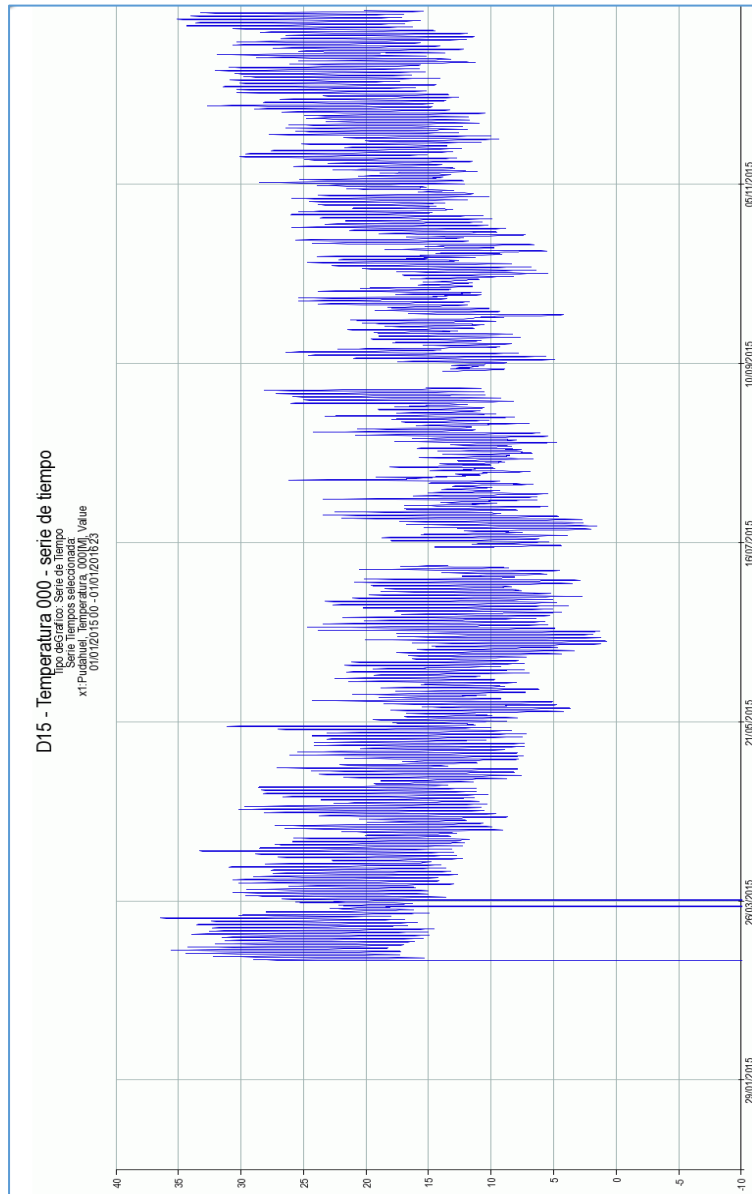


Fuente 131: "Emission Factors for Aged Uncertified Residential Cordwood Heaters", James E. Houck and Lyrik Y. Pitzman

C. Temperaturas diarias estación Pudahuel años 2015 y 2016.

C.1 Año 2015

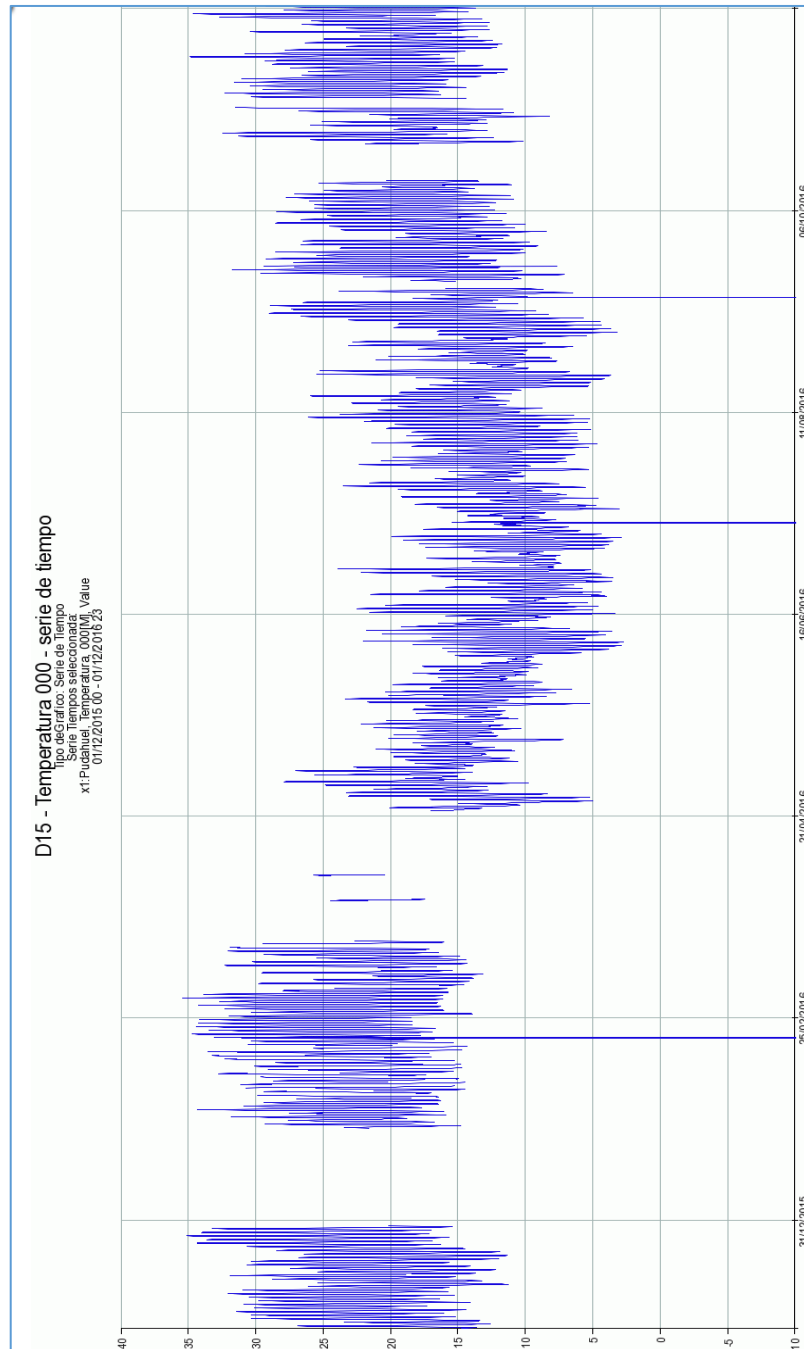
Figura 8.4: Temperaturas horarias, estación Pudahuel. (2015).



Fuente 132: SINCA, Estación Pudahuel.

C.2 Año 2016

Figura 8.5: Temperaturas horarias, estación Pudahuel. (2016).



Fuente 133: SINCA, Estación Pudahuel.

D. valores para transmitancias y resistencias térmicas

D.1 Ladrillo muros perimetrales, Listado oficial de soluciones para acondicionamiento térmico, MINVU.

| | | | | |
|----------------------------------|-------------------------------------|--|----------------------------|------------|
| 1.2.M.B3.1 | | Ladrillo Extra Titán Reforzado Estructural (290 mm x 140 mm x 94 mm) | | |
| INSTITUCIÓN | | Industrias Princesa Ltda. | VIGENCIA | Marzo 2019 |
| MECANISMO DE ACREDITACIÓN | | | | |
| Cálculo NCh 853 | | ---- | Informes de Ensaye NCh 851 | X |
| Ensayes Asociados | | ---- | Institución | N° Informe |
| NCh | Institución | N° Informe | | |
| 851 | ---- | ---- | | 1148741 |
| 850 | ---- | ---- | | 1148742 |
| | | | | 1148743 |
| AISLANTE TÉRMICO | | | | ---- |
| Nombre | | ---- | | |
| Densidad | Conductividad Térmica (λ) | Fuente Conductividad Térmica | | |
| [kg/m ³] | [W/m°C] | NCh 853 | Informes de Ensaye N° | |
| ---- | ---- | ---- | ---- | |

| ZONA TÉRMICA | ESPESOR AISLANTE [mm] | RESISTENCIA TÉRMICA (Rt) [m²KW] | TRANSMITANCIA TÉRMICA (U) [W/m²K] | RESISTENCIA AL FUEGO | |
|--------------|-----------------------|---------------------------------|-----------------------------------|----------------------|--------------|
| 1 | 0 | 0,53 | 1,88 | F-150 | |
| 2 | 0 | | | | |
| 3 | 0 | | | | |
| 4 | 0 | | | Código Listado Fuego | A.2.2.150.06 |
| 5 | 0 | | | Informe de ensaye N° | 510.577 |
| 6 | 0 | | | Institución | IDIEM |
| 7 | 0 | | | | |

| Descripción Solución Constructiva | Detalle Constructivo |
|--|----------------------|
| <p>Muro de albañilería constituido con ladrillos cerámicos hechos a máquina de nombre comercial "Extra Titan Reforzado Estructural" de dimensiones 290 x 140 x 94 mm, utilizando un mortero de pega predosificado, de 15 mm de espesor promedio entre ladrillos (con un máximo de 18 mm y un mínimo de 13 mm).</p> <p>El peso nominal de cada ladrillo es de 3,8 kilogramos.</p> | |

D.2 Tabiquería estructural, Listado oficial de soluciones para acondicionamiento térmico, MINVU.

| | |
|----------------------------------|---|
| Código 1.2.M.C2 | Muro Tabique perimetral estructura metálica con aislación térmica de poliestireno expandido. Revestimiento interior: plancha de yeso-cartón estándar de 15 mm Revestimiento exterior placa de madera tipo osb de 9.5 mm de espesor |
|----------------------------------|---|

A. Único valor de Resistencia (Rt) y Transmitancia (U) Térmica para la solución constructiva

| | | | |
|----------------------------------|------------------------------------|----------------------------------|-----------------------------------|
| RESISTENCIA TERMICA (Rt): | 1.36 (m ² *K/ W) | TRANSMITANCIA TERMICA (U) | 0.73 (W/m ² *K) |
|----------------------------------|------------------------------------|----------------------------------|-----------------------------------|

B. En caso que se modifique el espesor del material aislante manteniendo el resto de la configuración constructiva:

| | Z1 | Z2 | Z3 | Z4 | Z5 | Z6 | Z7 |
|---------------------------|------|------|------|------|------|------|------|
| Rt (m ² *K/ W) | ---- | ---- | ---- | ---- | ---- | ---- | ---- |
| U (W/m ² *K) | ---- | ---- | ---- | ---- | ---- | ---- | ---- |
| Espesor Aislante (mm) | ---- | ---- | ---- | ---- | ---- | ---- | ---- |

| Descripción de la Solución Constructiva | Genérico | ---- | Marca Comercial | X |
|---|----------|------|-----------------|---|
|---|----------|------|-----------------|---|

Muro-tabique perimetral exterior con aislación térmica de EPS, de 10 kg/m³ de densidad (o superior) en el núcleo del tabique (estructura metálica con forro exterior e interior): el elemento está constituido por una estructura metálica. Consta de montantes verticales (pie-derechos) galvanizados tipo c, de 60x48x9x0.85 mm, distanciados entre ejes a 0.40 m aproximadamente, y de dos soleras, una solera inferior y otra superior tipo c de 61x25x0.85mm. Esta estructuración metálica está forrada por una cara con una plancha de yeso-cartón estándar de 15 mm de espesor que se dispone por el lado interior del espacio habitado. La otra cara que limita con el exterior está forrada con una placa de madera tipo osb de 9.5 mm de espesor. Todo el conjunto está atornillado a la estructura de acero. Tal configuración deja espacios libres en el interior del elemento, los cuales están rellenos con planchas planas de poliestireno expandido de 10 kg/m³ y un espesor de 50 mm. El espesor total del elemento resulta ser de 85 mm aproximadamente.

NOTA: Entre la estructura metálica y el forro que se fija por el lado interior sobre esta estructura debe ir colocada una barrera de vapor (por ejemplo, laminas de polietileno de 0.05 o 0.10 mm espesor); Este tabique forrado que conforma el muro perimetral exterior envolvente podrá ser revestido adicionalmente y/o reforzado para fines de terminación, estéticos y/o estructurales, a criterio, factibilidad y especificaciones del profesional proyectista y/o calculista.

| Forma de cumplir con las exigencias | | | Densidad material aislante | Institución | | Vigencia |
|-------------------------------------|------|-------------------|----------------------------|----------------------|---|--|
| Certificado de ensaye | ---- | Cálculo (NCh 853) | X | 10 kg/m ³ | Aislapol S.A. Etsa S.A. Aislapanel S.A. Nova Chemicals Chile LTDA. | Aislapol Etsa Aislaplus Isopack |
| | | | | | | NCh 853 |

| | |
|----------------------|----------------------------------|
| <p>Corte:</p> | <p>Detalle (opcional)</p> |
|----------------------|----------------------------------|

D.3 Valores para la conductividad térmica de la Norma NCh of 2007. Anexo A, Tabla A.1.

Tabla A.1 - Conductividad térmica de materiales

| Material | Densidad aparente kg/m ³ | Conductividad térmica, λ W/(m x K) |
|------------------------------|--|---|
| Agua líquida a 0°C | 1 000 | 0,59 |
| Agua líquida a 94°C | 1 000 | 0,69 |
| Aire quieto a 0°C | 0,0012 | 0,024 |
| Aire quieto a 100°C | - | 0,031 |
| Adobe | 1 100 - 1 800 | 0,90 |
| Aluminio | 2 700 | 210 |
| Arcilla | 2 100 | 0,93 |
| Arcilla expandida | 300 | 0,09 |
| Arcilla expandida | 450 | 0,11 |
| Arena | 1 500 | 0,58 |
| Aserrín de madera | 190 | 0,06 |
| Asfaltos | 1 700 | 0,7 |
| Azulejos | - | 1,05 |
| Baldosas cerámicas | - | 1,75 |
| Betún | 1 050 | 0,16 |
| Bronce | 8 500 | 64 |
| Cascote de ladrillo | 1 300 | 0,41 |
| Capotillo de arroz | 117 | 0,06 |
| Cebada | 470 | 0,07 |
| Cobre | 8 930 | 380 |
| Escorias | 800 | 0,25 |
| | 1 000 | 0,29 |
| | 1 200 | 0,34 |
| | 1 400 | 0,41 |
| Enlucido de yeso | 800 | 0,35 |
| | 1 000 | 0,44 |
| | 1 200 | 0,56 |
| Enlucido de yeso con perlita | 570 | 0,18 |
| Fibro-cemento | 920 | 0,22 |
| | 1 000 | 0,23 |
| | 1 135 | 0,23 |
| Fundición y acero | 7 850 | 58 |
| Grava rodada o de machaqueo | 1 700 | 0,81 |
| Hormigón armado (normal) | 2 400 | 1,63 |
| Hormigón con áridos ligeros | 1 000 | 0,33 |

(continúa)

Tabla A.1 - Conductividad térmica de materiales (continuación)

| Material | Densidad aparente kg/m ³ | Conductividad térmica, λ W/(m x K) |
|--|--|---|
| Hormigón con áridos ligeros | 1 400 | 0,55 |
| Hormigón celular con áridos silíceos | 600 | 0,34 |
| Hormigón celular con áridos silíceos | 1 000 | 0,67 |
| Hormigón celular con áridos silíceos | 1 400 | 1,09 |
| Hormigón celular sin áridos | 305 | 0,09 |
| Hormigón en masa con grava normal: | | |
| - con áridos ligeros | 1 600 | 0,73 |
| - con áridos ordinarios, sin vibrar | 2 000 | 1,16 |
| - con áridos ordinarios, vibrados | 2 400 | 1,63 |
| Hormigón en masa con arcilla expandida | 500 | 0,12 |
| Hormigón en masa con arcilla expandida | 1 500 | 0,55 |
| Hormigón con cenizas | 1 000 | 0,41 |
| Hormigón con escorias de altos hornos | 600 | 0,17 |
| | 800 | 0,22 |
| | 1 000 | 0,30 |
| Hormigón normal, con áridos silíceos | 600 | 0,34 |
| | 800 | 0,49 |
| | 1 000 | 0,67 |
| Hormigón de viruta de madera | 450 - 650 | 0,26 |
| Hormigón de fibras de madera | 300 - 400 | 0,12 |
| | 400 - 500 | 0,14 |
| | 500 - 600 | 0,16 |
| Hormigón liviano a base de cascarilla de arroz | 570 | 0,128 |
| | 780 | 0,186 |
| | 850 | 0,209 |
| | 1 200 | 0,326 |
| Hormigón liviano a base de poliestireno expandido | 260 | 0,088 |
| | 320 | 0,105 |
| | 430 | 0,134 |
| | 640 | 0,214 |
| | 840 | 0,269 |
| | 1 100 | 0,387 |
| Ladrillo macizo hecho a máquina | 1 000 | 0,46 |
| | 1 200 | 0,52 |
| | 1 400 | 0,60 |
| | 1 800 | 0,79 |
| | 2 000 | 1,0 |

(continúa)

Tabla A.1 - Conductividad térmica de materiales (continuación)

| Material | Densidad aparente kg/m ³ | Conductividad térmica, λ W/(m x K) |
|---|--|---|
| Ladrillo hecho a mano | - | 0,5 |
| Láminas bituminosas | 1 100 | 0,19 |
| Lana de amianto | 100 | 0,061 |
| | 200 | 0,063 |
| | 400 | 0,12 |
| Lana mineral, colchoneta libre | 40 | 0,042 |
| | 50 | 0,041 |
| | 70 | 0,038 |
| | 90 | 0,037 |
| | 110 | 0,040 |
| | 120 | 0,042 |
| Lana mineral granulada | 20 | 0,069 |
| | 30 | 0,060 |
| | 40 | 0,055 |
| | 60 | 0,048 |
| | 80 | 0,044 |
| | 100 | 0,041 |
| | 120 | 0,042 |
| | 140 | 0,042 |
| Linóleo | 1 200 | 0,19 |
| Maderas | | |
| - álamo | 380 | 0,091 |
| - alerce | 560 | 0,134 |
| - coigüe | 670 | 0,145 |
| - lingue | 640 | 0,136 |
| - pino insigne | 410 | 0,104 |
| - raulí | 580 | 0,121 |
| - roble | 800 | 0,157 |
| Maderas, tableros aglomerados de partículas | 400 | 0,095 |
| | 420 | 0,094 |
| | 460 | 0,098 |
| | 560 | 0,102 |
| | 600 | 0,103 |
| | 620 | 0,105 |
| | 650 | 0,106 |
| Maderas, tableros de fibra | 850 | 0,23 |
| | 930 | 0,26 |
| | 1 030 | 0,28 |
| Mármol | 2 500 - 2 850 | 2,0 - 3,5 |

(continúa)

Tabla A.1 - Conductividad térmica de materiales (conclusión)

| Material | Densidad aparente kg/m ³ | Conductividad térmica, λ W/(m x K) |
|--|--|---|
| Moquetas, alfombras | 1 000 | 0,05 |
| Morteros de cal y bastardos | 1 600 | 0,87 |
| Mortero de cemento | 2 000 | 1,40 |
| Papel | 1 000 | 0,13 |
| Perlita expandida | 90 | 0,050 |
| Plancha de corcho | 100 | 0,040 |
| | 200 | 0,047 |
| | 300 | 0,058 |
| | 400 | 0,066 |
| | 500 | 0,074 |
| Plomo | 11 300 | 35 |
| Poliestireno expandido | 10 | 0,0430 |
| | 15 | 0,0413 |
| | 20 | 0,0384 |
| | 30 | 0,0361 |
| Poliuretano expandido | 25 | 0,0272 |
| | 30 | 0,0262 |
| | 40 | 0,0250 |
| | 45 | 0,0245 |
| | 60 | 0,0254 |
| | 70 | 0,0274 |
| Productos minerales en polvo (kieselgur, polvo mineral) | 200 | 0,08 |
| | 400 | 0,12 |
| | 600 | 0,16 |
| | 800 | 0,21 |
| | 1 000 | 0,27 |
| | 1 200 | 0,34 |
| | 1 400 | 0,40 |
| Rocas compactadas | 2 500 - 3 000 | 3,50 |
| Rocas porosas | 1 700 - 2 500 | 2,33 |
| Vermiculita en partículas | 99 | 0,047 |
| Vermiculita expandida | 100 | 0,070 |
| Vidrio plano | 2 500 | 1,2 |
| Yeso-cartón | 650 | 0,24 |
| | 700 | 0,26 |
| | 870 | 0,31 |

E. Detalle de régimen de uso de calefactores para cada vivienda

E.1 Régimen de uso de calefactores Vivienda N°1, situación inicial

Tabla 8.1: Régimen de uso de calefactores, situación inicial, vivienda N°1.

| Hora | Calefactores | | | |
|-------|--------------|-----|-----------|---------------|
| | Semana | | | Fin de semana |
| | Leña | GLP | Eléctrico | Leña |
| 1:00 | | | | |
| 2:00 | | | | |
| 3:00 | | | | |
| 4:00 | | | | |
| 5:00 | | | | |
| 6:00 | | | | |
| 7:00 | | | | |
| 8:00 | | | | |
| 9:00 | | | | |
| 10:00 | | | | |
| 11:00 | | | | |
| 12:00 | | | | |
| 13:00 | | | | |
| 14:00 | | | | |
| 15:00 | | | | |
| 16:00 | | | | |
| 17:00 | | | | |
| 18:00 | | | | |
| 19:00 | | | | |
| 20:00 | | | | |
| 21:00 | | | | |
| 22:00 | | | | |
| 23:00 | | | | |
| 0:00 | | | | |

Fuente 134: Elaboración propia.

E.2 Régimen de uso de calefactores Vivienda N°2, situación inicial

Tabla 8.2. Régimen de uso de calefactores, situación inicial, vivienda N°1.

| Hora | Calefactores | | |
|-------|--------------|-----------|-----------|
| | Periodo 1 | periodo 2 | |
| | Leña | GLP | Eléctrico |
| 1:00 | | | |
| 2:00 | | | |
| 3:00 | | | |
| 4:00 | | | |
| 5:00 | | | |
| 6:00 | | | |
| 7:00 | | | |
| 8:00 | | | |
| 9:00 | | | |
| 10:00 | | | |
| 11:00 | | | |
| 12:00 | | | |
| 13:00 | | | |
| 14:00 | | | |
| 15:00 | | | |
| 16:00 | | | |
| 17:00 | | | |
| 18:00 | | | |
| 19:00 | | | |
| 20:00 | | | |
| 21:00 | | | |
| 22:00 | | | |
| 23:00 | | | |
| 0:00 | | | |

Fuente 135: Elaboración propia.

E.3 Régimen de uso de calefactores Vivienda N°2, situación inicial

Tabla 8.3: Régimen de uso de calefactores, situación inicial, vivienda N°2.

| Hora | Equipos de calefacción | | | |
|-------|------------------------|-----------------------|------------|-----------------|
| | Bomba de calor | Radiadores eléctricos | Estufa GLP | Estufa Kerosene |
| 1:00 | | | | |
| 2:00 | | | | |
| 3:00 | | | | |
| 4:00 | | | | |
| 5:00 | | | | |
| 6:00 | | | | |
| 7:00 | | | | |
| 8:00 | | | | |
| 9:00 | | | | |
| 10:00 | | | | |
| 11:00 | | | | |
| 12:00 | | | | |
| 13:00 | | | | |
| 14:00 | | | | |
| 15:00 | | | | |
| 16:00 | | | | |
| 17:00 | | | | |
| 18:00 | | | | |
| 19:00 | | | | |
| 20:00 | | | | |
| 21:00 | | | | |
| 22:00 | | | | |
| 23:00 | | | | |
| 0:00 | | | | |

Fuente 136: Elaboración propia.

F. Cargas de ocupación diaria para la determinación de la temperatura interior

F.1 Carga de ocupación diaria vivienda N°1

Tabla 8.4: Carga de ocupación diaria vivienda N°1.

| Hora | Ocupacion días de semana | | | | | | | Ocupacion fin de semana | | | | |
|-------|--------------------------|--------|--------|------------|------|----------|--------|-------------------------|--------|--------|------------|------|
| | Madre | Hijo 1 | Hijo 2 | Sra Hijo 1 | Bebe | Empleada | Alumno | Madre | Hijo 1 | Hijo 2 | Sra Hijo 1 | Bebe |
| 0:00 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | | | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 1:00 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | | | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 2:00 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | | | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 3:00 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | | | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 4:00 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | | | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 5:00 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | | | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 6:00 | | 1 | 1 | 1 | 1 | | | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 7:00 | | 1 | 1 | 1 | 1 | | | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 8:00 | | | | 1 | 1 | | | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 9:00 | | | | 1 | 1 | | | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 10:00 | | | | 1 | 1 | 1 | | | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 11:00 | | | | | 1 | 1 | | | 1 | | | |
| 12:00 | | | | | 1 | 1 | | 1 | 1 | | | |
| 13:00 | | | | | 1 | 1 | | 1 | 1 | | | |
| 14:00 | | | | 1 | 1 | 1 | | 1 | 1 | | | |
| 15:00 | | | 1 | 1 | 1 | 1 | | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 16:00 | | | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | | 1 | 1 | 1 |
| 17:00 | | 1 | 1 | 1 | | | 1 | 1 | | 1 | 1 | 1 |
| 18:00 | 1 | 1 | 1 | 1 | | | | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 19:00 | 1 | 1 | 1 | 1 | | | | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 20:00 | 1 | 1 | 1 | 1 | | | | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 21:00 | 1 | 1 | 1 | 1 | | | | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 22:00 | 1 | 1 | 1 | 1 | | | | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 23:00 | 1 | 1 | 1 | 1 | | | | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |

Fuente 137: Elaboración propia.

F.2 Carga de ocupación diaria vivienda N°2

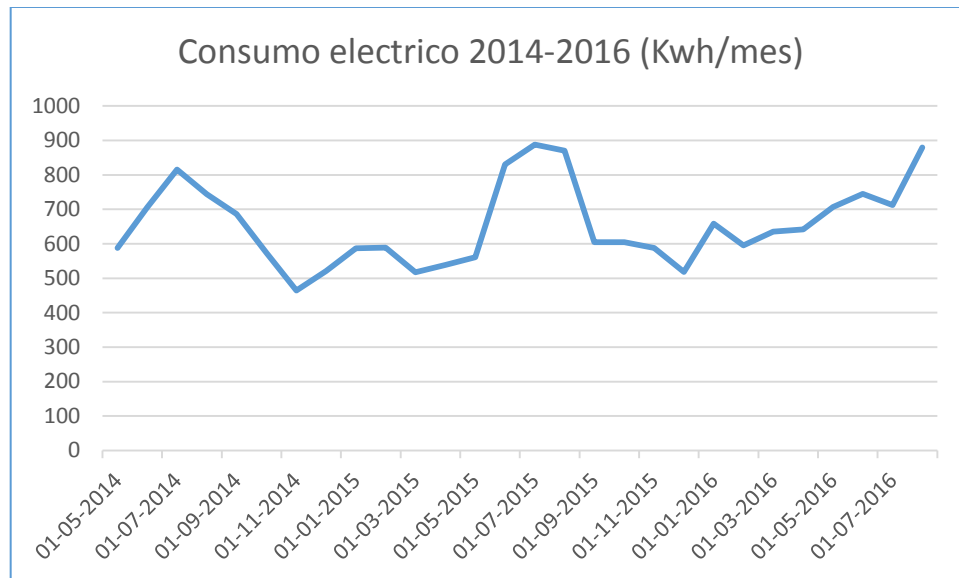
Tabla 8.5: Carga de ocupación diaria vivienda N°2.

| Hora | Ocupación días de semana | | | | Ocupación fin de semana | | | |
|-------|--------------------------|-------|--------|-------|-------------------------|-------|--------|-------|
| | Padre | Madre | Hija 1 | Hija2 | Padre | Madre | Hija 1 | Hija2 |
| 0:00 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 1:00 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 2:00 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 3:00 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 4:00 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 5:00 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 6:00 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 7:00 | | 1 | | | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 8:00 | | 1 | | | | 1 | 1 | 1 |
| 9:00 | | 1 | | | | 1 | 1 | 1 |
| 10:00 | | | | | | 1 | 1 | 1 |
| 11:00 | | | | | | | 1 | 1 |
| 12:00 | | | | | | | 1 | 1 |
| 13:00 | | 1 | | | | 1 | 1 | 1 |
| 14:00 | | 1 | | | | 1 | 1 | 1 |
| 15:00 | | 1 | | | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 16:00 | | | | | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 17:00 | | 1 | 1 | 1 | 1 | | | |
| 18:00 | | 1 | 1 | 1 | 1 | | | |
| 19:00 | | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 20:00 | | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 21:00 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 22:00 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 23:00 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |

Fuente 138: Elaboración propia.

G. Detalle del consumo eléctrico vivienda N°2

Figura 8.6: Detalle del consumo eléctrico vivienda N°2.



Fuente 139: Elaboración propia.

De este grafico se considerará que el consumo básico correspondiente a los equipos eléctricos de uso común es de 550 (Kwh/mes), por lo tanto se establece que las ganancias térmicas por equipos eléctricos corresponden a este valor.

H. Registro fotográfico

H.1 Vivienda piloto N°1

Fotografía 8.1: Exterior vivienda piloto N°2.



Fuente 140: Fotografía por Juan Carlos Fuentes, Periodista (CDT).

H.2 Vivienda piloto N°2

Fotografía 8.2: Exterior vivienda piloto N°2, (1).



Fuente 141: Elaboración propia.

Fotografía 8.3: Exterior vivienda piloto N°2, (2).



Fuente 142: Elaboración propia.

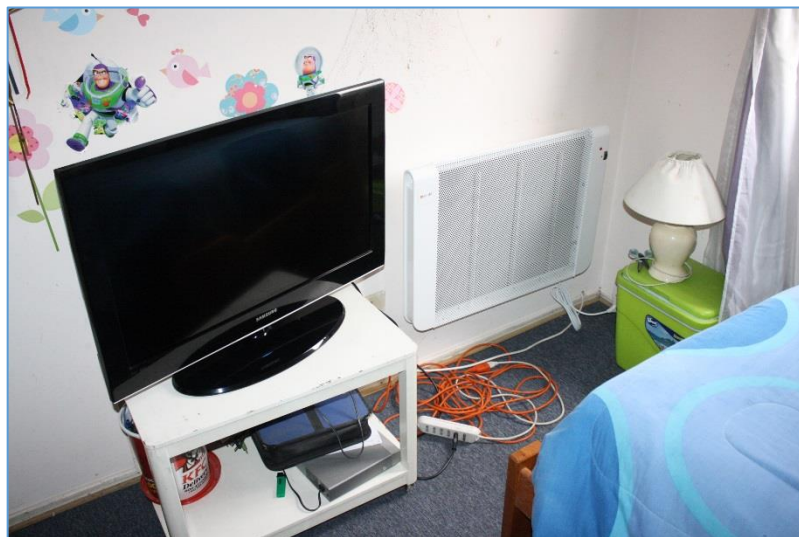
H.3 Equipos instalados

Fotografía 8.4: Radiador eléctrico de muro, (1).



Fuente 143: Fotografía por Juan Carlos Fuentes, Periodista (CDT).

Fotografía 8.5: Radiador eléctrico de muro, (2).



Fuente 144: Fotografía por Juan Carlos Fuentes, Periodista (CDT).

Fotografía 8.6: Radiador eléctrico de muro, (3).



Fuente 145: Fotografía por Juan Carlos Fuentes, Periodista (CDT).

I. Manual para el correcto uso de los sistemas mixtos de calefacción propuestos

Se adjunta en la página siguiente.