UNIVERSIDAD TECNICA FEDERICO SANTA MARIA

Repositorio Digital USM **https://repositorio.usm.cl**

Tesis USM TESIS de Pregrado de acceso ABIERTO

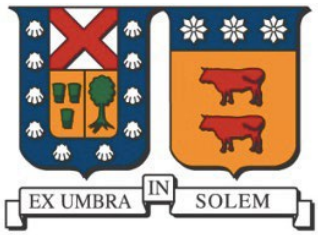
2022-05

Análisis de factibilidad técnico económica en el desarrollo de eficiencia energética de casas habitación bajo normativa nacional de construcción

Villarroel Pérez, Jorge Eduardo

https://hdl.handle.net/11673/54122

Repositorio Digital USM, UNIVERSIDAD TECNICA FEDERICO SANTA MARIA



UNIVERSIDAD TECNICA FEDERICO SANTA MARÍA
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA MECANICA
VALPARAISO - CHILE

“ANALISIS DE FACTIBILIDAD TECNICO ECONOMICA EN EL DESARROLLO DE EFICIENCIA ENERGETICA DE CASAS HABITACION BAJO NORMATIVA NACIONAL DE CONSTRUCCION”

MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE
INGENIERO MECANICO INDUSTRIAL

JORGE EDUARDO VILLARROEL PÉREZ

PROFESOR GUÍA: DR. ING. PEDRO SARIEGO PASTEN PROFESOR

CORREFERENTE: DR. ING. ALEX FLORES

Valparaíso, mayo de 2022

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a mis padres, hijos y nietos, los primeros por su apoyo y dedicación cuando estaban en este mundo, a los segundos por su paciencia y cariño siempre impulsándome a cerrar una etapa sin importar los años pasados desde mi egreso.

También a Ximena, quien me ayudó a salir adelante en momentos complicados de la vida impulsándome a tomar nuevas alternativas laborales, las cuales me permitieron ampliar mis horizontes profesionales en áreas que nunca había demostrado mis competencias, y así ir cerrando un círculo en la ingeniería mecánica.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a mi Alma Mater que me dio la acogida en mi primer ingreso y luego en una segunda etapa, también a todos los maestros y profesores que me dieron las herramientas para desarrollarme en el profesional que soy, también a aquellos que siempre estuvieron impulsando para dar el término a una importante etapa en mi vida, con sus palabras y ánimos para que luego de 40 años de haber ingresado por primera vez a la universidad poder cerrar esta etapa.

RESUMEN

En este proyecto de título, se desarrolla una aplicación práctica de eficiencia energética realizada en una casa habitación en la Comuna de Pirque, en la ocasión se realizaron todos los procesos de reingeniería en eficiencia energética, respetando los requerimientos de la norma de construcción y ordenanzas del Ministerio de la Vivienda y Urbanismo (MINVU), actualmente vigentes.

El proyecto se inicia con una asesoría en terreno que permite visualizar los aspectos de construcción y junto con evaluar una línea base del estado actual de la edificación en relación con la normativa, lo que se traduce en un informe del estado actual que califica que la edificación se encontraba fuera de la normativa de eficiencia energética.

En la siguiente fase se elaboró una propuesta de reingeniería en eficiencia energética para la casa, donde se definieron los puntos de mayores pérdidas de energía térmica y eléctrica, esto es: paredes, pisos, ventanas, infiltraciones, techumbres de la casa habitación

Luego de presentada y aceptada la propuesta de ingeniería, se realizaron las modificaciones estructurales obteniendo mejoras en el nivel de aislación, que permiten instalar equipos geotérmicos de baja entalpía.

Finalmente, en la última fase del proyecto, se monitorearon las mejoras, comparándolas con la situación base, revisando los consumos antes y después del proyecto, evaluando los aspectos energéticos y financieros del proyecto. Luego de la evaluación de todas energético.

ABSTRACT

In this title project, a practical application of energy efficiency is developed in a house in the Pirque commune, on the occasion all the reengineering processes in energy efficiency were carried out, respecting the requirements of the construction standard and ordinances of the Ministry of Housing and Urbanism (MINVU), currently in force.

The project begins with an on-site consultancy that allows visualizing the construction aspects and together with evaluating a baseline of the current state of the building in relation to the regulations, which translates into a report of the current state that qualifies that the building It was outside the energy efficiency regulations.

In the next phase, a proposal for reengineering in energy efficiency for the house was developed, where the points of greatest losses of thermal and electrical energy were defined, that is: walls, floors, windows, infiltrations, roofs of the house.

After the engineering proposal was presented and accepted, the structural modifications were made, obtaining improvements in the insulation level, which allow the installation of low enthalpy geothermal equipment.

Finally, in the last phase of the project, the improvements were monitored, comparing them with the base situation, reviewing the consumption before and after the project, evaluating the energy and financial aspects of the project.

After evaluating all the modifications made, including the installation of the equipment, it is concluded that the specifications of the construction standard and ordinances of the Ministry of Housing and Urbanism are met, thus reducing energy consumption

CONTENIDO

ABSTRACT **5**

GLOSARIO **9**

ÍNDICE DE FIGURAS **11**

INDICE DE TABLA **12**

I. INTRODUCCION 14
II. OBJETIVO DEL TRABAJO 16
OBJETIVO PRINCIPAL 16
OBJETIVOS ESPECIFICOS 16
III. DESARROLLO DEL TRABAJO 17
..... 17
..... 17
..... 17
CAPITULO I: DEFINICION DEL PROBLEMA 18
1.1. EVALUACION DE LA VIVIENDA 19
1.1.1 CUMPLIMIENTO DE TRANSMITANCIA TÉRMICA DE LA ENVOLVENTE *19*
VENTANAS *20*
TECHO *21*
PISO *21*
1.2 DIMENSIONAMIENTO DE CALEFACCIÓN REQUERIDA 22
1.3 EVALUACIÓN DEL CONSUMO DE ENERGÍA ELÉCTRICA Y GAS 22
ELECTRICIDAD *22*
GAS LICUADO *22*
PARAFINA *23*
CAPITULO II: MARCO LEGAL 24
2.1 LEY DE EFICIENCIA ENERGÉTICA 24
2.2 INSTITUCIONALIDAD DE LA EFICIENCIA ENERGÉTICA EN CHILE 24
2.3 LAS ORDENANZAS DEL SERVIU 25
2.4 DESEMPEÑO ENERGÉTICO Y TÉRMICO EFICIENTE 28
EN ETAPA DE DISEÑO: *28*
EN ETAPA DE CONSTRUCCIÓN: *28*
EN ETAPA DE OPERACIÓN: *28*

2.5 EN ETAPA DE DISEÑO: **28**

2. 6 ALTERNATIVAS DE SIMULACIÓN ENERGÉTICA 30
2.7 EVIDENCIA REQUERIDA EN ETAPA DE DISEÑO: 34
CAPITULO III PROPUESTA DE SOLUCIÓN 35
3.1 ANÁLISIS DE POSIBLES MEJORAS - ENERGIA FOTOVOLTAICA 35
3.2 ENERGIA SOLAR TERMICA 37
3.3. SOLUCIONES PROPUESTA PARA LA ENVOLVENTE - USO DE TERMOPANEL EN VENTANAS 39
3.4 MEJORAS A ALCANZAR POR EL PROYECTO 40
3.5 MEJORAS DE AISLACION EN LA TECHUMBRE 41
3.6 MEJORAS DE AISLACIÓN EN MUROS 43
3.7 AISLACIÓN INTERIOR 43
3.8 AISLACIÓN EXTERIOR 45
3.9.1 SOLUCIONES PROPUESTAS PARA EL SISTEMA DE CALEFACCIÓN 47

3.8.1 CALDERA MURAL MIXTA CONDENSACIÓN **47**

3.8.2 BOMBA DE CALOR GEOTERMICA CON LOOP HORIZONTAL **49**

3.8.3 CALDERA A PELLETS **52**

CAPITULO IV: VALIDACIÓN DE LA SOLUCIÓN 53
4.1 EVALUACIÓN ECONÓMICA DE LAS DISTINTAS PROPUESTAS 53
4.1.1 CASO PARA AISLACIÓN TÉRMICA *54*
4.2 AISLACIÓN TÉRMICA DE LA VIVIENDA 56
4.3 CASO BASE PARA LA ELECCIÓN DE EQUIPOS 58
4.3.1. CASA CON AISLACIÓN MEJORADA Y USO DE ESTUFA A PARAFINA ESTANDAR *58*
4.3.2 CASO EQUIPO 1 - CALDERA DE CONDENSACIÓN *58*
4.3.3 CASO EQUIPO 2 - BOMBA DE CALOR GEOTÉRMICA 60
4.3.4 CASO EQUIPO 3 - CALDERA PELLETS 61
4.4. SITUACIÓN FINAL DEL PROYECTO 62
IV. CONCLUSIONES Y SUGERENCIAS 67
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS 70
IV. ANEXOS 71
ANEXO B : USO DE TERMOPANELES EN TODAS LAS VENTANAS 75
ANEXO C: MEJORA 2 EN USO DE TERMOPANEL Y AISLACION EN LA TECHUMBRE 79
ANEXO D: MEJORA EN USO DE TERMOPANEL, AISLACION EN LA TECHUMBRE Y AISLACION INTERIRO DE MUROS 83
ANEXO E: MEJORA DE USO TERMOPANEL, AISLAMIENTO EN LA TECHUMBRE Y AISLACION EXTERIOR EN LOS MUROS 87

GLOSARIO

Demanda de calefacción y enfriamiento: Energía estimada para suplir la diferencia entre pérdidas y ganancias de calor en períodos fríos o calurosos del año, considerando los fenómenos térmicos que se dan en una vivienda (basado en Bustamante, 2009).

Consumo energético de calefacción y enfriamiento: Cantidad de energía utilizada para satisfacer la demanda energética para calefacción o refrigeración, dependiendo del rendimiento del sistema de clima. (Bustamante, 2009).

Zona interior: Espacio o un conjunto de espacios dentro de la envolvente térmica que comparten condiciones de ocupación y requerimientos de climatización. Las zonas interiores están definidas geométricamente por volúmenes finitos configurados por planos que representan de manera simplificada a los muros, pisos y cielos de los recintos.

Método prescriptivo: Método que fija reglas o estándares mínimos o máximos para elementos en un edificio, entre los que se destacan, para este caso, valores de transmitancia térmica para diferentes elementos de la envolvente, tasas de infiltración o requisitos de eficiencia para los sistemas mecánicos, tales como calentadores de agua y equipos de climatización (adaptado de AHFC, 2011).

Envolvente térmica: Elementos perimetrales de las edificaciones que las separan del ambiente exterior (aire, terreno, agua), de un espacio contiguo abierto o un espacio no acondicionado.

Puentes térmicos: Parte de la envolvente térmica de la edificación, en que la resistencia térmica uniforme es drásticamente modificada por: a) Penetración total o parcial de la envolvente térmica del edificio por materiales con una conductividad térmica distinta, como elementos estructurales o tuberías de las instalaciones; y/o b) Una diferencia entre las áreas interna y externa, como la que ocurre en las conexiones de muros/pisos/techos y los elementos que conforman los vanos de la edificación.

Resistencia térmica total: Inverso de la transmitancia térmica del elemento. Suma de las resistencias de cada capa especial del elemento. Se expresa en $(m^2*K)/W$.

Transmitancia térmica, U: 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 $W/(m^2*K)$.

Inercia térmica: Capacidad que poseen los materiales de construcción de almacenar la energía térmica recibida e ir liberándola progresivamente. Esta capacidad depende de la masa, densidad y calor específico del material (IECA, 2016).

Recinto habitable: Todo recinto sometido a la ocupación de personas, de forma sostenida o eventual, y con requerimientos de confort térmico, resultando en una demanda energética de calefacción y/o refrigeración para proveer estas condiciones de confort (MOP, 2012).

Recinto no habitable: Todo recinto que no registra o, en casos excepcionales, registra ocupación de personas y no presentan requerimientos de confort térmico, por lo que se considera su operación en régimen de temperatura en oscilación libre (MOP, 2012)

Recinto Semi-Exterior: Todo recinto que no posee requerimientos de confort térmico que no posee aislación térmica o medidas de hermeticidad contra el ingreso de aire exterior. No poseen consumo de energía por equipamiento o iluminación significativos. Ejemplos: entretechos, corredores, garajes o invernaderos adosados a las viviendas.

ERNC: Sigla correspondiente a Energías (E) Renovables (R) No (N) Convencionales (C).

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Plano de vivienda de la casa habitación 16
Figura 1.2 Zonas térmicas de la comuna de Pirque y sus cercanías. 17
Figura 2.1 Demanda Según Zona Térmica 25
Figura 3-2 Colector Solar integrado a la techumbre 33
Figura 3-3 Colector Solar integrado a la techumbre 34
Figura 3.4 Porcentajes máximos permitidos de superficie vidriada 36
Figura 3.8 Instalación de la aislación de la techumbre. 38
Figura 3-9 Aislación en el encuentro de la techumbre con los muros perimetrales 39
Figura 3-6 Diagrama de aislación exterior ProMuro 42
Figura 3-7 Caldera de condensación mixta, de 26,1 [kW] 45
Figura 3-8 Ciclo de operación de una bomba de calor. 47
Figura 3-9 Bomba de calor geotérmica considerada para el presente informe 49
Figura 3-10 Configuración de Loop Horizontal para una bomba de calor Geotérmica. 49

INDICE DE TABLA

Tabla 1.1 Materiales de Muros 17

Tabla 1.2 Materialidad de Ventanas 17

Tabla 1.3 Materialidad de los techos 18

Tabla 1.3 Materialidad de los techos 19

Tablas 2.1. y 2.2. de la presente categoría 24

Tabla 3.1 Evaluación económica sistema on-grid 31

Tabla 3.2 Evaluación económica sistema off-grid 31

Tabla 3.4 Porcentajes máximos permitidos de superficie vidriada 35

Tabla 3. 5 Mejora Termopanel Proveedores:
VELUX (www.velux.cl) / VEKA Chile (www.vekachile.cl) 36

Tabla 3.6 Disminución de demanda de calefacción 37

Tabla 3.7. Mejora Termopanel y Techumbre 37

Tabla 3.9 Comparativa de ventajas y desventajas de dilación interior y exterior 40

Tabla 3.8 Aislamiento interno y sus porcentajes de aislación 41

Tabla 3.10 De materiales y cámaras no ventiladas 41

Tabla 3.11 Mejoras con el termopanel, techumbre y muros interiores
Sodimac (www.sodimac.cl) / Romeral (www.romeral.cl) 41

Tabla 3.12 Materiales aislación exterior 43

Tabla 3.13 Evaluación de las Mejoras Proveedor:
Eurotec (www.eurotec.cl) / STO Chile (www.stochile.com) 44

Tabla 3.14 Características Técnicas de la bomba de Calor Geotérmica 48

Tabla 4-1 Demanda de calefacción y costo para el caso base 54

Tabla 4-2 Parámetros económicos obtenidos para la aislación térmica 56

Tabla 4-3 Costo de la energía para la utilización de caldera de condensación. 57

Tabla 4-4 Resultados de la evaluación económica para el uso
de caldera a condensación. 58

Tabla 4-5 Costos de calefaccionar la vivienda en el caso de bomba de calor
geotérmica. 58

Tabla 4-6 Resultados de la evaluación económica para la bomba de calor geotérmica 59
Tabla 4.7 Costos de calefacción para la caldera a pellets 60
Tabla 4-8 Resultados del análisis económico realizado para la calefacción con caldera de biomasa 61

I. INTRODUCCION

La eficiencia energética debe ser para todo ingeniero uno de los factores a considerar en todo momento, y debido a los aspectos coyunturales de nuestro país de ser muy dependiente de las fuentes de energía importada, se debe considerar la eficiencia en el uso del recurso energético, sin perder en este caso los factores de confort que se deben considerar en relación con las viviendas.

Durante el año en curso (2022) se aprobó la primera Ley de Eficiencia Energética en Chile (LEY 21305), luego de más de dos años de tramitación en el Congreso se aprobó la primera Ley de Eficiencia Energética de Chile. De esta forma, se promueve el uso racional y eficiente de los recursos energéticos para contribuir a mejorar la productividad, la competitividad económica y la calidad de vida de las personas, y reducir las emisiones de contaminante.

En tanto, el artículo 3° de la ley estipula que las viviendas, edificios de uso público, edificios comerciales y edificios de oficinas deberán contar con una calificación energética para obtener la recepción final o definitiva por parte de la Dirección de Obras Municipales respectiva. Para estos efectos se otorgará una etiqueta de eficiencia energética, la que tendrá por finalidad informar respecto de la eficiencia energética de las edificaciones, la que deberá incluirse en toda publicidad de venta que realicen las empresas constructoras e inmobiliarias. Para efectos de la aplicación de la calificación energética se crea el "Registro Nacional de Evaluadores Energéticos", a cargo del Ministerio de Vivienda y Urbanismo.

Esto significa que las viviendas nuevas tendrán una etiqueta de eficiencia energética, como las de los refrigeradores, informando los gastos energéticos de la edificación. Esto permitirá a las personas tener mejor información al momento de arrendar o comprar viviendas.

La Calificación Energética evalúa el consumo de energía en calefacción, iluminación y agua caliente sanitaria de una vivienda sólo en su etapa de operación.

De acuerdo con lo anterior no basta solo con los aspectos constructivos de las viviendas, sino también con el uso de fuentes renovables de energía, Chile cuenta con grandes recursos en lo que respecta a ERNC, siendo las principales: la energía Solar, la energía Eólica, la energía Maremotriz y la energía Geotérmica.

Respecto a la energía Geotérmica, esta se define como de alta, mediana y baja entalpia (Temperatura), la geotermia de alta entalpia es la que aprovecha un recurso geotérmico que se encuentra en determinadas condiciones de presión y alta temperatura (superior a 150 ºC). El aprovechamiento de este recurso puede hacerse directamente si se dan de forma natural las condiciones geológicas y físicas posibles.

La geotermia de mediana entalpia es aquella que opera entre 30 y 150 ºC. Se utilizan directamente para proporcionar calefacción y agua caliente en pueblos y ciudades, además de en balnearios y otras industrias, especialmente en invernaderos y piscifactorías.

La geotermia de baja entalpía o de baja temperatura es aquella energía que se obtiene al extraer el calor natural del interior de la tierra. Esta energía se regenera constantemente de forma natural gracias a los efectos del sol, del calor interno de la Tierra y la lluvia.

Es una energía renovable que aprovecha el calor solar acumulado en el subsuelo para climatizar edificios y obtener agua caliente de forma ecológica. Es más empleada para calefacción que para refrigeración, dado que la temperatura que necesitamos para la calefacción es muy parecida a la que podemos obtener de la tierra. Esta no es lo suficientemente alta para generar electricidad.

El uso de la energía geotérmica de baja entalpia se sustenta sobre la base de que el terreno entre 3 de 10 m se mantiene a una temperatura estable de 17º independientemente de la estación del año o de las condiciones meteorológicas, por lo que, si se tienen unas condiciones óptimas, el consumo eléctrico será muy bajo. Es una fuente de energía que disminuye la dependencia energética de los combustibles fósiles y de otros recursos no renovables. Los residuos que produce son mínimos y ocasionan menor impacto ambiental que los originados por el petróleo y el carbón. Sistema de gran ahorro, tanto económico como energético.

Debido a estas condicionantes se ha determinado analizar en este trabajo las ventajas respecto a otras fuentes de ERNC, para casas habitación, determinando las condiciones más apropiadas para tales efectos.

II. OBJETIVO DEL TRABAJO

OBJETIVO PRINCIPAL

Evaluar situación base de casa habitación modelo a fin de determinar si cumple con la normativa de eficiencia energética nacional, proponer mejoras en reingeniería de eficiencia e implementar estas mejoras a fin de lograr que pueda cumplir con las exigencias termo energéticas sustentables en el tiempo

OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Evaluar la línea base de una casa habitación con relación al cumplimiento con la norma y la utilización de equipamiento y de canalizaciones para la energía térmica que aseguran estar dentro de las especificas normas de construcción y ordenanzas del Ministerio de la Vivienda y Urbanismo.

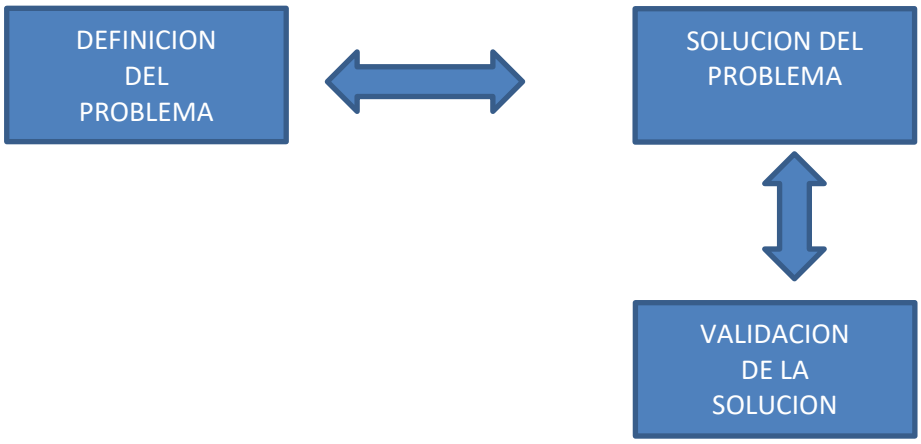
- Proponer las modificaciones en la edificación para que permitan cumplir con las normas y evaluar el tipo de equipamiento de calefacción adecuado para dicha casa edificación.

- Realizar las modificaciones e instalación de los equipos térmicos para asegurar que cumplan con los requerimientos de la norma.

- Realizar un monitoreo de dichos cambios a fin de asegurar que se cumplieron con todos los requisitos de edificación y calefacción

III. DESARROLLO DEL TRABAJO

La siguiente imagen general ilustra de manera esquemática el desarrollo del presente trabajo



Esquema de solución del trabajo

CAPITULO I: DEFINICION DEL PROBLEMA

El presente proyecto de una evaluación, análisis y propuesta de eficiencia energética para una casa habitación modelo corresponde a una asesoría energética, que permitió que el mandante tomara decisiones óptimas en materias de eficiencia energética para la vivienda ubicada en la comuna de Pirque.

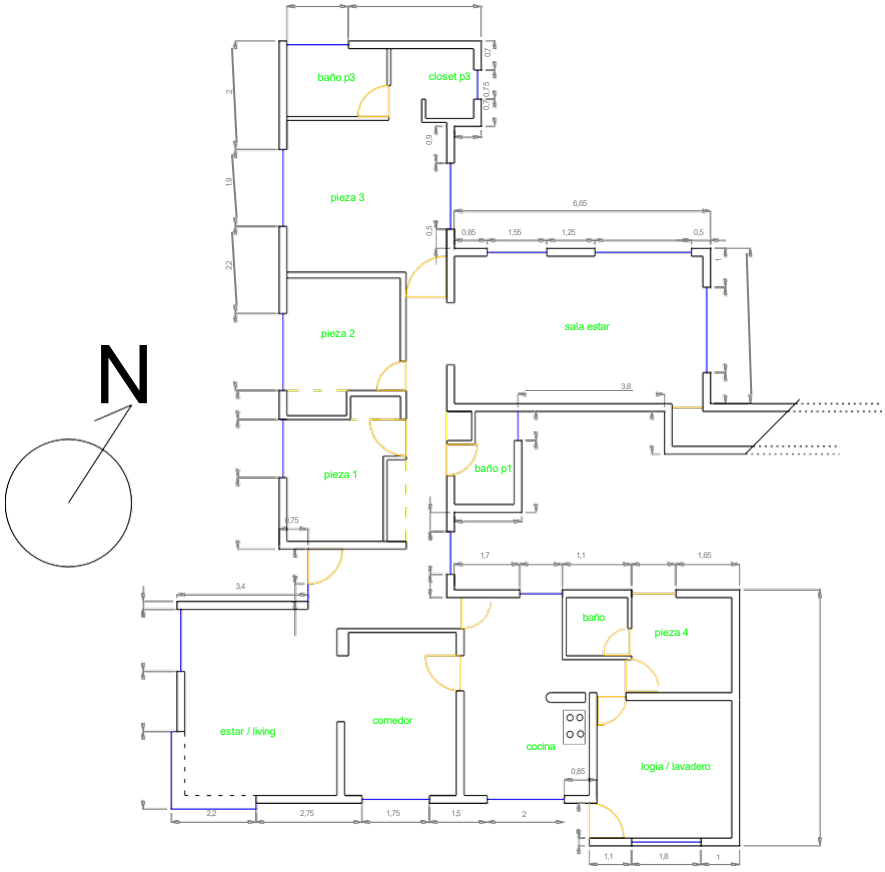


Figura 1.1 Plano de vivienda de la casa habitación

La casa habitación cuenta con cinco habitaciones, sala de estar, cocina, baños independientes.

1.1. EVALUACION DE LA VIVIENDA

En relación con la vivienda, se realizó una evaluación del uso de la energía de acuerdo con el cumplimiento de la Ordenanza General de Urbanismo y Construcción, para lo cual se analizó la materialidad de la casa, y sus dimensiones, y se evaluó en relación con la Ordenanza General de Urbanismo y Construcción (OGUC).

La evaluación se hizo considerando que la vivienda se ubica en una zona climática 5, a pesar de que está en el límite entre zona 3 y zona 5, de acuerdo con los mapas entregados para la ordenanza, como se ve a continuación:

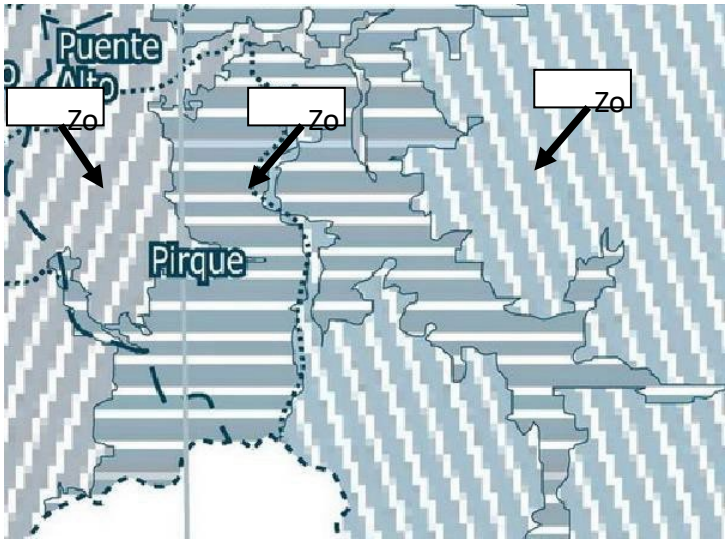


Figura 1.2 Zonas térmicas de la comuna de Pirque y sus cercanías.

De acuerdo con la Ordenanza General de Urbanismo y Construcción, se evaluará su cumplimiento para los ítems siguientes:

1.1.1 CUMPLIMIENTO DE TRANSMITANCIA TÉRMICA DE LA ENVOLVENTE

Muros

Los muros de toda la envolvente del primer piso son de ladrillo, con un ancho de 20 [$c\mathrm{m}$] (aparentemente ladrillo hecho a mano), el cual tiene una conductividad de 0,5[$W/\mathrm{m}K$].

Lo anterior implica que la transmitancia térmica de los muros es de 2,22[W/m^2K], inferior a lo

requerido por la Ordenanza, que requiere un valor máximo de 1,6 $[W/\mathrm{m}^2K]$ para la zona climática correspondiente a Pirque.

Tabla 1.1 Materiales de Muros

Materialidad Muros		
Ladrillo	0,2	[m]
Conductividad	0,8	[W/m K]
Transmitancia Térmica	2,22	[W/m^2 K]
Valor Requerido (Máximo)	1,6	[W/m^2 K]
¿Cumple OGUC?	**NO**	

VENTANAS

De acuerdo con las dimensiones levantadas en terreno y a los planos entregados, el porcentaje de vidriado de la casa es de un 30$[\%]$. Las ventanas son de vidrio simple, probablemente de 4 o 6 $[\mathrm{mm}]$, lo que implica que tienen una transmitancia térmica de 5,8 $[W/\mathrm{m}^2K]$. Con el valor de transmitancia térmica del vidrio simple y la superficie de vidriado, la casa no cumple con los requisitos de la ordenanza.

Para vidrio simple, la ordenanza requiere que el máximo porcentaje de elementos vidriados de tipo monolítico en los paramentos verticales de la envolvente sea inferior a un 18%.

Adicionalmente, se apreció que las ventanas son del tipo corredera, que son las que tienen un mayor nivel de infiltración entre las tipologías de ventanas. Por otro lado, tienen marco de aluminio, que por su alta conductividad presentan una superficie importante como puente térmico (puede representar alrededor de un 5% del área del vano donde se ubica la ventana).

Tabla 1.2 Materialidad de Ventanas

Materialidad Ventanas		
Vidrio	0,004	[m]
Transmitancia Térmica	5,8	[W/m^2 K]
% Vidriado	30%	
%Vidriado máx. para vidrio	18%	
¿Cumple OGUC?	**NO**	

TECHO

En visita a terreno se observó que el techo consta de una losa de hormigón de 15 $[\mathrm{cm}]$, y sobre esta posee una plancha de poliestireno expandido (Aislapol) de 50$[\mathrm{mm}]$ de espesor. El valor de transmitancia térmica obtenido para esta solución constructiva es de 0,70$[W/\mathrm{m}^2K]$, mientras que el valor máximo permitido por la ordenanza es de 0,33$[W/\mathrm{m}^2K]$.

Tabla 1.3 Materialidad de los techos

Techo		
Poliestireno expandido	0,05	[m]
Conductividad	0,039	[W/m K]
Transmitancia Térmica	0,78	[W/m^2 K]
Valor U requerido (máximo)	**0,33**	[W/m^2 K]
¿Cumple OGUC?	**NO**	

PISO

Si bien la OGUC solo tiene requisitos para los pisos ventilados, se observó que el piso no cuenta con ningún tipo de aislación térmica, por lo que también podría ser un sumidero importante de energía.

1.2 DIMENSIONAMIENTO DE CALEFACCIÓN REQUERIDA

Se dimensionó la calefacción requerida de acuerdo con las características de la envolvente actual, y se obtuvo lo siguiente:

Tabla 1.3 Materialidad de los techos

SITUACIÓN ACTUAL	
TOTAL, DEMANDA CALEFACCIÓN [W]	15.736
TOTAL, DEMANDA CALEFACCIÓN [BTU/hr]	53.694

En el anexo I, se muestra el detalle por recinto de las demandas requeridas para cada habitación. Los nombres utilizados para las distintas habitaciones se muestran en el plano digital adjunto.

1.3 EVALUACIÓN DEL CONSUMO DE ENERGÍA ELÉCTRICA Y GAS

ELECTRICIDAD

De acuerdo con datos entregados, el precio de la electricidad para las viviendas es de $100[\$/kWh]$ y no existen costos asociados a demanda máxima suministrada ni a demanda máxima en horas punta. Tampoco se observan tarifas diferenciadas de acuerdo con el horario de utilización de electricidad.

GAS LICUADO

De acuerdo a conversación sostenida con los residentes de la vivienda, el precio del gas licuado es de $1.000[\$/k\mathrm{w}]$. Considerando que el poder calorífico superior del gas licuado es de $12.100[\mathrm{Kcal/Kg}]$, y que $1[kWh]$ equivale a $860[k\mathrm{Cal/h}]$, se tiene que el costo de la energía generada por el gas licuado es de $71[\$/kWh]$.

PARAFINA

De acuerdo con datos de la Comisión Nacional de Energía, y su sistema de precios actualizados de las estaciones de servicio, se tiene que la parafina cuesta un promedio de 550 $[\$/l]$ en la comuna de Pirque. Por otro lado, de acuerdo con el balance nacional de energía, el poder calorífico superior de la parafina es de $10{,}45[kWh/l]$. Con esto, se tiene que el costo de la energía contenida en la parafina es de 52,6$[\$/kWh]$.

CAPITULO II: MARCO LEGAL

Es la ley vigente la que define el marco teórico de este trabajo, a continuación, se sintetizaran las leyes siguientes:

2.1 LEY DE EFICIENCIA ENERGÉTICA

Por primera vez en la historia de Chile, tenemos una Ley de Eficiencia Energética. Un paso clave para articular los esfuerzos y alcanzar el carbono neutralidad al 2050, porque este eje de trabajo aportará con más de un 35% de las reducciones de gases de efecto invernadero necesarias para alcanzar nuestra meta.

Al aplicarse las medidas contempladas en la ley, al 2030 tendremos una reducción de intensidad energética del 10%, un ahorro acumulado de US$15.200 millones y una reducción de 28,6 millones Toneladas de CO2. Esto equivale a evitar el recorrido anual de 15,8 millones de vehículos livianos o a la absorción anual de 1,8 millones de hectáreas de bosque nativo.

2.2 INSTITUCIONALIDAD DE LA EFICIENCIA ENERGÉTICA EN CHILE

La ley establece que el Ministerio de Energía elaborará un Plan Nacional de Eficiencia Energética cada 5 años

Incluirá procesos participativos y será sometido al Consejo de Ministros para la Sustentabilidad

El Plan, deberá comprender, al menos, los siguientes contenidos mínimos:

- Eficiencia energética residencial.
- Estándares mínimos y etiquetado de artefactos.
- Eficiencia energética en la edificación y el transporte.
- Eficiencia energética y ciudades inteligentes.
- Eficiencia energética en los sectores productivos y educación y capacitación en eficiencia energética.

Deberá establecer metas de corto, mediano y largo plazo, así como los planes, programas y acciones necesarios para alcanzar dichas metas.

Las edificaciones consumen casi un cuarto de la energía total del país, y parte importante de ésta se destina a calefacción. calefacción. (Fuente: Balance Nacional de Energía, Ministerio de Energía)
La ley establece que las viviendas, edificios de uso público, edificios comerciales y edificios de oficinas, deberán contar con una Calificación Energética para obtener la recepción final o definitiva. Además, se puede obtener Precalificación Energética previamente. Esta normativa aplica para edificaciones nuevas.
La etiqueta (de calificación o precalificación) deberá incluirse en toda publicidad de venta que realicen empresas.

La norma es aplicable a empresas constructoras e inmobiliarias y a Servicios de Vivienda y Urbanismo.
Crea el registro de evaluadores, quienes realizarán las calificaciones energéticas de las edificaciones. La calificación energética informa sobre la eficiencia energética, no exigiendo el cumplimiento de un estándar mínimo.
Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones define estándares mínimos de eficiencia energética.

2.3 LAS ORDENANZAS DEL SERVIU

Se introducirá en las indicaciones del SERVIU, “Estándares de Construcción Sustentable para Viviendas” (ECSV), editado por el Ministerio de Vivienda y Urbanismo, y que es una nueva versión del “Código de Construcción Sustentable para Viviendas” (CCSV) publicado en 2014. Su objetivo es establecer estándares y buenas prácticas de diseño, construcción y operación de las viviendas, nuevas o usadas, con el fin de mejorar su desempeño ambiental, económico y social, mediante la definición e incorporación de criterios de sustentabilidad, basándose en parámetros objetivos y verificables.

El objetivo de esta ordenanza es contribuir a la reducción de demanda y consumo energético del sector residencial a través del fomento del diseño solar pasivo y del uso de equipos energéticamente eficientes, energías renovables, y hábitos de uso eficiente de la energía en las diferentes etapas de un proyecto.

Chile presenta un consumo primario de energía per cápita menor al de otros países que cuentan con un mayor nivel de desarrollo económico, alcanzando menos de la mitad del consumo per cápita que muestran, en promedio, los países de la OCDE. Por esta razón, es esperable que nuestro país vaya aumentando su consumo de energía per cápita, conforme se desarrolla económicamente. Al respecto, surgen diversos desafíos impuestos por los cambios en las tendencias energéticas, en cuanto a cómo se desarrollará la infraestructura energética vinculada a consideraciones ambientales y sociales.

Los últimos diez años de la agenda energética del país han estado marcados por hitos como el corte de gas natural desde Argentina; severos y largos períodos de sequía, dificultades en el otorgamiento de permisos ambientales, insuficiente entrada de proyectos, la escasa inversión en infraestructura en el área de generación y transmisión eléctrica y la entrada de nuevas empresas al mercado. Todo ello, ha contribuido a mantener las condiciones de estrechez de oferta de suministro eléctrico, lo que ha elevado los costos marginales y los precios para cliente final, reflejando un desarrollo ineficiente del sistema, lo que se ha visto agravado en los últimos años. Por otra parte, Chile importa el 60% de su energía primaria, lo que lo convierte en un país vulnerable a la inestabilidad y volatilidad de los mercados internacionales, y a las restricciones de abastecimiento que se produzcan por fenómenos políticos, climáticos o de mercado. En Chile los principales energéticos utilizados son: petróleo con un 32%, carbón con un 24,4%, y leña con un 23,7%; sin embargo, es destacable que un 95% del petróleo es importado, mientras la biomasa corresponde al principal recurso energético local. Asimismo, en las zonas centro y sur de Chile el 62% del combustible utilizado en el sector residencial es leña y sus derivados para la calefacción 1. Esto, debido a su disponibilidad, poder calorífico y menor costo, respecto a los demás combustibles. Sin embargo, su uso acarrea problemas ambientales, tales como contaminación atmosférica y erosión por explotación de bosques, consecuencias que repercuten en la salud y calidad de vida de las personas. Al respecto, en los últimos años el Estado ha llevado a cabo políticas, regulaciones y acciones necesarias para promover una matriz que privilegie los recursos energéticos propios y limpios; que use de manera eficiente la energía que produce; y que respete a sus comunidades y entorno.

Todo lo anterior demuestra que la energía es uno de los temas más importantes a considerar durante el ciclo de vida de la edificación, principalmente en el sector residencial. Los desafíos que esto plantea, y que buscamos abordar en la presente categoría, son disminuir el consumo de energía para climatización, calentamiento de agua, iluminación y operación de artefactos, además de la auto sustentación por medio de micro generación de energías renovables; a ello

se suman las nuevas herramientas de control y monitoreo que se plantea proporcionar a los usuarios.

2.4 DESEMPEÑO ENERGÉTICO Y TÉRMICO EFICIENTE

El objetivo como Estado de Chile, es establecer metas de reducción de demanda de calefacción y enfriamiento de las viviendas, buscando viviendas de bajo consumo energético hacia el año 2050.

Para esto se ha definido lo siguiente en las diversas etapas de la vida de una Vivienda, para dar cumplimiento al estándar mínimo para construcciones nuevas, alteraciones y ampliaciones, se debe:

EN ETAPA DE DISEÑO:

- Reducción de demanda de calefacción y enfriamiento
- Demostrar mediante simulación computacional dinámica, que la vivienda cumple con demandas máximas de calefacción y enfriamiento proyectadas en kWh/m²/año, para el 2020, 2030, 2040 y 2050, según se indica en las Tablas 2.1.

EN ETAPA DE CONSTRUCCIÓN:

- Velar por el cumplimiento de lo establecido en la etapa de diseño
- Verificar, en obra el cumplimiento de los parámetros constructivos ingresados al modelo de simulación energética, junto con lo estipulado en las especificaciones técnicas, particularmente lo referido a envolvente térmica y detalles.

EN ETAPA DE OPERACIÓN:

- Monitoreo
- Al año de operación, verificar que el desempeño energético de la vivienda sea acorde a lo proyectado en la etapa de diseño, mediante monitoreo de consumos de energía para calefacción y enfriamiento del primer año de operación.

2.5 EN ETAPA DE DISEÑO:

Reducción de demanda en calefacción y enfriamiento

Especificaciones técnicas: Deberán contar con el detalle de la envolvente térmica opaca y transparente. Esto corresponde a valores de transmitancia térmica, masa térmica, relación entre superficie vidriada y opaca, y porcentaje de ventanas por orientación, entre otros.

- Planimetría: Planos de arquitectura y detalles, a escala, que demuestren el

cumplimiento de lo establecido en las especificaciones técnicas y los parámetros ingresados al modelo de simulación energética.

ZONAS TÉRMICAS	DEMANDA DE ENFRIAMIENTO (kwh/m² año)			
	2020	2030	2040	2050
Zona A	10	5	5	5
Zona B	10	5	5	5
Zona C	10	5	5	5
Zona D	15	10	5	5
Zona E	5	5	0	0
Zona F	5	5	0	0
Zona G	0	0	0	0
Zona H	0	0	0	0
Zona I	0	0	0	0

Fuente: Elaboración propia, basada en estudio sobre rangos de confort térmico y riesgos de sobrecalentamiento (Bustamante, 2015).

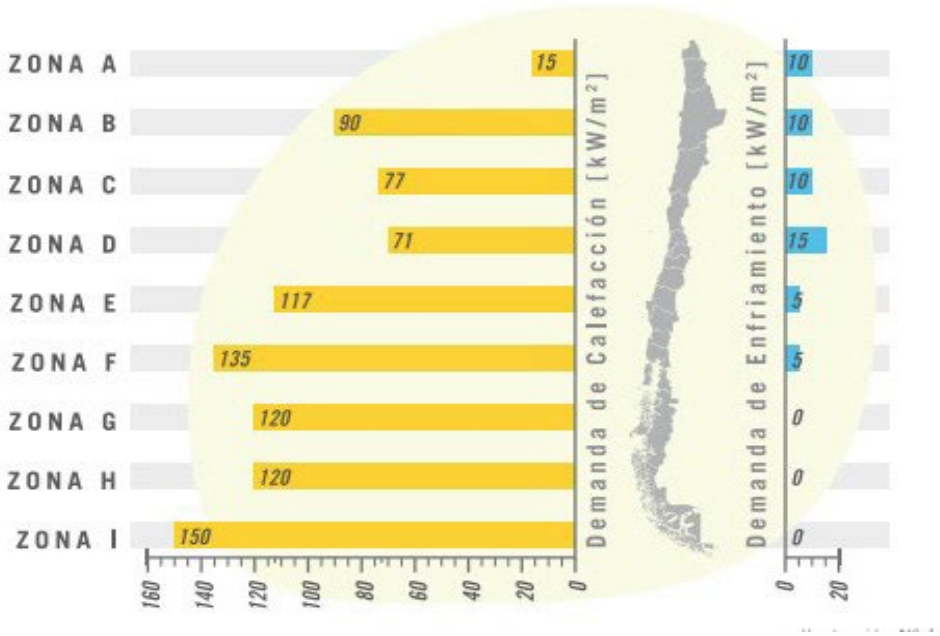


Figura 2.1 Demanda Según Zona Térmica

- Determinar las demandas de energía para calefacción y enfriamiento de la vivienda: Para determinar las demandas de calefacción y enfriamiento se deberán realizar simulaciones dinámicas, según se detalla en la presente metodología. Las demandas de calefacción y enfriamiento deben ser iguales o menores a las establecidas en las Tablas 2.1. y 2.2. de la presente categoría.

2. 6 ALTERNATIVAS DE SIMULACIÓN ENERGÉTICA

Para determinar las demandas energéticas, se podrá optar por una de las siguientes alternativas:

1. Uso de las planillas de balance térmico dinámico (PBTD) de la Calificación Energética de Viviendas: PBTD es un software con base en Microsoft Excel, capaz de realizar simulaciones dinámicas con base en la entrada de datos paramétricos de manera simplificada. Permite evaluar escenarios de demanda térmica en base a datos generales del diseño de arquitectura de la vivienda y equipos de climatización. Disponible de manera gratuita en www.calificacionenergetica.cl.

2. Uso de software de simulación energética de libre elección: Deberá estar acreditado mediante el método estandarizado para evaluación de programas computacionales de análisis energético de edificios, ANSI/ASHRAE Standard 140- 2014.

Algunos programas de referencia son: Designbuilder, IES Virtual Environment, IDA ICE o EDSL Tas. Para acceder a un listado completo de aplicaciones, consultar el directorio publicado por la International Building Performance Simulation Association de Estados Unidos (IBPSA-USA) disponible en www.buildingenergysoftwaretools.com. Es necesario aplicar el filtro Whole-Building Energy Simulation (consulta de julio de 2017).

Los programas de simulación energética deberán poseer, como mínimo, las siguientes capacidades: Simulación de 8760 horas por año. Variación horaria de cargas de ocupación, iluminación y equipos eléctricos, definidos por separado para días de semana, fines de semana y feriados. Efectos de la masa térmica. Efectos de la radiación solar directa y difusa sobre superficies opacas y traslúcidas. Pérdidas y ganancias energéticas por concepto de infiltración de aire. Simulación de diez o más zonas térmicas. Cálculo de demanda de calefacción y enfriamiento. Capacidad de integración de sistemas de ventilación mecánica y recuperador de calor.

Carga de archivos de clima en formato.epw aprobados por Minvu. Para llevar a cabo las simulaciones se deberán considerar como “Datos de entrada” los que se detallan a continuación:

• Datos de entrada para la simulación mediante software de libre elección: Los parámetros de simulación que se presentan a continuación, han sido definidos para homologar las variables de

cálculo de la herramienta CEV:

Archivos climáticos: Se deberán utilizar los archivos climáticos creados exclusivamente para uso en simulaciones requeridas por el presente estándar, disponibles de manera gratuita en sustentable.minvu.gob.cl. Estos archivos poseen formato Energy Plus Weather (.epw) y han sido elaborados a partir de los datos utilizados por la Herramienta de Cálculo de la CEV para homologación de condiciones climáticas. Se presentan nueve archivos climáticos en base a la zonificación climático habitacional para Chile presente en la NCh 1079:2008, además de uno extra (J) de uso exclusivo para la ciudad de Calama. A. Norte litoral B. Norte desértico C. Valles transversales D. Centro litoral E. Centro interior F. Sur litoral G. Sur interior H. Sur extremo I. Zona andina J. De uso exclusivo para la ciudad de Calama

Zonificación de recintos interiores del modelo energético: La representación geométrica de la vivienda se realizará a través de una zona interior única, sin particiones interiores. Dicha zona interior, incluirá todos los recintos habitables (difiere de la definición de OGUC, consultar definiciones) que se encuentren contenidos por la envolvente térmica y será modelada considerando el perímetro interior de los cerramientos. Se podrán crear dos o más zonas interiores en casos excepcionales, en que una misma vivienda no presente todos sus recintos interconectados entre si (que no estén contenidos dentro de un mismo volumen).

Los espacios semiexteriores adyacentes a la vivienda, tales como entretechos, corredores, garajes o invernaderos, deberán ser creados como zonas independientes y deberán ser excluidos del cálculo de demanda térmica. Estas zonas no deberán presentar cargas internas. Las ventanas y puertas exteriores deberán ser modeladas según dimensión y posición del proyecto de arquitectura, considerando el área de sus vanos. El software deberá tener la capacidad de calcular la perdida a través de marcos considerando su materialidad y porcentaje con respecto de la superficie vidriada. Dicho procedimiento deberá quedar documentado en el reporte energitérmico a suministrar como evidencia para esta variable.

Cálculo de demanda térmica: El cálculo de demanda energética para enfriamiento y calefacción, deberá realizarse considerando los límites de temperatura mensuales de las Tablas
2.4 y 2.5, respectivamente. Estas fueron determinadas en base al método de confort adaptativo de Dear & Brager (1998), señalado en ASHRAE Fundamentals, capítulo "Thermal Comfort", aplicando una banda de +2,5 °C a -2,5 °C, con respecto de la temperatura media de confort. La demanda térmica será calculada para alcanzar los niveles de confort de manera permanente, independiente del horario real de uso la vivienda.

Construcciones y materiales: El modelo de simulación deberá representar, de manera fidedigna, la posición de los elementos constructivos y materiales que los componen. El software deberá tener la capacidad de calcular transmitancias térmicas de las construcciones de acuerdo con la metodología capa-por-capa, ingresando datos tales como espesor, calor específico, conductividad térmica, densidad y resistencia superficial. Se deberá usar NCh 853:2007 como referencia para el ingreso de datos orientados a los siguientes cálculos: • Influencia de puentes térmicos en los elementos constructivos: El software de simulación deberá permitir, como mínimo, ajustes al valor de transmitancia térmica en base a heterogeneidades simples y complejas. • Determinación de resistencia térmica de cámaras de aire no ventiladas. • Transferencia de energía por el perímetro de pisos en contacto con el terreno: Mediante el empleo del concepto de transmitancia térmica lineal K para aislación de piso o radier corriente, medianamente aislado o aislado, según metodología de cálculo de NCh 853:2007. Con relación a elementos en contacto con el terreno: Se deberá calcular la transferencia de energía contra un suelo a temperatura igual a la media mensual exterior. Además, el software deberá de calcular los efectos de la masa térmica del terreno. La configuración de elementos constructivos se basará en la metodología NCh 3117:2008 para transferencia de calor contra terreno. En el caso de que la vivienda posea ventanas con doble vidriado hermético (DVH), se deberá indicar el espesor de cristales y cámara de aire utilizados. Deberán presentarse las especificaciones técnicas del fabricante en donde se indique, al menos, transmitancia térmica U del conjunto, factor solar (g) y coeficiente de sombra (SC), valores que deberán ser ingresados al programa de simulación. En caso de no contar con fichas técnicas, se deberán ingresar los siguientes valores: U = 3,58 W/ m^2*K; g = 0,64; SC = 0,74. Para el caso de doble ventana simple, se utilizará una transmitancia térmica U = 3,3 W/m^2*K con los mismos valores g y SC mencionados (se entiende por doble ventana simple, una solución constructiva en la que se utilizan dos ventanas independientes en el vano difiere de DVH).

Infiltraciones y ventilación higiénica: Se asumirá un intercambio constante de aire de 1 renovación de aire por hora (RAH), valor que asume infiltraciones por rendijas y ventilación por concepto de salubridad. En caso de que el proyecto contemple ventilación mecánica (para asegurar salubridad) e infiltración menor a 1 RAH comprobada mediante Blower Test Door, la tasa de renovación de aire del modelo de simulación podrá ajustarse a dichas mediciones.

Se permitirá incorporar intercambiador de calor a sistemas de ventilación mecánica, documentando su eficiencia y consumo energético. En caso de que la vivienda posea ventilación

mecánica accionada mediante detector de CO2 y el programa permita la simulación de dicho comportamiento, se utilizará un umbral de encendido de ventilación de 1000 ppm. La concentración de CO2 interior podrá descender hasta 500 ppm (considerado como el valor de contaminación exterior). En el caso de recintos semiexteriores, se asumirá una infiltración de 3 RAH. En caso de que se demuestren medidas de hermeticidad para dichas zonas, de acuerdo con los requerimientos de la variable 2.2.5, la infiltración podrá reducirse a 1 RAH. 9. Ventilación por medio de apertura de ventanas o puertas: La ventilación natural para reducción de temperatura, por concepto de apertura de ventanas o puertas, podrá ser configurada como una tasa de 3 RAH, cuando se cumplan las siguientes condiciones: Entre 22 y 6 horas. Cuando la temperatura interior supere el límite de enfriamiento establecido por la Tabla 2.4. La temperatura exterior supere los 15 °C. Dichos valores fueron establecidos para emular condiciones de ventilación nocturna. 10. Obstrucciones a la radiación solar: Deberán ser modelados como obstrucciones, todos aquellos elementos externos a la vivienda que impidan el ingreso de radiación solar a través de superficies vidriadas, cualquiera sea su orientación o ángulo de inclinación. Dichos elementos incluyen protecciones solares tales como: aleros, paneles o lamas y obstrucciones lejanas tales como edificios vecinos, topografía del terreno o estructuras fijas. El efecto del sombreamiento debe ser dinámico; es decir, calculado en pasos horarios según la posición solar, afectando radiaciones tanto directas como difusas. Informe de comportamiento energitérmico de la vivienda: Se deberá desarrollar un informe de simulación energitérmico, el que contendrá, como mínimo, los siguientes elementos: Nombre y versión del software utilizado. Vistas isométricas o fugadas extraídas del software de simulación, en caso de que este posea dicha capacidad.

Plano de emplazamiento a escala máxima 1:500, destacando en color o línea gruesa, edificaciones y objetos que puedan generar sombra a 50 m de las fachadas norte, oriente y poniente. Plantas, cortes y elevaciones de arquitectura a escala máxima 1: 200. Especificación de datos de entrada para la simulación recién mencionados, ya sea mediante software de libre elección o PBTD CEV Superficie y volumen de la o las zonas interiores. Superficie vidriada y opaca por orientación, según instrucciones del requerimiento “b” de la Variable 2.2.1: Asoleamiento. Desglose de consumo energético de iluminación y ventilación mecánica (esta última si corresponde) en kWh, de manera mensual y total del año. Desglose de demanda energética para enfriamiento y calefacción, de manera mensual y total del año en kWh y kWh/m².

- Checklist N° 2: Completar el Checklist N°2A, para verificar el cumplimiento de lo requerido en etapa de diseño.

EN ETAPA DE CONSTRUCCIÓN: b. Velar por el cumplimiento de lo establecido en la etapa de diseño:

- Completar el Checklist N° 2B, para verificar la calidad de la construcción, en cuanto lo requerido en la etapa de diseño. Llevar a cabo una bitácora mensual de obra, que demuestre el cumplimiento de lo requerido en las especificaciones técnicas. Esta debe contar con fotografías de las partidas correspondientes, con las fechas en las que fueron tomadas. Esta bitácora debe ser validada por el arquitecto patrocinante, el ITO y el mandante en el libro de obras. Su fin es llevar un registro de inspección de las partidas más relevantes, para cumplimiento de los estándares constructivos con enfoque térmico, tales como, aislamiento y hermeticidad. EN ETAPA DE OPERACIÓN: c. Monitoreo: Al año de operación, se debe desarrollar un informe que presente el monitoreo mensual de consumo de energía para calefacción y enfriamiento del primer año de operación, demostrando el cumplimiento de lo propuesto en la etapa de diseño.

2.7 EVIDENCIA REQUERIDA EN ETAPA DE DISEÑO:

a. Reducción de demanda en calefacción y enfriamiento:

- Checklist N° 2A, para verificar el cumplimiento del requerimiento. Este debe ir firmado por el arquitecto patrocinante y el mandante y debe contar con el siguiente documento, en caso de que corresponda:
- Informe de comportamiento energético y térmico de la vivienda.
  Velar por el cumplimiento de lo establecido en la etapa de diseño:
  - Checklist N° 2B, para verificar el cumplimiento del requerimiento. Este documento debe ir firmado por el arquitecto patrocinante, el ITO y el mandante.
  - Bitácora mensual de obra validada por la ITO, por el arquitecto patrocinante y el mandante, en el libro de obras.
  - En caso de que el proyecto haya sufrido cambios desde la etapa de diseño, se deberán re entregar los documentos solicitados en esa etapa, para demostrar el cumplimiento indicado en el requerimiento.

b. Monitoreo:

- Checklist N° 2C, para verificar después de un año de operación el cumplimiento del requerimiento, validado por el mandante y que cuente con los siguientes documentos en caso de que corresponda: Informe de monitoreo mensual de consumo de energía para calefacción y enfriamiento durante un año. Control sobre mantención periódica de los sistemas de calefacción y enfriamiento, según lo solicitado en el Anexo 5.4 numeral 3. Energía "2.2 Control sobre Mantención Periódica de Sistemas de Calefacción, Agua Caliente Sanitaria y Enfriamiento". "Manual de Usuario de la Vivienda".

CAPITULO III PROPUESTA DE SOLUCIÓN

3.1 ANÁLISIS DE POSIBLES MEJORAS - ENERGIA FOTOVOLTAICA

De acuerdo con lo observado en terreno, no se recomienda la integración arquitectónica para un arreglo solar fotovoltaico en la techumbre de la casa, ya que existen árboles de gran altura que proyectan sombra sobre el techo de la casa, lo que generaría una ineficiencia no despreciable sobre el sistema fotovoltaico.

De todas maneras, se realiza el análisis del aporte solar esperado para las condiciones de radiación solar de Pirque, ya que existen áreas despejadas en dónde se podría instalar una central fotovoltaica (patio de la vivienda).

Se hace el análisis utilizando 4 paneles fotovoltaicos policristalinos, marca SunWorld, con una potencia peak de 225 $[W]$ cada uno, lo que implica u na potencia total instalada de 900 $[W]$ aunque el análisis es igualmente válido para otras marcas o modelos de características similares. La energía generada de acuerdo con el modelo computacional es la siguiente:

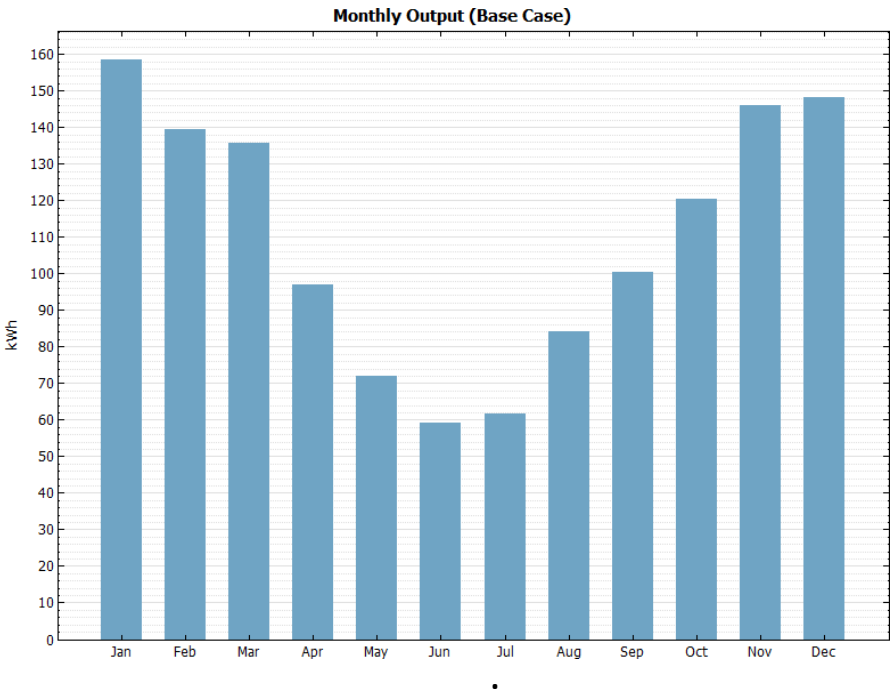


Gráfico 3.1 Generación mensual de energía durante un año para 900 W de potencia instalada en paneles fotovoltaicos

El total de energía generada en el año es de 1.322$[kWh]$.
Considerando que el precio de la energía eléctrica es de 100 $[\$/kWh]$, se tiene que el ahorro esperado es de 132.200 $[\$/\text{año}]$.
De acuerdo con cotizaciones realizadas, el precio de un sistema fotovoltaico se estima en lo siguiente:

Precio off-grid (incluye baterías): Alrededor de 4,5 $[U\$/W]$
Precio on-grid: Alrededor de 2,5 $[U\$/W]$

Un sistema off-grid corresponde a un sistema que no está conectado a la red eléctrica, por lo que toda la energía generada por los paneles fotovoltaicos es utilizada en el hogar. La energía que se genere en horarios en que no exista demanda, se almacena en baterías.

En un sistema on-grid, cuando hay demanda de energía en la vivienda y el sistema fotovoltaico está generando energía, la energía generada es utilizada por dicha demanda. Cuando hay generación de energía y no hay demanda de energía en la vivienda, la electricidad generada es inyectada a la red. Esta inyección a la red es contabilizada en un medidor diferenciado, para luego ser descontada de la cuenta de electricidad, a un precio menor (aproximadamente un 50% del precio de compra de la energía.)

Los parámetros obtenidos para la evaluación económica del sistema Off-grid son los siguientes:

Tabla 3.1 Evaluación económica sistema on-grid

Parámetro	**Valor**
Ahorros anuales	132.200 [$]
Periodo de Retorno de la Inversión	11.3 [años]
Tasa Interna de Retorno	8.01%
VAN (5%)	**$ 417.872**

Tabla 3.2 Evaluación económica sistema off-grid

Parámetro	Valor
Ahorros anuales	132.200 [$]
Periodo de Retorno de la Inversión	18.9 [años]
Tasa Interna de Retorno	2.35%
VAN (5%)	**$ 417.872**

3.2 ENERGIA SOLAR TERMICA

En el caso de la energía solar térmica, se puede pensar en integrar un sistema solar a la techumbre de la vivienda, ya que, si bien se ve afectado el rendimiento por las sombras, este no baja de forma tan drástica como en el caso de los paneles fotovoltaicos.

De acuerdo con los planos entregados, se tiene que la pendiente de la techumbre existente es de 27º aproximadamente. Se recomienda utilizar la misma pendiente de la techumbre para tener una integración arquitectónica, como se muestra en las imágenes a continuación:

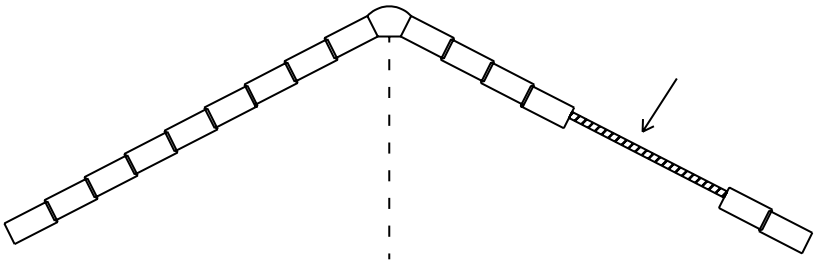


Figura 3-2 Colector Solar integrado a la techumbre

Se propone que la techumbre a utilizar sea la correspondiente a la sala de estar, ya que tiene aguas Nor Oriente-Sur Este. El tanque de acumulación del Colector Solar Térmico se recomienda colocarlo en un lugar cercano al calefónt o al principal punto de servicio. Se recomienda que el estanque acumulador de agua caliente sea vertical, para aprovechar de mejor manera el efecto de estratificación qué ocurre al mezclar agua caliente con agua fría.

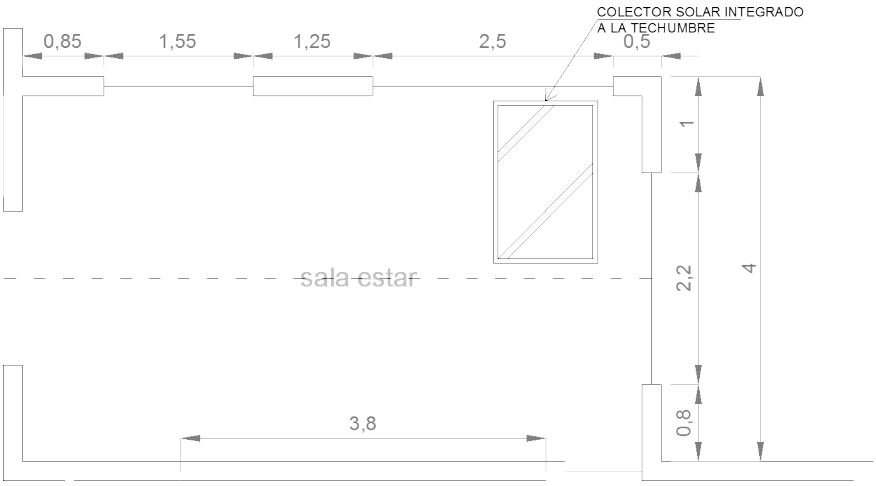


Figura 3-3 Colector Solar integrado a la techumbre

Se estimó a través de software que al instalar un panel solar plano de 2,8$[\mathrm{m}^2]$ con cubierta selectiva y un estanque de acumulación de 150 litros, se genera un total de 1.200$[kWh/\text{año}]$, que corresponde a un 75% de la demanda estimada de Agua Caliente para la vivienda.

En cuanto al lugar de instalación del sistema solar térmico, se recomienda instalarlo sobre la techumbre de la
vivienda, de manera de minimizar la distancia entre los colectores y el punto de consumo, lo que reducirá las pérdidas por transferencia de calor.

Costo del sistema solar térmico: Se estima que el costo del sistema instalado estará en torno a $1.400.000, incluyendo colector, estanque de acumulación y mano de obra. Como se mencionó anteriormente, este sistema sería capaz de generar1.200$[kkWWh/kkñoo]$, los que actualmente son provistos por un calefón con una eficiencia típica de un 70% y utilizando un combustible que tiene un costo estimado de $71[\$/kWh]$.(mayo 2022)

De esta manera, cada $[kWh]$ útil generado en la situación actual, tiene un costo de:

$$Costo_{energia-util-ACS} = \frac{71[\$/kWh]}{70\%} = 101[\$/kWh]$$

Considerando que el sistema solar genera 1.200[kWh/año], se tiene que el ahorro anual generado por el sistema solar térmico es de:

$$Ahorro_{SST} = 101[\$/kWh] \cdot 1.200[kWh/año] = 120.000[\$/año]$$

Los resultados de la evaluación económica son los siguientes:

Tabla 3.3 Evaluación económica sistema solar térmico

Parámetro	**Valor**
Ahorros anuales	120.000 [$]
Periodo de Retorno de la Inversión	11.6 [años]
Tasa Interna de Retorno	7,78%
VAN (5%)	**$ 359.473**

3.3. SOLUCIONES PROPUESTA PARA LA ENVOLVENTE - USO DE TERMOPANEL EN VENTANAS

Como se mencionó en la sección 2.2, las ventanas actuales son de vidrio simple, con marco de aluminio. Las ventanas son mayormente de corredera, a excepción de las ventanas fijas.

Se evalúa la utilización de termopanel en todas las ventanas de la casa. Se considera un termopanel con un valor de transmitancia térmica (valor U) de $2{,}84[W/\mathrm{m}^2K]$.

Al utilizar termopanel en las ventanas se cumple con el requisito de la ordenanza, ya que para un doble vidriado hermético con un valor U de $2{,}84[W/\mathrm{m}^2K]$ como se indicó anteriormente, el máximo porcentaje de superficie vidriada para la zona térmica 5 es de un $51[\%]$, como se muestra en la tabla a continuación:

VENTANAS			
ZONA	% Máximo de Superficie Vidriada Respecto a Paramentos Verticales de la Envolvente		
	Vidrio Monolítico (b)	DVH Doble Vidriado Hermético (c)	
		3.6 W/m²K ≥ U> 2.4 W/m²K (a)	U ≤ 2.4 W/m²K
1	50%	60%	80%
2	40%	60%	80%
3	25%	60%	80%
4	21%	60%	75%
5	18%	51%	70%
6	14%	37%	55%
7	12%	28%	37%

Figura 3.4 Porcentajes máximos permitidos de superficie vidriada

Al evaluar el efecto de esta medida, se tiene que se logra una reducción en la demanda de calefacción requerida, bajando al menos $3.100[W]$ su demanda de calefacción.

Para vidrios monolíticos y para Doble Vidriado Hermético. Se destaca el requerimiento para el Doble Vidriado Hermético en la zona térmica en que está ubicada la vivienda.

3.4 MEJORAS A ALCANZAR POR EL PROYECTO

Tabla 3. 5 Mejora Termopanel

Mejora 1 (termopanel)	
TOTAL DEMANDA CALEFACCIÓN ACTUAL [W]	15.736
TOTAL DEMANDA CALEFACCIÓN UTILIZANDO TERMOPANELES [W]	12.635
DIFERENCIA [W]	**3.100**

Proveedores: VELUX (www.velux.cl) / VEKA Chile (www.vekachile.cl)

Precio estimado: De acuerdo con los planos revisados y a las mediciones tomadas en terreno, la superficie de ventanas es de aproximadamente $47[\mathrm{m}^2]$. Se estima de acuerdo a mercado a la fecha del análisis un precio para termopaneles con marco de PVC de $100.000[\$/\mathrm{m}^2]$, con lo que el costo final sería de $4.700.000[\$]$

3.5 MEJORAS DE AISLACION EN LA TECHUMBRE

Para la techumbre se propone la utilización de lana de celulosa expandida y proyectada. De acuerdo con el listado oficial de soluciones constructivas para acondicionamiento térmico del MINVU, la lana de celulosa Termo-Stop tiene una conductividad de 0,041$[W/\mathrm{m}K]$. Con este valor de

conductividad se evalúan distintos espesores que permitan cumplir con lo requerido por la Ordenanza General de Urbanismo y Construcción.

Se evaluó la solución constructiva que consiste en la losa actual de $15[c\mathrm{m}]$ de hormigón, más una capa de lana de celulosa, que fue evaluada en distintos espesores. Como resultado se obtuvo que el espesor mínimo para cumplir con la reglamentación térmica es de $115[\mathrm{mm}]$.
La disminución en la demanda de calefacción de la vivienda se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 3.6 Disminución de demanda de calefacción

	Materiales y/o cámaras no ventiladas	Espesor (mm)	λ (W/m°C)	R [(m2°C)/W]
1	Lana de Celulosa Proyectada 28,5 kg/m3	115	0,041	2,785
2	Hormigón Armado (normal) 2400 Kg/m3	150	1,63	0,092
3				
	Aire Superficial			
Exterior	RSI Flujo Vertical Ascendente de separación o cámara de aire			0,10
Interior	RSI Flujo Vertical Ascendente de separación o cámara de aire			0,1
			Rt [(m2°C)/W]	3,08
			U [W/(m2°C)]	0,33
			U máx [W/(m2°C)]	0,33

Tabla 3.7. Mejora Termopanel y Techumbre

Mejora 2 (termopanel y techumbre)	
TOTAL DEMANDA CALEFACCIÓN ACTUAL [W]	15.736
TOTAL DEMANDA CALEFACCIÓN UTILIZANDO TERMOPANELES Y AISLANDO LA TECHUMBRE [W]	11.556
DIFERENCIA [W]	**4.180**

La instalación de la aislación en la techumbre deberá ser continua, teniendo especial precaución

de cubrir las costaneras, con el mismo espesor que el resto de la techumbre para evitar puentes térmicos. Un diagrama de cómo debe ser instalada la aislación se muestra a continuación:

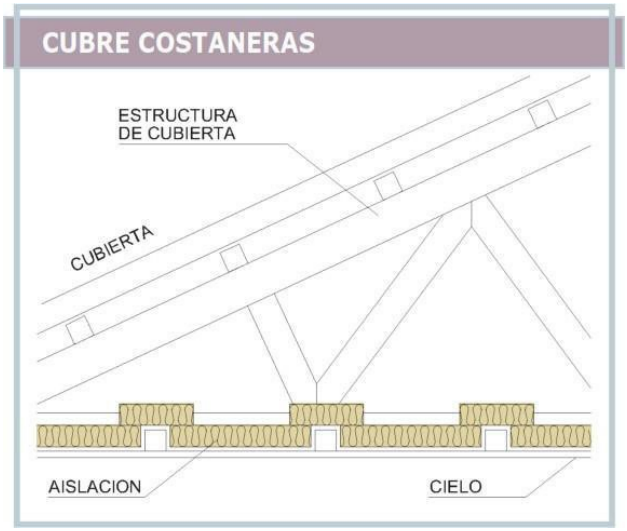
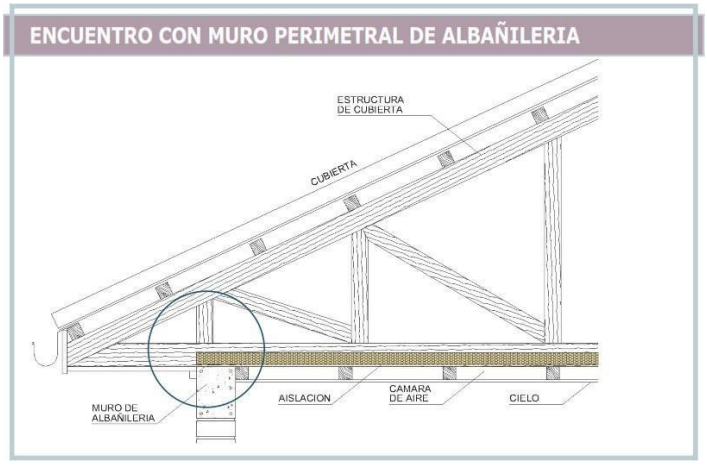


Figura 3.8 Instalación de la aislación de la techumbre.

Para obtener una continuidad en el aislamiento térmico de la techumbre, todo muro o tabique que sea parte de ésta, tal como lucarna, antepecho, dintel u otro elemento que interrumpa el acondicionamiento térmico de la techumbre y delimite un local habitable o no habitable, deberá cumplir con la misma exigencia que le corresponda al complejo de techumbre. En el caso de un encuentro con muro perimetral de albañilería, la especificación de aislación para el techo deberá continuar por sobre el muro, como se muestra a continuación:



Proveedor: Termo-Stop (www.greentop.cl)

Figura 3-9 Aislación en el encuentro de la techumbre con los muros perimetrales

Precio estimado: La superficie total de techumbre es de aproximadamente 240 $[m^2]$. Se estima un precio por metro cuadrado de $6.000[\$/m^2]$, con lo que el costo final sería de $1.440.000[\$]$.

3.6 MEJORAS DE AISLACIÓN EN MUROS

Se analizan dos distintas soluciones constructivas para la mejora de la envolvente en muros. Una corresponde a una aislación interior, mientras que la segunda corresponde a una aislación exterior. Las ventajas y desventajas de cada una se presentan a continuación:

Tabla 3.8 comparativa de ventajas y desventajas de dilación interior y exterior

	Ventajas	**Desventajas**
Aislación Interior	Se llega rápidamente al confort térmico. Generalmente es más económica que la aislación exterior.	Reduce el espacio útil. Requiere extraer algunas terminaciones interiores y luego deben colocarse nuevamente. ***Si no se toman las precauciones, puede ocurrir condensación intersticial.***
Aislación Exterior	Aprovecha la inercia térmica del ladrillo. No se pierde espacio útil.	Demora en alcanzar la temperatura de confort.

3.7 AISLACIÓN INTERIOR

Para la aislación interior, se considera el sistema PolyGip, el cual consiste en una placa de yeso cartón adherida a una plancha de poliestireno expandido. Existen diversos espesores de la plancha de poliestireno expandido para esta solución. Se evalúa cual es el espesor mínimo para poder cumplir con los requerimientos de la Ordenanza en la Zona Térmica 5. De acuerdo con esta evaluación, se tiene que es suficiente con un Polygip ST-20, el que tiene 10 mm de yeso cartón y 10mm de poliestireno expandido, como se muestra a continuación.

Tabla 3.10 de materiales y cámaras no ventiladas

	Materiales y/o cámaras no ventiladas	Espesor (mm)	λ (W/m°C)	R [(m2°C)/W]
1	Ladrillo hecho a mano	200	0,5	0,400
2	Yeso-Cartón 700 Kg/m3	10	0,26	0,038
3	Poliestireno expandido 15 Kg/m3	10	0,041	0,242
	Aire Superficial			
Exterior	RSE Exterior viento inferior a 10 [km/h]			0,05
Interior	RSI Flujo Horizontal			0,12
		Rt[(m2°C)/W]		**0,73**
		U [W/(m2°C)]		**1,37**
		U máx [W/(m2°C)]		**1,6**

Proveedor: Sodimac (www.sodimac.cl) / Romeral (www.romeral.cl)

La disminución en la demanda de calefacción de la vivienda se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 3.11 Mejoras con el termopanel, techumbre y muros interiores

Mejora 3.11 (termopanel, techumbre y muros interiores)	
TOTAL DEMANDA CALEFACCIÓN ACTUAL [W]	15.736
TOTAL DEMANDA CALEFACCIÓN UTILIZANDO TERMPANELES, AISLANDO LA TECHUMBRE Y UTILIZANDO LA AISLACIÓN INTERIOR DEL MURO[W]	9.497
DIFERENCIA [W]	**6.239**

Costo: El costo de poligyp es de aproximadamente $4.800[\$/\mathrm{m}^2]$, mientras que los muros que tiene contacto con el ambiente exterior tienen una superficie aproximada de $110[\mathrm{m}^2]$. Esto da como resultado que el costo del material es de $528.000[\$]$, a lo que habría que sumarle la mano de obra y otros materiales complementarios. Si se consideran los muros de baños y de otros recintos no habitados (baños, closets, etc.), se tienen cerca de $170[\mathrm{m}^2]$, con lo que el costo final estimado es de $816.000[\$]$.

3.8 AISLACIÓN EXTERIOR

Para la ***aislación exterior***, se propone un sistema de aislación exterior con acabado, como PROMURO, el cual es un sistema de revestimiento exterior que contiene una capa de poliestireno expandido de $20[kg/\mathrm{m}^3]$ que va adherida al muro, y va revestida con una malla de fibra de vidrio dentro de un mortero delgado elastomérico.

Proveedor: Eurotec (www.eurotec.cl) / STO Chile (www.stochile.com)

Figura 3-6 Diagrama de aislación exterior ProMuro

Las distintas configuraciones de Promuro son analizadas para determinar cuál es el espesor mínimo requerido que permite cumplir con la reglamentación térmica. Se determina que la configuración con $25[\mathrm{mm}]$ de poliestireno expandido es suficiente para cumplir con dicha reglamentación.

Tabla 3.12 Materiales aislación exterior

	Materiales y/o cámaras no ventiladas	Espesor (mm)	λ (W/m°C)	R [(m2°C)/W]
1	Ladrillo hecho a mano	200	0,5	0,400
2	Poliestireno expandido 20 Kg/m3	25	0,156	0,651
	Aire Superficial			
Exterior	RSE Exterior viento inferior a 10 [km/h]			0,05
Interior	RSI Flujo Horizontal			0,12
		Rt[(m2°C)/W]		1,14
		U [W/(m2°C)]		0,91
		U máx [W/(m2°C)]		1,6

Tabla 3. 13 Evaluación de las Mejoras

Mejora 3.13 (termopanel, techumbre y muros exteriores)	
TOTAL DEMANDA CALEFACCIÓN ACTUAL [W]	15.736
TOTAL DEMANDA CALEFACCIÓN UTILIZANDO TERMPANELES, AISLANDO LA TECHUMBRE Y AISLANDO MUROS POR EL EXTERIOR [W]	7.872
DIFERENCIA [W]	**7.864**

Costo: El costo de instalar una aislación exterior es del orden de 10.000$[\$/\mathrm{m}^2]$, por lo que si consideramos 170$[\mathrm{m}^2]$ de muros exteriores, entonces la inversión inicial es de 1.700.000$[\$]$

3.9.1 SOLUCIONES PROPUESTAS PARA EL SISTEMA DE CALEFACCIÓN

Se evaluarán distintas opciones de equipos para satisfacer la demanda de calefacción de la vivienda, listando sus ventajas, desventajas y una estimación de los costos asociados. Las demandas de calefacción para cada una de las habitaciones se muestran en los anexos 4.1 a 4.5.

3.8.1 CALDERA MURAL MIXTA CONDENSACIÓN

Se propone como primera solución, una caldera mural mixta de gas licuado. Esta caldera mural tiene la capacidad de abastecer tanto las demandas de calefacción como las de agua caliente sanitaria, y tiene la particularidad de aprovechar el calor contenido en los gases de combustión del gas licuado.

Se evaluará una caldera de condensación marca Baxi Luna de 28.000 $[\mathrm{kCal}/h]$ (equivalente a una potencia de 32$[kW]$), como se muestra en la Figura 3-8. Esta caldera está dimensionada para una demanda de calefacción con todas las mejoras de envolvente propuestas (ventanas, muros y techumbre), y para que se pueda utilizar una única ducha de manera simultánea. Si no se implementan las mejoras de envolvente, o si bien se considera el uso de dos duchas en paralelo mientras se utiliza la calefacción, se requerirá una caldera de mayor tamaño.

El rendimiento nominal de la caldera varía de acuerdo con el nivel de carga y a la temperatura

de utilización. Se recomienda por seguridad utilizar una temperatura de ida de 50 o 60ºC y una temperatura de retorno de 40 o 30º. Si bien con esta configuración se requieren radiadores de mayor dimensión, se evitan posibles quemaduras por contacto.
A continuación, se muestra una tabla con los parámetros de la caldera. Se muestran los rendimientos nominales que aparecen en la ficha comercial (que son calculados con el poder calorífico inferior del gas licuado, que se considera de 10.900 $[kCal/h]$, y se agregan los rendimientos nominales al considerar el poder calorífico superior (PCS) del combustible.

Con esta configuración, la caldera debería ser suficiente para abastecer la demanda de ACS y de calefacción de manera simultánea.

Proveedor: Anwo (www.anwo.cl) / Cosmoplas (www.cosmoplas.cl)
Figura 3-7 Caldera de condensación mixta, de 26,1 [kW]

Al considerar el rendimiento nominal de esta caldera y el precio del Gas Licuado, se tiene que el costo por energía útil es de:

$$Costo_{energia-util} = \frac{Costo_{combustible}}{Rendimiento_{PCS}}$$

$$Costo_{energia-util} = \frac{71[\$/kWh]}{96{,}1[\%]} = 73{,}9[\$/kWh]$$

Costos: El costo de la caldera considerada es de $1.550.000, IVA incluido. A esto hay que agregar el costo de los radiadores para las distintas habitaciones, más el costo de la gasfitería y el costo de mano de obra.

3.8.2 BOMBA DE CALOR GEOTERMICA CON LOOP HORIZONTAL

Se evalúa la utilización de una bomba de calor geotérmica para satisfacer la demanda de calefacción de la vivienda. La ventaja de una bomba de calor es que estas utilizan algún medio como agua, tierra o aire como fuente de energía para poder cambiar de fase un líquido refrigerante, el cual luego entrega calor cuando vuelve a su fase anterior.

Figura 3-8 Ciclo de operación de una bomba de calor.

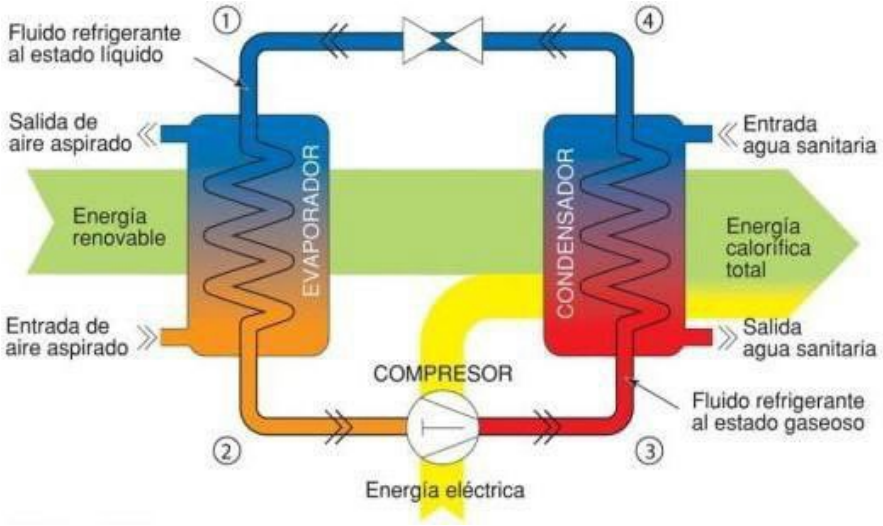


Figura 3-8 Ciclo de operación de una bomba de calor.

De esta manera, como se aprecia en la Figura 3-8, la energía requerida para la operación de la bomba de calor corresponde en gran parte a la energía consumida por el compresor y en menor medida, a la energía consumida por la bomba de circulación. El resto de la energía aprovechada proviene de la tierra, aire o agua. Se define un rendimiento para las bombas de calor, denominado *Coefficient of Performance* (COP), el cual, siguiendo la nomenclatura de la Figura 3-8, se define como:

$$COP = \frac{Energía\ Calorífica\ Total}{Energía\ Eléctrica}$$

Se tiene entonces, que la energía obtenida de la tierra no es contabilizada para este

rendimiento, y ocurre por lo tanto que el valor del COP muchas veces es superior al 100%

Para efectos de este estudio, se evaluó una bomba de calor con las siguientes características:

Tabla 3.14 Características Técnicas de la bomba de Calor Geotérmica

Parámetro	***Valor***	***Unidad***
Marca	DERON	
Modelo	DE-46W/S	
Potencia de Entrada	4,6	$[kW]$
Capacidad Calórica	18	$[kW]$
Voltaje	220	$[V]$
Fases	1	
Corriente Máxima	28	$[A]$
Refrigerante Utilizado	R417A	
Cantidad de Refrigerante	2.200	$[grs]$
Temperatura de agua de trabajo nominal	55	$[ºC]$
Temperatura de agua de trabajo máxima	60	$[ºC]$
Flujo de agua de alimentación requerido	4,2	$[m^3/h]$
Flujo de agua caliente requerido	3,0	$[m^3/h]$
Rango de operación temperatura ambiente	-10 a 45	$[ºC]$
Peso Neto	100	$[kg]$
Medidas	600 x 620 x 830	$[mm]$
Tanque de acumulación requerido	500	$[lts]$
Nivel de ruido	<40	$[dB]$
COP Invierno	3,5	
COP Verano	4	

Proveedor: eNativa (www.enativa.cl)

Figura 3-9 Bomba de calor geotérmica considerada para el presente informe

El loop de intercambio de calor con la tierra se realiza de manera horizontal, ya que esta disposición es la más económica para la geotermia. El área requerida para depositar el loop de intercambio de calor es de 550 [cc^2], y la profundidad de la excavación es de 2 metros. A continuación se muestra un ejemplo gráfico de cómo va instalado el loop horizontal en el patio de una vivienda.

Figura 3-10 Configuración de Loop Horizontal para una bomba de calor Geotérmica.

La eficiencia de una bomba de calor (ya sea que utilice aire, agua o tierra como fuente de energía), depende en gran medida de la temperatura a la cual se encuentra esta fuente. En el caso de la geotermia, se espera que las temperaturas a nivel de subsuelo sean menos variables y extremas que las temperaturas que se podrían tener utilizando el agua de subsuelo.
Considerando que el valor del kWh es de $100, y sabidos los COP en invierno y verano de la bomba geotérmica, se tiene que el costo de energía útil para calefacción es el siguiente:

$$Costo_{energía-geotermia} = \frac{Costo_{combustible-PCS}}{Rendimiento_{PCS}}$$

$$Costo_{energia-geotermia} = \frac{100[\$/kWh]}{350[\%]} = 28{,}57[\$/kWh]$$

Costo: De acuerdo con cotización realizada, el costo de la bomba de calor geotérmica instalada es de 9.474.000 [$], incluyendo IVA. Esta instalación incluye el arriendo de la retroexcavadora necesaria para hacer la perforación requerida (2 metros de excavación en una superficie de 550 m^2).

3.8.3 CALDERA A PELLETS

Como última alternativa para la calefacción de la vivienda, se analiza el uso de una caldera a Pellets. Se evaluó una caldera marca ARTEL, con una potencia de 26 [kW]. Debido a la ausencia de información más detallada, se asumirá un rendimiento estacional de la caldera de un 85[%]. La eficiencia nominal de la caldera se indica en la página web del proveedor, y es de un 90[%] El costo del combustible es de 235$[\$/kg]$, y teniendo en cuenta que el poder calorífico superior del pellet es de 4,9 $[kWh/kg]$, se tiene que el costo del combustible es de $235/4{,}9 = 48[\$/kkWWh]$. Por último, al asumir una eficiencia estacional de la caldera de un 85%, se tiene que el costo de la energía útil es la siguiente:

$$Costo_{energia-pellets} = \frac{48[\$/kWh]}{85[\%]} = 57[\$/kWh]$$

Costo: El costo de la caldera a pellets más los accesorios de instalación para la caldera de 26 $[kW]$ es de 4.870.000[$], incluyendo IVA.

CAPITULO IV: VALIDACIÓN DE LA SOLUCIÓN

4.1 EVALUACIÓN ECONÓMICA DE LAS DISTINTAS PROPUESTAS

Para evaluar la conveniencia económica de realizar la aislación térmica en la vivienda, se realizará una simulación del consumo energético de la vivienda utilizando el software desarrollado para la certificación de edificio sustentable del instituto de la construcción. Los escenarios que se evalúan son los siguientes:

- Casa con la aislación actual y uso de estufa a parafina estándar. (caso base para la aislación)
- Casa con aislación propuesta y uso de estufa a parafina estándar. (caso modificado para evaluar parámetros económicos de la mejora en la aislación)

Para evaluar las distintas propuestas de equipos de calefacción, se evaluarán los siguientes escenarios:

- Casa con la aislación propuesta y uso de parafina estándar (caso base para comparar las distintas alternativas de calefacción)
- Casa con la aislación propuesta y uso de caldera de condensación.
- Casa con la aislación propuesta y uso de bomba de calor geotérmica.
- Casa con la aislación propuesta y uso de caldera a pellets.

No se incorporará el costo de los radiadores en la evaluación, ya que se asume que para todos los casos es necesario su instalación, y por lo tanto, al comparar los distintos escenarios su influencia es nula.

En el caso de la parafina, se asumirá una eficiencia de un 85[%] de la estufa y de acuerdo con lo visto en la sección 2.4.3, el precio de la energía de la parafina es de 52,6[$\$/kWh$]. Por lo tanto, el valor de la energía útil en este caso es:

$$Costo_{parafina} = \frac{52{,}6[\$/kWh]}{85[\%]} = 61{,}9[\$/kWh]$$

Se simula el comportamiento de la vivienda para determinar la conveniencia de las medidas. Para ajustar el modelo y acercarlo más al comportamiento típico de una vivienda, se asumió lo siguiente:

- El rango de temperatura de confort está entre 20 y 24 [℃]
- Solo se utiliza calefacción entre los meses de abril a septiembre
- La casa está ocupada los 7 días de la semana
- El horario de utilización es entre las 19 y las 23 horas y entre las 5 y las 9 de la mañana Los parámetros económicos para la evaluación de las medidas son los siguientes:
- Evaluación del proyecto a 20 años
- Tasa de descuento de un 5% inflación de los precios 2% anual para todos los combustibles.

4.1.1 CASO PARA AISLACIÓN TÉRMICA

El caso base para la aislación térmica corresponde a la vivienda con la envolvente que tiene actualmente, y utilizando estufa a parafina para calefaccionar la totalidad de la vivienda.
Los resultados obtenidos son los siguientes:

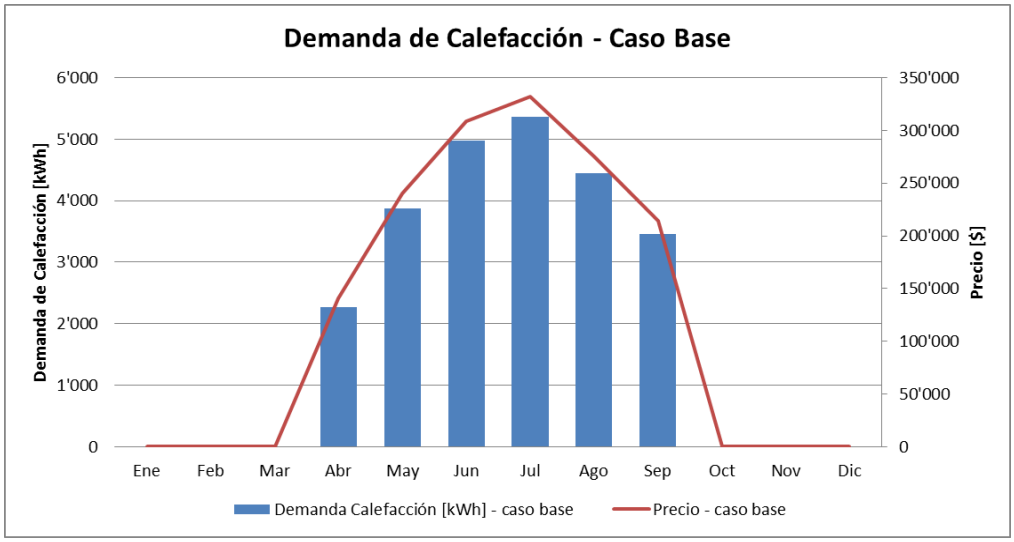


Figura 4.1 Demanda de calefacción para el caso base y el costo asociado a calefacción con estufa a parafina.

Los costos y la demanda energética de la figura anterior se detallan a continuación:

Tabla 4-1 Demanda de calefacción y costo para el caso base

	Demanda Calefacción [kWh] - caso base	Precio [$] - caso base
Ene	-	-
Feb	-	-
Mar	-	-
Abr	2.273	140.724
May	3.877	239.964
Jun	4.980	308.279
Jul	5.370	332.385
Ago	4.451	275.501
Sep	3.461	214.249
Oct	-	-
Nov	-	-
Dic	-	-
TOTAL	**24.412**	**1.511.102**

4.2 AISLACIÓN TÉRMICA DE LA VIVIENDA

Este caso analizado contempla las 3 medidas de aislación térmica propuestas anteriormente, a saber:

- Uso de termopanel en todas las ventanas.
- Aislación térmica en la techumbre.
- Aislación térmica por el exterior en los muros.

Con esto, se obtienen las demandas y los costos asociados que se muestran en la figura siguiente. La escala de los ejes se mantiene igual que en la Figura 4-1, para poder hacer una comparación gráfica.

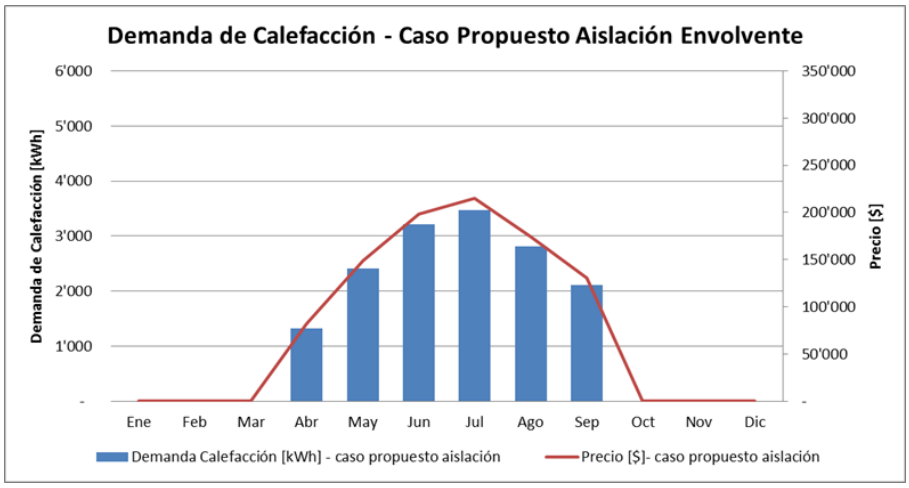


Figura 4-2 Demanda de calefacción para la casa con aislación térmica, y el costo asociado a calefaccionar con una estufa a parafina.

Tabla 4-2 Demanda de calefacción y costo para el caso con aislación térmica

	Demanda Calefacción [kWh] Caso propuesto	Precio [$] Caso propuesto
Ene	-	-
Feb	-	-
Mar	-	-
Abr	1.324	81.984
May	2.410	149.197
Jun	3.207	198.537
Jul	3.472	214.933
Ago	2.807	173.780
Sep	2.107	130.450
Oct		
Nov		
Dic		
TOTAL	**15.329**	**948.882**

Al comparar este escenario con el caso base, se tiene que la demanda de calefacción se redujo en un 37%, lo que significa una reducción de costos en la misma proporción. Para el caso base considerado, con un sistema de parafina, el ahorro llega a 562.221[$/año]

Al considerar las inversiones iniciales para la aislación térmica, se tiene que la inversión inicial es de $7.840.000 (aislación térmica en techo, muros exteriores, y uso de termopaneles en las ventanas). Con esto, los resultados económicos son los siguientes:

Tabla 4-3 Parámetros económicos obtenidos para la aislación térmica

Parámetro	Valor
Ahorro anual con respecto al caso base	562.221 [$]
Período de Retorno de la Inversión	13.9 [años]
Tasa Interna de Retorno	5.56 [%]
Valor Actual Neto (5%)	385.899 [$]

4.3 CASO BASE PARA LA ELECCIÓN DE EQUIPOS

4.3.1. CASA CON AISLACIÓN MEJORADA Y USO DE ESTUFA A PARAFINA ESTANDAR

El caso base para la selección de los equipos de calefacción corresponde a la vivienda aislada, utilizando una estufa de parafina convencional. Este caso base es exactamente el mismo que el visto en el punto 4.2.

4.3.2 CASO EQUIPO 1 - CALDERA DE CONDENSACIÓN

Utilizando esta información, se tiene que los costos asociados al uso de la caldera de condensación son los siguientes:

Tabla 4-3 Costo de la energía para la utilización de caldera de condensación.

	Demanda Calefacción [kWh] Caso propuesto aislación	Precio [$] Caso propuesto Caldera Condensación
Ene		-
Feb		-
Mar		-
Abr	1.324	97.877
May	2.410	178.121
Jun	3.207	237.025
Jul	3.472	256.601
Ago	2.807	207.470
Sep	2.107	155.740
Oct		-
Nov		-
Dic		-
TOTAL	**15.329**	**1.132.833**

Se tiene entonces, que con respecto al caso base considerado, en donde el gasto anual en calefacción se estimó en 948.882[$], existe un costo adicional de 183.951[$/año].

Tabla 4-4 Resultados de la evaluación económica para el uso de caldera a condensación.

Parámetro	Valor
Ahorro anual con respecto al caso base	-183.951[$]
Período de Retorno de la Inversión	No Aplica [años]
Tasa Interna de Retorno	No Aplica[%]
Valor Actual Neto (5%)	-4.448.303 [$]

4.3.3 CASO EQUIPO 2 - BOMBA DE CALOR GEOTÉRMICA

En el caso de la bomba de calor geotérmica, se había determinado que el costo de la energía útil era de 28,57$[\$/kWh]$. Como la demanda de energía corresponde a la de la vivienda con aislación térmica propuesta, se tiene que los costos estimados son los siguientes:

Tabla 4-5 Costos de calefaccionar la vivienda en el caso de bomba de calor geotérmica.

	Demanda Calefacción [kWh] Caso propuesto aislación	Costo [$] Caso propuesto Bomba de Calor Geotérmica
Ene		-
Feb		-
Mar		-
Abr	1.324	37.840
May	2.410	68.862
Jun	3.207	91.635
Jul	3.472	99.203
Ago	2.807	80.208
Sep	2.107	60.209
Oct		-
Nov		-
Dic		-
TOTAL	**15.329**	**437.957**

Al comparar el gasto para este escenario con el caso base, se tiene un ahorro de 510.925$[\$/\text{año}]$. Si además consideramos que la inversión inicial, incluyendo la mano de obra, es de $9.474.000, se obtienen los siguientes resultados al hacer el análisis económico:

Tabla 4.6 Resultados de la evaluación económica para la bomba de calor geotérmica

Parámetro	Valor
Ahorro anual con respecto al caso base	510.925[$]
Período de Retorno de la Inversión	18.5 [años]
Tasa Interna de Retorno	2,55[%]
Valor Actual Neto (5%)	-1.887.417 [$]

El VAN obtenido es negativo, lo que indica que la inversión realizada es menos rentable que tener el dinero a una tasa anual del 5%. El VAN pasa a ser positivo si consideramos tasas de descuento menores a un 2,55% (o dicho de otra manera, el proyecto tiene una tasa de retorno de 2,55%)

4.3.4 CASO EQUIPO 3 - CALDERA PELLETS

En este caso, se determinó que el costo de la energía útil producida por la caldera a pellets es de 57 $[\$/kWh]$. Al considerar la demanda de calefacción correspondiente a la vivienda aislada, se tiene que los costos estimados por el uso de la caldera son los siguientes:

Tabla 4.7 Costos de calefacción para la caldera a pellets

	Demanda Calefacción [kWh] Caso propuesto aislación	Precio [$]. Caso propuesto Caldera a Pellets
Ene		-
Feb		-
Mar		-
Abr	1.324	75.494
May	2.410	137.387
Jun	3.207	182.820
Jul	3.472	197.919
Ago	2.807	160.024
Sep	2.107	120.124
Oct		
Nov		
Dic		
Total	**15.329**	**873.768**

Se tiene entonces, que el costo asociado al uso de la caldera a pellets es de 873.768$[\$/k\mathrm{Wh}]$, lo que significa un ahorro de 75.113$[\$/k\mathrm{Wh}]$ con respecto al caso base considerado.
Al considerar el costo de inversión inicial para la caldera a biomasa de 4.870.000 $[\$]$, más un costo de instalación de un 10% del valor del equipo, se tiene una inversión inicial de 5.357.000$[\$]$. Los parámetros económicos obtenidos son los siguientes:

Tabla 4-8 Resultados del análisis económico realizado para la calefacción con caldera de biomasa

Parámetro	Valor
Ahorro anual con respecto al caso base	75.113 [$]
Período de Retorno de la Inversión	71,3 [años]
Tasa Interna de Retorno	No Aplica [%]
Valor Actual Neto (5%)	-4.052.792 [$]

4.4. SITUACIÓN FINAL DEL PROYECTO

La presente galería de fotografías revela las modificaciones que se realizaron en la vivienda , además de las instalaciones de equipos que dieron como resultado el mejoramiento de las características térmicas y de aislación de la vivienda.

Figura 4.3 instalación de bomba de calor

Figura 4.4 , instalación del piping de la bomba de calor

Figura 4.4 preparación del terreno para la instalación geotérmica.

Figura 4.5 piping de la zona de colector horizontal

Figura 4.6 registros de temperaturas interior y exterior

Figura 4.7. Con envolvente y parámetros térmicos de la instalación

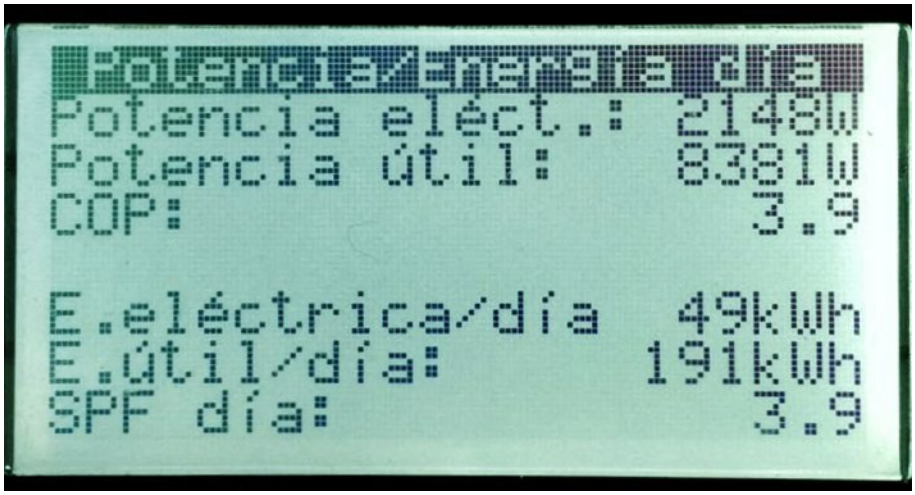


Figura 4.8. Sin envolvente y parámetros térmicos de la instalación

IV. CONCLUSIONES Y SUGERENCIAS

En relación con los objetivos propuestos de evaluar, proponer e implementar en una casa habitación en Pirque con la norma de edificación, los parámetros de eficiencia energética, en relación con la situación base se encontró que la vivienda no cumplía con la reglamentación térmica vigente para ninguno de los elementos de la envolvente.

Se evaluó y propuso la factibilidad económica de distintas alternativas para la utilización de Energías Renovables no convencionales y se obtuvieron los siguientes resultados:

Medida	Parámetro	Valor
Sistema fotovoltaico on-grid	Ahorros anuales	132.200 [$]
	Periodo de Retorno de la Inversión	11.3 [años]
	Tasa Interna de Retorno	8.01%
	VAN (5%)	$ 417'872
Sistema fotovoltaico off-grid (uso de baterías)	Ahorros anuales	132.200 [$]
	Periodo de Retorno de la Inversión	18.9 [años]
	Tasa Interna de Retorno	2.35%
	VAN (5%)	$ 417'872
Sistema Solar Térmico	Ahorros anuales	120.000 [$]
	Periodo de Retorno de la Inversión	11.6 [años]
	Tasa Interna de Retorno	7,78%
	VAN (5%)	$ 359.473

La evaluación económica resulta positiva para los tres casos evaluados. Se debe tener especial cuidado con la ubicación del sistema fotovoltaico, ya que, aunque exista sombra sobre una única celda dentro de un panel, esta actuará como una resistencia eléctrica y afectará el rendimiento de todo el sistema.

En cuanto a la evaluación económica distintas alternativas para lograr un consumo de energía más eficiente y se obtuvieron los siguientes resultados:

Medida propuesta	Parámetros	Valor
Aislación térmica en la vivienda	Ahorro anual con respecto al caso base	562.221 [$]
	Período de Retorno de la Inversión	13.9 [años]
	Tasa Interna de Retorno	5.56 [%]
	Valor Actual Neto (5%)	385.899 [$]
Uso de caldera de condensación	Ahorro anual con respecto al caso base	-183.951[$]
	Período de Retorno de la Inversión	No Aplica [años]
	Tasa Interna de Retorno	No Aplica[%]
	Valor Actual Neto (5%)	-4.448.303 [$]
Uso de bomba de calor geotérmica	Ahorro anual con respecto al caso base	510.925[$]
	Período de Retorno de la Inversión	18.5 [años]
	Tasa Interna de Retorno	2,55[%]
	Valor Actual Neto (5%)	-1.887.417 [$]
Uso de caldera a pellets	Ahorro anual con respecto al caso base	75.113 [$]
	Período de Retorno de la Inversión	71,3 [años]
	Tasa Interna de Retorno	No Aplica [%]
	Valor Actual Neto (5%)	-4.052.792 [$]

Los resultados de la evaluación económica son positivos para la mejora en la aislación térmica, pero en el caso de los equipos de calefacción, los resultados obtenidos resultan todos negativos, puesto que se están comparando contra un caso base en el que la calefacción se

realiza con una estufa a parafina, que es uno de los combustibles más baratos en conjunto con la leña (razón por la cual son los dos combustibles mayormente utilizados para calefacción domiciliaria a nivel nacional), y que térmicamente es muy eficiente ya que todos los gases de la combustión aportan a la calefacción del recinto.

Por otro lado, más allá de la evaluación económica, en los 3 casos de equipos de calefacción evaluados, la contaminación intradomiciliaria por gases de combustión se reduce a cero, que es un beneficio que no se evaluó económicamente dentro del alcance de este informe.

Se debe tener especial cuidado con los siguientes puntos:

- Dimensionamiento de los radiadores: A excepción de la caldera a biomasa, los sistemas de calefacción trabajan a baja temperatura, por lo que se deben dimensionar los radiadores de manera adecuada, y no con la potencia nominal típica que los evalúa a temperaturas de 90º
- Aislación de los Circuitos de calefacción: Los circuitos de calefacción deben considerar una buena aislación por el proyectista. Se recomienda seguir lo indicado en el Reglamento de Instalaciones Térmicas de Chile (RITCH). Evitar soluciones como PPR sin aislación adicional, ya que disipan temperaturas en puntos no requeridos.
- Equilibrado de los Circuitos de Calefacción: Se deben colocar válvulas de equilibrado o bien utilizar una disposición de retorno invertido en las cañerías, para asegurar el flujo requerido en **todos** los radiadores, y no ocurra un problema bastante frecuente que es que los radiadores más aleados del suministro de calefacción tienen menores caudales y por lo tanto transfieren menos calor al ambiente.
- Ventilación de la vivienda: Al aislar la vivienda, es recomendable tener una mayor preocupación por los niveles de ventilación, para evitar un empeoramiento de la calidad del ambiente interior. Esto se puede conseguir simplemente con ventilación natural (ventanas), o bien utilizando algún otro sistema como la ventilación tipo jonas (www.cjonas.cl)

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

AHFS, 2011. Comparative Analysis of Prescriptive, Performance-Based, and Outcome-Based Energy Code Systems, Alaska Housing Finance Corporation. US. Disponible en: https://www.ahfc.us/files/9013/5754/5384/cascadia_code_ analysis_071911.pdf. Consultado el 19.07.16

- ANSI/ASHRAE 2007. Standard 90.1: Energy Standard for Buildings Except Low Rise Residential Buildings.
- • ANSI-ASHRAE 2014. Standard 140. Standard Method of Test for the Evaluation of Building Energy Analysis Computer Programs.
- • ASHRAE 2014. 90.1 User's Manual – ANSKI / ASHRAE / IESNA Standard 90.1-2013. Atlanta, GA, USA. Disponible en: https://www.ashrae.org/resources--publications/bookstore/standard-90-1-user-s-manual
- • Bustamante, 2009. Guía de Diseño para la Eficiencia energética en la Vivienda Social. Pontificia Universidad Católica de Chile.
- • Bustamante, 2015. Estudio sobre rangos de confort térmico y riesgo de sobrecalentamiento en el contexto de la aplicación de nuevos estándares de desempeño térmico en viviendas. Ministerio de Vivienda y Urbanismo, Chile.
- • ISO, 2008. Norma ISO 13790:2008, Cálculo del consumo de energía para calefacción y enfriamiento de espacios. • Johnson, 1981. Patterns of Residential Occupancy. National Research Council of Canada, Division of Building Research.
- • Minergía, 2010. Decreto 331. Reglamento de la Ley N°20.365, que establece franquicia tributaría respecto de sistemas solares térmicos
- • INN, 2014. NCh 853:2007, Acondicionamiento térmico - Envolvente térmica de edificios - Cálculo de resistencias y transmitancias térmicas. • MOP, 2007. Términos de Referencia

IV. ANEXOS

ANEXO A: SITUACIÓN ACTUAL

A continuación, se muestra el dimensionamiento de la demanda térmica requerida para los distintos recintos, con el propósito de dimensionar los radiadores para la calefacción. Se puede aplicar un factor de seguridad (por ejemplo, de 1,5) si se quiere una respuesta más rápida del sistema de calefacción.

Situación Actual		
Estar / living		
Área	19.44	[m2]
Volumen	46.656	[m3]
Perdidas techo	299.4	[W]
Perdidas muros	1'006.1	[W]
Perdidas ventanas	1'306.6	[W]
Renovación aire	340.5	[W]
TOTAL	**2.952,6**	**[W]**
Pieza 1		
Área	8.4	[m2]
Volumen	20.16	[m3]
Perdidas techo	129.4	[W]
Perdidas muros	324.1	[W]
Perdidas ventanas	405.8	[W]
Renovación aire	147.1	[W]
TOTAL	**1.006,4**	**[W]**

Pieza 2		
Área	8.5	[m2]
volumen	20.4	[m3]
Perdidas techo	130.9	[W]
Perdidas muros	211.1	[W]
Perdidas ventanas	535.6	[W]
Renovación aire	148.9	[W]
TOTAL	**1.026,5**	**[W]**
Pieza 3		
Área	16.85	[m2]
Volumen	40.44	[m3]
Perdidas techo	259.5	[W]
Pérdidas muros	535.4	[W]
Perdidas ventanas	763.4	[W]
Renovación aire	295.1	[W]
TOTAL	**1.853,3**	**[W]**
Sala Estar		
Área	24.6	[m2]
Volumen	59.04	[m3]
Pérdidas techo	378.8	[W]
Pérdidas muros	1.136,0	[W]
Perdidas ventanas	1.457,2	[W]
Renovación aire	430,1	[W]
TOTAL	**3.402,9**	**[W]**

Comedor		
Área	11.8	[m2]
Volumen	28.32	[m3]
Pérdidas techo	181.7	[W]
Pérdidas muros	160.4	[W]
Perdidas ventanas	468,7	[W]
Renovación aire	206,7	[W]
TOTAL	**1.017,8**	**[W]**
Cocina		
Área	15.7	[m2]
Volumen	37.68	[m3]
Pérdidas techo	241.8	[W]
Pérdidas muros	296.9	[W]
Perdidas ventanas	280.7	[W]
Renovación aire	275.0	[W]
TOTAL	**1.094,4**	**[W]**
Logia/Lavadero		
Área	12.42	[m2]
Volumen	29.81	[m3]
Pérdidas techo	191.3	[W]
Pérdidas muros	795.6	[W]
Perdidas ventanas	280.7	[W]
Renovación aire	264.1	[W]
TOTAL	**1.468,5**	**[W]**

Pieza 4		
Área	6.5	[m2]
Volumen	15.6	[m3]
Pérdidas techo	100.1	[W]
Pérdidas muros	571.4	[W]
Perdidas ventanas	176.1	[W]
Renovación aire	113.8	[W]
TOTAL	**961,5**	**[W]**
Hall Entrada		
Área	8.37	[m2]
Volumen	20.09	[m3]
Pérdidas techo	128.9	[W]
Pérdidas muros	339.9	[W]
Perdidas ventanas	336.9	[W]
Renovación aire	146.6	[W]
TOTAL	**952,3**	**[W]**

ANEXO B : USO DE TERMOPANELES EN TODAS LAS VENTANAS

A continuación, se muestra el dimensionamiento de la demanda térmica requerida para los distintos recintos, con el propósito de dimensionar los radiadores para la calefacción. Se puede aplicar un factor de seguridad (por ejemplo, de 1,5) si se quiere una respuesta más rápida del sistema de calefacción.

Mejora 1 - Uso de termopanel en todas las ventanas		
Estar / Living		
Área	19.44	[m2]
Volumen	46.656	[m3]
Perdidas techo	299.4	[W]
Perdidas muros	1'006.1	[W]
Perdidas ventanas	630.8	[W]
Renovación aire	340.5	[W]
TOTAL	**2.276,7**	**[W]**
Pieza 1		
Área	8.4	[m2]
Volumen	20.16	[m3]
Perdidas techo	129.4	[W]
Perdidas muros	324.1	[W]
Perdidas ventanas	195.9	[W]
Renovación aire	147.1	[W]
TOTAL	**796,5**	**[W]**

Pieza 2		
Área	8.5	[m2]
Volumen	20.4	[m3]
Perdidas techo	130.9	[W]
Perdidas muros	211.1	[W]
Perdidas ventanas	258.6	[W]
Renovación aire	148.9	[W]
TOTAL	**749,5**	**[W]**
Pieza 3		
Área	16.85	[m2]
Volumen	40.44	[m3]
Perdidas techo	259.5	[W]
Pérdidas muros	535.4	[W]
Perdidas ventanas	368.5	[W]
Renovación aire	295.1	[W]
TOTAL	**1.458,5**	**[W]**

Sala Estar		
Área	24.6	[m2]
Volumen	59.04	[m3]
Pérdidas techo	378.8	[W]
Pérdidas muros	1.136,0	[W]
Perdidas ventanas	703.5	[W]
Renovación aire	430,1	[W]
TOTAL	**2.649,2**	**[W]**
Comedor		
Área	11.8	[m2]
Volumen	28.32	[m3]
Pérdidas techo	181.7	[W]
Pérdidas muros	160.4	[W]
Perdidas ventanas	226,4	[W]
Renovación aire	206,7	[W]
TOTAL	**775,2**	**[W]**
Cocina		
Área	15.7	[m2]
Volumen	37.68	[m3]
Pérdidas techo	241.8	[W]
Pérdidas muros	296.9	[W]
Perdidas ventanas	135.5	[W]
Renovación aire	275.0	[W]
TOTAL	**949,2**	**[W]**

Logia/Lavadero		
Área	12.42	[m2]
Volumen	29.81	[m3]
Pérdidas techo	191.3	[W]
Pérdidas muros	795.6	[W]
Perdidas ventanas	127.5	[W]
Renovación aire	217.5	[W]
TOTAL	**1.331,9**	**[W]**

Pieza 4		
Área	6.5	[m2]
Volumen	15.6	[m3]
Pérdidas techo	100.1	[W]
Pérdidas muros	571.4	[W]
Perdidas ventanas	85.0	[W]
Renovación aire	113.8	[W]
TOTAL	**870,4**	**[W]**
Hall Entrada		
Área	8.37	[m2]
Volumen	20.09	[m3]
Pérdidas techo	128.9	[W]
Pérdidas muros	339.9	[W]
Perdidas ventanas	162.6	[W]
TOTAL	**778,0**	**[W]**

ANEXO C: MEJORA 2 EN USO DE TERMOPANEL Y AISLACION EN LA TECHUMBRE

A continuación, se muestra el dimensionamiento de la demanda térmica requerida para los distintos recintos, con el propósito de dimensionar los radiadores para la calefacción. Se puede aplicar un factor de seguridad (por ejemplo, de 1,5) si se quiere una respuesta más rápida del sistema de calefacción.

Mejora 2 - Uso de termopanel y aislación en la techumbre		
Estar / Living		
Área	19.44	[m2]
Volumen	46.656	[m3]
Perdidas techo	141.1	[W]
Perdidas muros	1'006.1	[W]
Perdidas ventanas	630.8	[W]
Renovación aire	340.5	[W]
TOTAL	**2.118,5**	**[W]**
Pieza 1		
Área	8.4	[m2]
Volumen	20.16	[m3]
Perdidas techo	61.0	[W]
Perdidas muros	324.1	[W]
Perdidas ventanas	195.9	[W]
Renovación aire	147.1	[W]
TOTAL	**728,1**	**[W]**

Pieza 2		
Área	8.5	[m2]
Volumen	20.4	[m3]
Perdidas techo	61.7	[W]
Perdidas muros	211.1	[W]
Perdidas ventanas	258.6	[W]
Renovación aire	148.9	[W]
TOTAL	**680,3**	**[W]**
Pieza 3		
Área	16.85	[m2]
Volumen	40.44	[m3]
Perdidas techo	122.3	[W]
Pérdidas muros	535.4	[W]
Perdidas ventanas	368.5	[W]
Renovación aire	295.1	[W]
TOTAL	**1.321,3**	**[W]**

Sala Estar		
Área	24.6	[m2]
Volumen	59.04	[m3]
Pérdidas techo	178.6	[W]
Pérdidas muros	1.136,0	[W]
Perdidas ventanas	703.5	[W]
Renovación aire	430,1	[W]
TOTAL	**2.448,9**	**[W]**

Comedor		
Área	11.8	[m2]
Volumen	28.32	[m3]
Pérdidas techo	85.7	[W]
Pérdidas muros	160.4	[W]
Perdidas ventanas	226,4	[W]
Renovación aire	206,7	[W]
TOTAL	**679,2**	**[W]**
Cocina		
Área	15.7	[m2]
Volumen	37.68	[m3]
Pérdidas techo	114.0	[W]
Pérdidas muros	296.9	[W]
Perdidas ventanas	135.5	[W]
Renovación aire	275.0	[W]
TOTAL	**821,4**	**[W]**

Logia/Lavadero		
Área	12.42	[m2]
Volumen	29.81	[m3]
Pérdidas techo	90.2	[W]
Pérdidas muros	795.6	[W]
Perdidas ventanas	127.5	[W]
Renovación aire	217.5	[W]
TOTAL	**1.230,8**	**[W]**

Pieza 4		
Área	6.5	[m2]
Volumen	15.6	[m3]
Pérdidas techo	47.2	[W]
Pérdidas muros	571.4	[W]
Perdidas ventanas	85.0	[W]
Renovación aire	113.8	[W]
TOTAL	**817,5**	**[W]**
Hall Entrada		
Área	8.37	[m2]
Volumen	20.09	[m3]
Pérdidas techo	60.8	[W]
Pérdidas muros	339.9	[W]
Perdidas ventanas	162.6	[W]
TOTAL	**709,9**	**[W]**

ANEXO D: MEJORA EN USO DE TERMOPANEL, AISLACION EN LA TECHUMBRE Y AISLACION INTERIRO DE MUROS

A continuación, se muestra el dimensionamiento de la demanda térmica requerida para los distintos recintos, con el propósito de dimensionar los radiadores para la calefacción. Se puede aplicar un factor de seguridad (por ejemplo, de 1,5) si se quiere una respuesta más rápida del sistema de calefacción.

Mejora 3 - opción 1- Uso de termopanel + aislación en la techumbre + aislación muros interior		
Estar / Living		
Área	19.44	[m2]
Volumen	46.656	[m3]
Perdidas techo	141.1	[W]
Perdidas muros	620.9	[W]
Perdidas ventanas	630.8	[W]
Renovación aire	340.5	[W]
TOTAL	**1.733,3**	**[W]**
Pieza 1		
Área	8.4	[m2]
Volumen	20.16	[m3]
Perdidas techo	61.0	[W]
Perdidas muros	200.0	[W]
Perdidas ventanas	195.9	[W]
Renovación aire	147.1	[W]
TOTAL	**604,0**	**[W]**

Pieza 2		
Área	8.5	[m2]
Volumen	20.4	[m3]
Perdidas techo	61.7	[W]
Perdidas muros	130.3	[W]
Perdidas ventanas	258.6	[W]
Renovación aire	148.9	[W]
TOTAL	**599,4**	**[W]**
Pieza 3		
Área	16.85	[m2]
Volumen	40.44	[m3]
Perdidas techo	122.3	[W]
Pérdidas muros	330.4	[W]
Perdidas ventanas	368.5	[W]
Renovación aire	295.1	[W]
TOTAL	**1.116,4**	**[W]**

Sala Estar		
Área	24.6	[m2]
Volumen	59.04	[m3]
Pérdidas techo	178.6	[W]
Pérdidas muros	701.1	[W]
Perdidas ventanas	703.5	[W]
TOTAL	**2.014,0**	**[W]**

Comedor		
Área	11.8	[m2]
Volumen	28.32	[m3]
Pérdidas techo	85.7	[W]
Pérdidas muros	99.0	[W]
Perdidas ventanas	226,4	[W]
Renovación aire	206,7	[W]
TOTAL	**617,7**	**[W]**
Cocina		
Área	15.7	[m2]
Volumen	37.68	[m3]
Pérdidas techo	114.0	[W]
Pérdidas muros	183.3	[W]
Perdidas ventanas	135.5	[W]
Renovación aire	275.0	[W]
TOTAL	**707,7**	**[W]**
Logia/Lavadero		
Área	12.42	[m2]
Volumen	29.81	[m3]
Pérdidas techo	90.2	[W]
Pérdidas muros	494.0	[W]
Perdidas ventanas	127.5	[W]
Renovación aire	217.5	[W]
TOTAL	**926,2**	**[W]**

Pieza 4		
Área	6.5	[m2]
Volumen	15.6	[m3]
Pérdidas techo	47.2	[W]
Pérdidas muros	352.6	[W]
Perdidas ventanas	85.0	[W]
Renovación aire	113.8	[W]
TOTAL	**598,7**	**[W]**
Hall Entrada		
Área	8.37	[m2]
Volumen	20.09	[m3]
Pérdidas techo	60.8	[W]
Pérdidas muros	209.8	[W]
Perdidas ventanas	162.6	[W]
Renovación Aire	146.6	[W]
TOTAL	**709,9**	**[W]**

ANEXO E: MEJORA DE USO TERMOPANEL, AISLAMIENTO EN LA TECHUMBRE Y AISLACION EXTERIOR EN LOS MUROS

A continuación, se muestra el dimensionamiento de la demanda térmica requerida para los distintos recintos, con el propósito de dimensionar los radiadores para la calefacción. Se puede aplicar un factor de seguridad (por ejemplo de 1,5) si se quiere una respuesta más rápida del sistema de calefacción.

Mejora 3, opción 2 - Uso de termopanel + aislación en la techumbre + aislación muros exterior		
Estar / Living		
Área	19.44	[m2]
Volumen	46.656	[m3]
Perdidas techo	141.1	[W]
Perdidas muros	412.4	[W]
Perdidas ventanas	630.8	[W]
Renovación aire	340.5	[W]
TOTAL	**1.524,8**	**[W]**
Pieza 1		
Área	8.4	[m2]
Volumen	20.16	[m3]
Perdidas techo	61.0	[W]
Perdidas muros	132.9	[W]
Perdidas ventanas	195.9	[W]
Renovación aire	147.1	[W]
TOTAL	**536,8**	**[W]**

Pieza 2		
Área	8.5	[m2]
Volumen	20.4	[m3]
Perdidas techo	61.7	[W]
Perdidas muros	86.5	[W]
Perdidas ventanas	258.6	[W]
Renovación aire	148.9	[W]
TOTAL	**555,7**	**[W]**
Pieza 3		
Área	16.85	[m2]
Volumen	40.44	[m3]
Perdidas techo	122.3	[W]
Pérdidas muros	219.4	[W]
Perdidas ventanas	368.5	[W]
Renovación aire	295.1	[W]
TOTAL	**1.005,4**	**[W]**
Sala Estar		
Área	24.6	[m2]
Volumen	59.04	[m3]
Pérdidas techo	178.6	[W]
Pérdidas muros	465.7	[W]
Perdidas ventanas	703.5	[W]
Renovación aire	430.9	[W]
TOTAL	**1.778,6**	**[W]**

Comedor		
Área	11.8	[m2]
Volumen	28.32	[m3]
Pérdidas techo	85.7	[W]
Pérdidas muros	65.8	[W]
Perdidas ventanas	226,4	[W]
Renovación aire	206,7	[W]
TOTAL	**584,5**	**[W]**
Cocina		
Área	15.7	[m2]
Volumen	37.68	[m3]
Pérdidas techo	114.0	[W]
Pérdidas muros	121.7	[W]
Perdidas ventanas	135.5	[W]
Renovación aire	275.0	[W]
TOTAL	**646,2**	**[W]**
Logia/Lavadero		
Área	12.42	[m2]
Volumen	29.81	[m3]
Pérdidas techo	90.2	[W]
Pérdidas muros	326.1	[W]
Perdidas ventanas	127.5	[W]
Renovación aire	217.5	[W]
TOTAL	**761,3**	**[W]**

Pieza 4		
Área	6.5	[m2]
Volumen	15.6	[m3]
Pérdidas techo	47.2	[W]
Pérdidas muros	234.2	[W]
Perdidas ventanas	85.0	[W]
Renovación aire	113.8	[W]
TOTAL	**480,3**	**[W]**
Hall Entrada		
Área	8.37	[m2]
Volumen	20.09	[m3]
Pérdidas techo	60.8	[W]
Pérdidas muros	139.3	[W]
Perdidas ventanas	162.6	[W]
TOTAL	**509,3**	**[W]**

.