



PONTIFICIA
UNIVERSIDAD
CATÓLICA DE
VALPARAÍSO



Humberto Ignacio Vargas Salas

Utilización de energía eléctrica con fines de calefacción en la ciudad de Coyhaique

Informe Proyecto de Título de Ingeniero Eléctrico



Escuela de Ingeniería Eléctrica



Estudio de factibilidad técnica y económica sobre el reemplazo de leña por energía eléctrica con fines de calefacción en la ciudad de Coyhaique.

Humberto Ignacio Vargas Salas

Informe Final para optar al título de Ingeniero Eléctrico,
aprobada por la comisión de la
Escuela de Ingeniería Eléctrica de la
Pontificia Universidad Católica de Valparaíso
conformada por

Sr. Paulino Alonso Rivas

Profesor Guía

Sr. Jorge Mendoza Baeza

Segundo Revisor

Sr. Sebastián Fingerhuth Massmann

Secretario Académico

Valparaíso, 27 de septiembre de 2017

*A mis Viejos Lindos
mi Hermosa Familia
mis Mejores Amigos
los Queridos Ernestinos
la Mayúscula Patagonia.*

Agradecimientos

Nada de lo ocurrido en este viaje hubiese sido posible sin mis queridos viejos, no hay palabras para describir lo que los amo, tremendos consejeros, sabiduría infinita, gracias por enseñarme sobre lo esencial de la vida, quizás en algún momento logre ser como ustedes, lo claro esta es que moriré intentándolo, son lo más importante que tengo en la vida.

Familia, que manera de quererlos y extrañarlos, este tiempo fuera de casa, me he dado cuenta lo duro que es no tenerlos cerca, siempre con apoyo incondicional, un abrazo y una sonrisa siempre, las personas que viven en el sur hace que sea mágico, ustedes hacen que la Patagonia sea maravillosa y que sienta que Mañihuales junto con ser majestuoso sea mi lugar en el mundo. Para los que están cerca han hecho posible sobrellevar esos momentos de angustia junto a un buen mate y una grata conversación.

Daniel y Marta, hermanos míos, no hay día que no los convoque en mis pensamientos, a pesar de la distancia me contagian a diario su alegría, su cariño, espíritu de lucha y rebeldía, créanme que me falta tiempo cuando estamos juntos, me llena de felicidad de alguna manera ver crecer a sus hijos y sentirme parte de sus familias que han formado.

Ernestinos que sería de mi sin ustedes por mi paso en Valparaíso, forme un hogar exclusivamente gracias a todos, no saben cuánto los aprecio son lo que más atesoro en esta parte del viaje, somos tan diferentes y dispersos, pero a su vez únicos y extraordinarios, compartimos lo más importante que tenemos el tiempo y amistad, gracias por abrirme las puertas de sus hogares y sus familias, además de la especial mención a quienes han decidido compartir conmigo un tiempo en la Patagonia, créanme que me encargare que la distancia y los nuevos desafíos que se nos presenten no logran disolver este vínculo que hemos formado.

Universidad y profesores, gracias por entregarme el apoyo y conocimientos que ahora poseo, las herramientas que he adquirido lo debo gracias a su calidad de formación, y apoyarme hacia donde quiero llevar la ingeniería.

Para todas esas personas que fueron estrellas fugaces, es mi egoísmo el que se revela a perdernos sin saber cuál será su suerte, y espero que en su estrella observen que aún sigo de pie es mi esperanza, solo resta decirles que jamás los olvidare ténganlo presente.

Valparaíso, 10 de julio de 2017

I.V.S

Resumen

En el desarrollo del presente proyecto, se realizó un estudio de los entornos involucrados sobre la implementación de tecnologías de calefacción eléctrica. En una primera etapa se analizó las causas y condiciones que determinan el estado de zona saturada a la ciudad de Coyhaique, junto con las medidas de mitigación propuestas por el ministerio del medio ambiente, es decir se investigó sobre los distintos tipos de sistemas de calefacción predominantes en la región, características climáticas y geográficas que favorecen a los altos niveles de concentración de MP_{10} en la ciudad.

Una vez determinada las causas, se especificó las características de las viviendas, considerando sus aspectos constructivos, los cuales son la base del comportamiento térmico de las mismas, reuniendo estos datos se estimó hogares modelo que alcancen un nivel adecuado de representatividad para las edificaciones presentes en la ciudad de Coyhaique.

Luego en la etapa de diseño y modelado, se realizaron estudios comparativos de tecnologías, con fines de calefacción basados en el uso de energía eléctrica, sus principios de funcionamiento, prestaciones de cada una de ellas, tiempo de utilización, potencia instalada, con lo anterior se obtuvo una estimación de la demanda, en el sistema eléctrico de potencia de la región de Aysén con estas nuevas cargas asociadas.

La evaluación económica se centró en inversión inicial y el costo operacional, en función del tiempo de utilización del nuevo sistema, realizando un ajuste de tarifas vigentes en la zona junto, con los periodos de utilización de la misma, dicha evaluación se realizará en base a bloques de viviendas más representativos, además de una breve comparación del sistema de calefacción eléctrico con los basados en leña. Si bien esta evaluación fue a nivel domiciliario, no cuantifico los beneficios alcanzados a nivel de salud e impacto ambiental, los cuales presentan un grado complejo de cuantificación.

Posteriormente se calculó la evolución de la demanda de energía eléctrica, para el funcionamiento de los sistemas de calefacción propuestos, lo anterior contó con diferentes escenarios los cuales definen diferentes niveles de penetración en la ciudad. Junto con todo lo analizado se determinó que el uso de calefacción eléctrica es una alternativa competitiva al uso de la leña en la actualidad, por otra parte, y así aportar a la disminución de la polución en el aire presente en la ciudad de Coyhaique en el período otoño invierno.

Abstract

In the development of this project, a study of the environments involved in the implementation of electric heating technologies was carried out. In a first stage the causes and conditions that determine the state of saturated zone to the city of Coyhaique were analyzed, along with the mitigation measures proposed by the ministry of the environment, that is to say, the different types of predominant heating systems in the region, climatic and geographical characteristics that favor the high levels of concentration of MP_{110} in the city.

Once the causes were determined, the characteristics of the dwellings were specified, considering their constructive aspects, which are the basis of the thermal behavior of the dwellings, gathering these data were estimated model households that reach an adequate level of representativeness for the buildings present in Coyhaique city.

Then, in the design and modeling stage, comparative studies of technologies were carried out, with heating purposes based on the use of electric energy, its operating principles, performance of each one, time of use, installed power, with the above an estimate of the demand was obtained in the electric power system of the Aysén region with these new associated loads.

The economic evaluation focused on initial investment and operational cost, depending on the time of use of the new system, making an adjustment of rates in force in the area together with the periods of use of the same, such evaluation will be made based on blocks of houses more representative, as well as a brief comparison of the electric heating system with those based on firewood. Although this evaluation was at the household level, it did not quantify the health and environmental impact benefits, which present a complex degree of quantification.

Later on, the evolution of the demand for electric power was calculated for the proposed heating systems. The previous scenario had different scenarios which defined different levels of penetration in the city. Together with everything analyzed, it was determined that the use of electric heating is a competitive alternative to the use of firewood today, on the other hand, and thus contribute to the reduction of air pollution present in the city of Coyhaique in the period autumn winter.

Índice general

Introducción.....	1
Objetivos generales.....	4
Objetivos específicos	4
1 Coyhaique ciudad declarada zona saturada por MP ₁₀	5
1.1 Antecedentes y descripción que dan origen a Coyhaique como zona saturada por MP ₁₀	5
1.1.1 Descripción geográfica.	5
1.1.2 Proyección de la Población de Coyhaique.	6
1.1.3 Proyección de las viviendas de Coyhaique.	7
1.1.4 Características climáticas y meteorológicas de la zona.	9
1.1.5 Condiciones meteorológicas que dan origen a episodios de contaminación.	10
1.2 Descripción de la calidad del aire.....	11
1.2.1 Evolución de los promedios mensuales de MP ₁₀	11
1.2.2 Evolución del ciclo horario promedio de MP ₁₀	12
1.3 Incidencia de la leña en la contaminación del aire de Coyhaique.	12
1.4 Medidas del PDA para el control de emisiones.	13
1.4.1 Sobre el uso y mejoramiento de la calidad de la leña.	13
1.4.2 Sobre el uso y mejoramiento de la calidad de los artefactos.	14
1.4.3 Regulación referida al mejoramiento de la eficiencia térmica de la vivienda.	14
1.4.4 Medidas asociadas al Plan Especial Desarrollo Zonas Extremas (PEDZE).	15
1.5 Calefacción eléctrica, calefacción libre de emisiones de MP ₁₀	15
2 Caracterización del parque de viviendas.	16
2.1 Las viviendas y el balance energético.....	16
2.1.1 Conceptos básicos.....	17
2.1.2 Reglamentación térmica Chilena.....	21
2.1.3 Zonificación climático – habitacional de Chile.	22
2.1.4 Zonificación térmica de Chile.	25
2.2 Caracterización del parque de viviendas.	25
2.2.1 Geometría del hogar.....	26
2.2.2 Fecha de construcción.	27
2.2.3 Características constructivas.....	28

2.2.3.1	Metros cuadrados.	28
2.3	Clasificación del parque de viviendas.	37
2.3.1	Representación del parque de viviendas.	37
2.3.1.1	Viviendas aisladas.	38
2.3.1.2	Viviendas fila.	39
2.3.2	Definición coeficiente global de transferencia de calor por vivienda definida.	41
2.3.3	Proyección del parque de viviendas según la tipología definida.	41
3	Calefacción eléctrica.	44
3.1	Principios de transferencia de calor.	44
3.1.1	Transferencia de calor por conducción.	44
3.1.2	Transferencia de calor por convección.	45
3.1.3	Transferencia de calor por radiación.	45
3.2	Sistemas eléctricos de calefacción por convección.	46
3.2.1	Bomba de calor.	46
3.2.2	Estufas Oleoeléctricas.	49
3.2.3	Termoventiladores.	50
3.3	Sistemas eléctricos de calefacción por radiación.	50
3.3.1	Paneles radiantes infrarrojos de onda larga.	51
3.3.2	Estufa halógena.	54
3.3.3	Piso radiante.	54
3.4	Selección tecnologías de calefacción.	56
3.4.1	Potencia eléctrica instalada por sistema de calefacción.	57
4	Evaluación económica.	60
4.1	Limitaciones técnicas y aspectos de relevancia.	60
4.2	Potencia instalada total.	61
4.2.1	Potencia instalada total piso radiante eléctrico.	61
4.2.2	Potencia instalada total paneles radiantes eléctricos de onda larga.	62
4.2.3	Potencia instalada total bomba de calor.	63
4.2.4	Comparativa potencia instalada total por tipo de vivienda.	64
4.2.4.1	Potencia instalada total casa aislada 1 piso.	64
4.2.4.2	Potencia instalada total casa aislada 2 pisos.	65
4.2.4.3	Potencia instalada total casa fila 1 piso.	66
4.2.4.4	Potencia instalada total casa fila 2 pisos.	66
4.2.4.5	Potencia instalada total casa pareada 1 piso.	67
4.2.4.6	Potencia instalada total casa pareada 2 pisos.	68
4.3	Inversión inicial.	68
4.3.1	Inversión inicial paneles eléctricos infrarrojos de onda larga.	69
4.3.2	Inversión inicial bombas de calor.	70
4.3.3	Resumen inversión inicial por tipo de vivienda.	71
4.3.3.2	Inversión inicial casa aislada 2 pisos.	72
4.3.3.3	Inversión inicial casa fila 1 piso.	73
4.3.3.4	Inversión inicial casa fila 2 pisos.	73

4.3.3.5	Inversión inicial casa pareada 1 piso.	74
4.3.3.6	Inversión inicial casa pareada 2 pisos.	74
4.4	Consumo de energía al día.	75
4.4.1	Consumo de energía al día panel radiante eléctrico infrarrojo.	75
4.4.1.1	Consumo energía día panel radiante Pro Heating PE 700 W.	75
4.4.1.2	Consumo energía día panel radiante glass Heatig GD 500 W.	76
4.4.1.3	Consumo energía día panel TermoIQ THHP 1300 W.	78
4.4.1.4	Consumo energía día Panel BVF 800.	79
4.4.2	Consumo de energía al día bomba de calor.	80
4.4.2.1	Consumo energía día split muro ecológico R-410.	80
4.4.2.2	Consumo de energía día split muro Cool Design.	81
4.4.2.3	Consumo de energía día split muro inverter Ecológico.	82
4.4.2.4	Consumo de energía día split muro HVAC midea CS 24H.	82
4.4.2.5	Consumo de energía día split ecológico ANWO.	83
4.4.3	Resumen energía requerida al día por tipo de vivienda.	84
4.4.3.1	Consumo energía día casa aislada 1 piso.	84
4.4.3.2	Consumo energía día casa aislada 2 pisos.	85
4.4.3.3	Consumo energía día casa fila 1 piso.	85
4.4.3.4	Consumo energía día casa fila 2 pisos.	86
4.4.3.5	Consumo energía día casa pareada 1 piso.	86
4.4.3.6	Consumo energía día casa pareada 2 pisos.	87
4.5	Selección de alternativas.	87
4.5.1	Análisis valor presente.	87
4.5.1.1	Valor presente vivienda aislada 1 piso.	88
4.5.1.2	Valor presente vivienda aislada 2 pisos.	88
4.5.1.3	Valor presente vivienda fila 1 piso.	89
4.5.1.4	Valor presente vivienda fila 2 pisos.	89
4.5.1.5	Valor presente vivienda pareada 1 piso.	90
4.5.1.6	Valor presente vivienda pareada 2 pisos.	90
4.6	Consumo de leña en calefactores.	91
4.6.1	Potencia instalada en calefactores basados en leña.	91
4.6.2	Consumo de leña de los calefactores.	93
4.6.3	Costo diario calefacción a leña.	94
4.7	Comparación costos por tipo de tecnología.	95
5	Proyección energética.	96
5.1	Caracterización escenario pesimista.	97
5.2	Caracterización escenario base.	98
5.3	Caracterización escenario optimista.	98
5.4	Estimación demanda de energía.	99
5.5	Costo kWh competitivo por tipo de vivienda.	101
5.5.1	Determinación costo óptimo y ajustado.	101
5.5.2	Estimación diferencia de ingresos por etapas.	104

Discusión y conclusiones.....	107
Bibliografía	111

Índice de figuras

Figura 1-1: Límites geográficos que comprende la zona saturada	6
Figura 1-2: Proyección de la Población en Coyhaique	7
Figura 1-3: Temperaturas medias mensuales 2014.....	9
Figura 1-4: Cuenca de la ciudad de Coyhaique	10
Figura 1-5: Registro promedios mensuales MP10 estación Coyhaique 1	11
Figura 1-6: Registro promedios mensuales MP10 estación Coyhaique 2	11
Figura 1-7: Registro Horario Promedio	12
Figura 2-1: Mecanismos de transmisión de calor en una vivienda	17
Figura 2-2: Zonificación climática de Chile	23
Figura 2-3: Tipologías de viviendas en Coyhaique.....	26
Figura 2-4: Tipología de viviendas según año de construcción	27
Figura 2-5: Materialidad de las viviendas antes de 2007	29
Figura 2-6: Materialidad según tipo de vivienda antes de 2007	30
Figura 2-7: Aislamiento térmico de los muros antes de 2007.....	30
Figura 2-8: Aislantes según tipo de viviendas antes de 2007.....	31
Figura 2-9: Materialidad de los muros después de 2007	31
Figura 2-10: Aislante de los muros después de 2007.....	32
Figura 2-11:Tipología de los techos en las viviendas en Coyhaique.....	32
Figura 2-12: Materialidad de los cielos en las viviendas de Coyhaique	33
Figura 2-13: Aislante de los cielos antes de 2000 en la ciudad de Coyhaique.....	33
Figura 2-14: Aislamiento cielo por tipo de vivienda antes de 2000 en ciudad de Coyhaique	34
Figura 2-15: Aislante los cielos entre 2000-2007 en la ciudad de Coyhaique.....	34
Figura 2-16: Aislamiento cielo por tipo de vivienda entre 2000-2007 en ciudad de Coyhaique	35
Figura 2-17: Material aislante de los cielos después de 2007 en la ciudad de Coyhaique	35
Figura 2-18: Marcos de ventanas antes de 2007 en la ciudad de Coyhaique	36
Figura 2-19: Marcos de ventanas después de 2007 en la ciudad de Coyhaique	37
Figura 3-1: Sistemas de calefacción por convección	46
Figura 3-2: Bomba de calor en modo refrigeración	47
Figura 3-3: Bomba de calor en modo calefacción	47
Figura 3-4: Diagrama de funcionamiento bomba de calor aire-aire.....	48
Figura 3-5: Diagrama de funcionamiento bomba de calor aire-agua	48
Figura 3-6: Diagrama de funcionamiento bomba de calor agua-agua	49
Figura 3-7: estufas oleoeléctricas.....	49
Figura 3-8: Termoventiladores.....	50
Figura 3-9: Distribución de la temperatura por convección y radiación	51
Figura 3-10: Distribución de la temperatura eje vertical por convección y radiación	51
Figura 3-11: Paneles radiantes de onda larga	52
Figura 3-12: Azimuth de cuerpo humano	53
Figura 3-13: Grado de insatisfacción según ubicación del panel radiante	53
Figura 3-14: Estufas radiantes de onda corta	54

Figura 3-15: comportamiento térmico suelo radiante.....	55
Figura 3-16: Cable calefactor.....	55
Figura 3-17: Termostato	56
Figura 3-18: Cubierta aislante	56
Figura 5-1: Demanda energía eléctrica por tipo de vivienda escenario base	99
Figura 5-2: Demanda energía eléctrica por tipo de vivienda escenario pesimista	100
Figura 5-3: Demanda energía eléctrica por tipo de vivienda escenario optimista	100
Figura 5-4: Demanda de energía total, distintos escenarios	101

Índice de tablas

Tabla 1-1: Evaluación y proyección de la población de Coyhaique	7
Tabla 1-2: Proyección de las viviendas en Coyhaique	8
Tabla 2-1: transmitancia térmica lineal	19
Tabla 2-2: Renovaciones de aire	21
Tabla 2-3: Exigencias mínimas de RT y U	22
Tabla 2-4: Zonas climático-habitacional de ciudades declaradas saturadas por MP _n	24
Tabla 2-5: Grados - día anuales por zona térmica.....	25
Tabla 2-6: Número de pisos según tipología de la vivienda en Coyhaique	26
Tabla 2-7: Año de construcción de viviendas en Coyhaique.....	27
Tabla 2-8: Metros cuadrados en función del número de pisos y tipo de viviendas Coyhaique...	28
Tabla 2-9: Ventilación inferior en función de la tipología de vivienda en Coyhaique	28
Tabla 2-10: Valores de GV1 para cada tipología de vivienda	41
Tabla 2-11: Proyecciones por tipo de vivienda en ciudad de Coyhaique, escenario base.....	42
Tabla 2-12: Proyecciones por tipo de vivienda en ciudad de Coyhaique, escenario optimista ...	42
Tabla 2-13: Proyecciones por tipo de vivienda en l ciudad de Coyhaique, escenario pesimista..	43
Tabla 3-1: Potencia eléctrica instalada pisos radiantes	57
Tabla 3-2: Potencia eléctrica instalada paneles radiantes.....	58
Tabla 3-3: Potencia eléctrica instalada bombas de calor	59
Tabla 4-1: Capacidad nominal del empalme.....	60
Tabla 4-2: Potencia instalada total piso radiante eléctrico	61
Tabla 4-3: Potencia instalada total paneles radiantes eléctricos de onda larga	62
Tabla 4-4: Potencia instalada bomba de calor	63
Tabla 4-5: Potencia instalada total casa aislada 1 piso	64
Tabla 4-6: Potencia instalada total casa aislada 2 pisos.....	65
Tabla 4-7: Potencia instalada total casa fila 1 piso	66
Tabla 4-8: Potencia instalada total casa fila 2 pisos	66
Tabla 4-9: Potencia instalada total casa pareada 1 piso	67
Tabla 4-10: Potencia instalada total casa pareada 2 pisos.....	68
Tabla 4-11: Inversión inicial paneles eléctricos infrarrojos de onda larga	69
Tabla 4-12: Inversión inicial bombas de calor.....	70
Tabla 4-13: Inversión casa aislada 1 piso	72
Tabla 4-14: Inversión inicial casa aislada 2 pisos	72
Tabla 4-15: Inversión inicial casa fila 1 piso	73
Tabla 4-16: Inversión inicial casa fila 2 pisos.....	73
Tabla 4-17: Inversión inicial casa pareada 1 piso.....	74
Tabla 4-18: Inversión inicial casa pareada 2 pisos	74
Tabla 4-19: Consumo energía día Panel Pro Heating PE.....	75
Tabla 4-20: Consumo energía día panel radiante Glass Heating GD	76
Tabla 4-21: Consumo energía día panel TermoIQ	78
Tabla 4-22: Consumo energía día panel BVF 800.....	79

Tabla 4-23: Consumo energía día split muro ecológico R-410	80
Tabla 4-24: Consumo energía día Split muro Cool Design	81
Tabla 4-25: Consumo energía día Split muro inverter ecológico	82
Tabla 4-26: Consumo energía día Split muro HVAC midea CS 24H.....	82
Tabla 4-27: Consumo energía día Split ecológico ANWO	83
Tabla 4-28: Consumo energía día casa aislada 1 piso	84
Tabla 4-29: Consumo energía día casa aislada 2 pisos	85
Tabla 4-30: Consumo energía día casa fila 1 piso	85
Tabla 4-31: Consumo de energía día casa fila de 2 pisos.....	86
Tabla 4-32: Consumo energía día casa pareada 1 piso	86
Tabla 4-33: Consumo energía día casa pareada 2 pisos	87
Tabla 4-34: Valor presente sistemas destacados, casa aislada 1 piso	88
Tabla 4-35: Valor presente sistemas destacados, casa aislada 2 pisos	88
Tabla 4-36: Valor presente sistemas destacados, casa fila 1 piso.....	89
Tabla 4-37: Valor presente sistemas destacados, casa fila 2 pisos.....	89
Tabla 4-38: Valor presente sistemas destacados, casa pareada 1 piso	90
Tabla 4-39: Valor presente sistemas destacados, vivienda pareada 2 pisos	90
Tabla 4-40: Sistemas a implementar en las diferentes topologías de viviendas.....	91
Tabla 4-41: Temperaturas periodo Abril-Septiembre.....	92
Tabla 4-42: Valores de K según tipo aislación.....	92
Tabla 4-43: Potencia instalada artefactos a leña	93
Tabla 4-44: Consumo de leña en astillas diarias	93
Tabla 4-45: Costo diario calefacción en base a leña.....	94
Tabla 4-46: Comparación costo leña v/s electricidad.....	95
Tabla 5-1: Cantidad de calefactores a implementar según escenario y por etapa.....	96
Tabla 5-2: Proyección porcentual de viviendas según topología	97
Tabla 5-3: Proyección sistemas de calefacción de viviendas presentes, escenario pesimista	97
Tabla 5-4: Proyección sistemas de calefacción de viviendas presentes, escenario base	98
Tabla 5-5: Proyección sistemas de calefacción de viviendas presentes, escenario optimista	99
Tabla 5-6: Costo óptimo kWh por tipo de vivienda	102
Tabla 5-7: Costo calefacción eléctrica utilizando precio optimo kWh de invierno	102
Tabla 5-8: Diferencia ingresos entre los precios de energía.....	103
Tabla 5-9: Costo calefacción verano diferentes viviendas, tarifa única óptima	103
Tabla 5-10: Costo calefacción invierno diferentes viviendas, tarifa única óptima	104
Tabla 5-11: Costo calefacción anual distintos precios de la energía	104
Tabla 5-12: Estimación diferencia ingresos utilizando tarifa establecida, escenario pesimista	105
Tabla 5-13: Estimación diferencia ingresos utilizando tarifa establecida, escenario base	105
Tabla 5-14: Estimación diferencia ingresos utilizando tarifa establecida, escenario optimista	106

Glosario de términos.

OMS	Organización Mundial de la Salud.
MP₁₀	Material Particulado respirable menor a 10 micrones de diámetro.
MMA	Ministerio del Medio Ambiente.
PDA	Plan de Descontaminación Atmosférico.
INE	Instituto Nacional de Estadísticas.
CEPAL	Comisión económica para América Latina y el Caribe.
EMRP	Estación de Monitoreo con Representación poblacional.
SINCA	Sistema de Información Nacional sobre la Calidad del Aire.
PEDZE	Plan Especial de Desarrollo Zonas Extremas.
SEREMI	Secretaría Regional Ministerial.
NCh	Norma Chilena.
CONAF	Corporación Nacional Forestal.
CORFO	Corporación del Fomento de La Producción.
SERCOTEC	Servicio de Cooperación Técnica.
INNOVA	Innovación Tecnológica, división de CORFO.
MINVU	Ministerio de Vivienda y Urbanismo.
FNDR	Fondo Nacional de Desarrollo Regional.
OGUC	Ordenanza General de Urbanismo y Construcción.
RT	Reglamentación Térmica.
SEC	Superintendencia de Electricidad y Combustibles.
BTU	Unidad Térmica Británica.

Introducción

La contaminación del aire es un problema grave que afecta la calidad de vida, la salud de las personas e inclusive el equilibrio climático de la Tierra. Cuando la causa de la contaminación del aire es natural, usualmente se trata de un proceso puntual que afecta solo un área del planeta. Las causas que están relacionadas con la actividad humana tienen una capacidad mayor de causar daños al ecosistema terrestre de manera permanente. La contaminación del aire presenta un importante riesgo medioambiental para la salud. Mediante la disminución de los niveles de contaminación del aire los países pueden reducir la carga de morbilidad derivada de accidentes cerebrovasculares, cánceres de pulmón y neuropatías crónicas y agudas, entre ellas destaca el asma. Cuanto más bajos sean estos niveles de contaminación del aire mejor será la salud cardiovascular y respiratoria de la población, tanto a largo como corto plazo.

Según las últimas estimaciones de la OMS sobre la carga mundial de morbilidad, la contaminación del aire exterior e interior provoca unos siete millones de defunciones prematuras. Esto representa actualmente uno de los mayores riesgos sanitarios a nivel mundial, comparables a los riesgos relacionados con el tabaco, y superado únicamente por los riesgos sanitarios relacionados con la hipertensión y la nutrición. La OMS estima que un 80% de las defunciones prematuras relacionadas con la contaminación del aire exterior se deben a cardiopatía isquémica y accidente cerebrovascular, mientras que un 14% se deben a neumopatía obstructiva crónica o infección aguda de las vías respiratorias inferiores, y un 6% a cáncer de pulmón.

Una evaluación de 2013 realizada por el Centro Internacional de Investigaciones sobre el cáncer de la OMS determinó que la contaminación del aire exterior es cancerígena para el ser humano, y que las partículas del aire contaminado están estrechamente ligadas con la creciente incidencia de cáncer, en especial con el cáncer de pulmón. Además, se ha observado una relación entre la contaminación del aire exterior y el aumento de cáncer de vías urinarias y vejiga. Según estimaciones de 2012, la contaminación atmosférica en las ciudades y zonas rurales de todo el mundo provoca cada año 3,7 millones de defunciones prematuras: esto se debe principalmente a la exposición de MP_{10} o menos, que pueden causar cardiopatías, neumopatías y cáncer.

Además de la contaminación del aire exterior, el humo en interiores representa un grave riesgo para la salud de unos 3.000 millones de personas que cocinan y calientan sus hogares con combustibles de biomasa y carbón. Cerca de 4,3 millones de defunciones prematuras ocurridas en 2012 son atribuibles a la contaminación del aire en los hogares.

Las directrices de la OMS sobre la Calidad del aire publicadas en 2005 ofrecen orientación general relativa a umbrales y límites para contaminantes atmosféricos clave que entrañan riesgos sanitarios. Las directrices señalan que mediante la reducción de los niveles de contaminación

MP₁₀ de 70 a 20 microgramos por metro cúbico es posible reducir en un 15% el número de defunciones relacionadas con la contaminación del aire.

Las partículas más perjudiciales para la salud son las de 10 micrones de diámetro o menor, que pueden penetrar y alojarse en el interior profundo de los pulmones. La exposición crónica a las partículas agrava el riesgo de desarrollar cardiopatías y neumopatías, así como el cáncer de pulmón. Generalmente, las mediciones de la calidad del aire se notifican como concentraciones medias diarias o anuales de partículas PM₁₀ por metro cúbico [m³] de aire. Las mediciones sistemáticas de la calidad del aire describen esas concentraciones de PM₁₀ expresadas en microgramos [µg/m³]. Los valores fijados en las directrices de la OMS son los siguientes:

MP₁₀ 50 [µg/m³] de media anual y 150 [µg/m³] de media en 24h.

Además de los valores, las directrices sobre la calidad del aire establecen metas intermedias para las concentraciones de PM₁₀ destinadas a promover la reducción gradual, de concentraciones altas a otras más bajas. Si se alcanzan estas metas importantes se podrían esperar importantes reducciones de los riesgos de enfermedades agudas y crónicas derivadas de la contaminación del aire. No obstante, los valores establecidos en las directrices deben ser el objetivo final [1].

En los países en desarrollo como Chile, la exposición a contaminantes en el interior de las viviendas como consecuencia de del uso de combustibles sólidos en estufas abiertas o cocinas tradicionales incrementa el riesgo de infecciones agudas en la vías respiratorias inferiores, así como las tasas de mortalidad conexas entre niños pequeños, la contaminación interior derivada del uso de combustibles sólidos es también un importante factor de riesgo de cardiopatías, neumopatías obstructiva crónica y cáncer de pulmón en adultos. La principal medida de mitigación de la contaminación ambiental adoptada por nuestro país, es la creación del ministerio del medio ambiente en enero de 2010, desde ahora MMA, el cual reemplaza a la Comisión Nacional del Medio Ambiente (CONAMA). Este organismo es el encargado de diseñar y aplicar políticas, planes y programas en materia ambiental, además de la conservación de la diversidad biológica y de recursos naturales renovables e hídricos, promoviendo el desarrollo sustentable, la integridad de la política ambiental y su regulación normativa.

Dentro del ministerio del medio ambiente destaca la división de calidad del aire y cambio climático, el cual tiene por objetivo desarrollar políticas públicas que reduzcan las emisiones de agentes contaminantes del aire manteniendo los niveles de exposición de la población en niveles que salvaguarden la salud de la misma. Estas políticas deben promover el desarrollo sustentable reduciendo los contaminantes que provocan el cambio climático y generar propuestas de adaptación. Dentro de sus principales funciones destacan, operar redes de monitoreo que el ministerio tenga a su cargo y administrar la información de los programas de monitoreo de calidad del aire, proporcionada por los organismos competentes, cuando corresponda. Colaborar en la generación y recopilación de la información técnica y científica precisa respecto a la prevención de la contaminación y la recuperación, mejora o mantención de la calidad ambiental, en particular, lo referente a las tecnologías, la producción, gestión y transferencias de emisiones, la contaminación atmosférica y su impacto ambiental [2].

El MMA establece la existencia de dos tipos de normas de calidad ambiental, las normas primarias, las cuales establecen los valores de las concentraciones y periodos, máximos o mínimos permisibles de elementos, compuestos, sustancias, derivados químicos, o biológicos, energías, vibraciones, ruidos o combinación de ellos, cuya presencia o carencia en el ambiente pueda constituir un riesgo para la vida o salud de la población. Por otro lado, las normas secundarias las cuales establecen los valores o concentraciones y periodos, máximos y mínimos permisibles de sustancias, elementos, energía o combinación de ellas, cuya presencia o carencia en el ambiente pueda constituir un riesgo para la protección o la conservación del medio

ambiente o la preservación de la naturaleza. Con respecto a la calidad del aire una de las medidas a corto plazo fue la declaración de algunas de las principales ciudades del sur como zona saturada por MP_{10} , entre estas ciudades destacan Osorno, Chillan, Valdivia, Rancagua, Concepción y Coyhaique entre otras, siendo estas las ciudades que presentan mayor prioridad para el ministerio de medio ambiente, debido a sus altos niveles de concentración de material particulado MP_{10} .

Las ciudades de sur de Chile se caracterizan por utilizar la leña como combustible primario con fines de calefacción, siendo este fenómeno el que provoca los altos niveles de contaminación en el aire por MP_{10} , una vez declarada una ciudad como zona saturada se establece un plan a nivel regional con el fin de disminuir los altos índices de contaminación que se presentan en los meses de invierno, es así como se presentan los Planes de Descontaminación Atmosférica desde ahora PDA. La comuna de Coyhaique y su zona circundante es declarada como zona saturada por MP_{10} el día 30 de noviembre de 2012, de acuerdo a la legislación ambiental. Una zona se declara saturada por un contaminante cuando los datos entregados por la estación de monitoreo establece que se ha superado la norma de calidad correspondiente, en la ciudad de Coyhaique, el monitoreo realizado desde el año 2007 a 2011, permitió concluir que tanto la norma primaria de 24 hrs. para MP_{10} como la anual de MP_{10} se encuentran excedidas, con lo cual se cumple con los requisitos para declarar a la comuna de Coyhaique y su área circundante como zona saturada por este contaminante.

Para la ciudad de Coyhaique el día 12 de febrero de 2015 se aprueba el anteproyecto del PDA, este plan tiene como objetivo recuperar los niveles normales de acuerdo a la norma primaria de calidad ambiental para MP_{10} en un plazo de 10 años. Dado que la principal fuente emisora de contaminación es el uso de la leña para calefacción, la estrategia está enfocada en promover una calefacción sustentable, entre las medidas presentes en el PDA, se pretende diversificar la matriz energética de la calefacción domiciliaria, comercial y pública [8].

La diversificación de dicha matriz pretende instaurar sistemas de calefacción eficientes y con menos emisiones, las cuales reducen las emisiones a la atmósfera, pero además las emisiones de tipo intradomiciliarias, es aquí donde destacan las tecnologías de calefacción eléctricas debido a su carácter libre de emisiones contaminantes. La implementación de tecnología eléctrica para la calefacción surge como una alternativa dentro del PDA, siendo una arista poco explorada debido principalmente al arraigo del uso de la leña en la zona, junto con los costos asociados a la implementación de la misma.

En este trabajo en particular se genera una alternativa al PDA, destacando por un lado la arista técnica la cual define la demanda de energía requerida para cubrir las necesidades energéticas con fines de calefacción, incorporando proyecciones de población y características de la misma, generando diversos escenarios debido a la variación de temperaturas y niveles de aceptación de las nuevas tecnologías de calefacción, y por otra parte una evaluación económica considerando costos y beneficios a nivel micro y macro al momento de implantación de este sistema de calefacción. Finalmente, la respuesta del sistema eléctrico de potencia de la región de Aysén debido a la asociación de estas nuevas cargas, centrándose principalmente en la capacidad de solventar la nueva de demanda en los diversos escenarios.

Objetivos generales

- Estudiar el impacto económico y técnico de energía eléctrica como fuente primaria de alimentación para sistemas de calefacción domiciliaria en la ciudad de Coyhaique.

Objetivos específicos

- Descripción de las causas y condiciones que en definitiva constituyen que la ciudad de Coyhaique sea zona saturada por MP_{10} .
- Medidas de mitigación tomadas por el ministerio del medio ambiente.
- Determinación de la demanda de energía térmica anual para calefacción en condiciones actuales
- Estudio comparativo de las tecnologías de calefacción con uso de energía eléctrica.
- Determinación de la demanda de energía eléctrica bajo el uso de las nuevas tecnologías.
- Análisis económico de la implantación del nuevo sistema de calefacción.
- Determinar la demanda de energía eléctrica total requerida por la ciudad, dada la proyección del Plan de Descontaminación Atmosférica.

1 Coyhaique ciudad declarada zona saturada por MP₁₀.

La ciudad de Coyhaique figura entre las urbes con mayores índices de polución del aire, llegando a liderar el ranking latinoamericano, si bien estos eventos se presentan entre los meses de abril a septiembre, el impacto sobre la salud de los habitantes es considerable debido a la intensa exposición durante este periodo de 6 meses. La ciudad de Coyhaique marca cerca de 64 microgramos por metro cubico como media anual, en pocas palabras 3 veces más que lo indicado por la normativa internacional. Estos episodios se deben a la quema de leña húmeda con fines de calefacción, siendo este no solo un problema para esta ciudad, sino que es un problema que aqueja a la mayoría de las ciudades del sur de Chile. En Coyhaique se alcanza un índice de 170 microgramos por metro cubico como media en 24 horas, lo que equivale a un episodio de emergencia, esto es considerado grave para la salud de las personas, lo anterior debido a las malas condiciones de ventilación que posee la ciudad y el mal acondicionamiento térmico que poseen los hogares de la ciudad.

1.1 Antecedentes y descripción que dan origen a Coyhaique como zona saturada por MP₁₀.

1.1.1 Descripción geográfica.

El Decreto Supremo N°33, de 2012, del ministerio del MMA declara como zona saturada por material particulado respirable MP₁₀ por concentración anual y diaria, a la zona geográfica que comprende a la ciudad de Coyhaique y su zona circundante. La zona saturada forma parte de la comuna de Coyhaique y contiene una superficie de 111,57 km², la comuna de Coyhaique, capital provincial y regional está ubicada a 45° 34' de latitud sur y 72° 04' de longitud oeste, a una distancia de 1.360 Km al sur de la ciudad de Santiago. La figura 1-1, grafica los límites de la ciudad los cuales son al norte con la comuna de lago verde, al sur con la comuna de rio Ibáñez, al oeste con la comuna de puerto Aysén, y al oeste de con la republica de argentina y está emplazada en la parte oriental de la cordillera de los Andes.

Los límites geográficos de la zona saturada son los siguientes: la delimitación inicia en el Río Simpson, luego se extiende hasta el Este hasta el cerro castillo, luego sigue la dirección Noroeste llegando a la intersección con el cruce R240/x-589, sigue hacia el Noroeste hasta llegar a la Laguna Verde, continua hacia el Noroeste hasta la central eólica Alto Baguales, finalmente se extiende hacia el suroeste alcanzando al Río Simpson [3].



Figura 1-1: Límites geográficos que comprende la zona saturada (fuente: <http://alertas.mma.gob.cl>)

1.1.2 Proyección de la Población de Coyhaique.

La ciudad de Coyhaique, al ser la capital regional y provincial de la región de Aysén del General Carlos Ibáñez del campo, ha manifestado un sostenido crecimiento poblacional y desarrollo económico, entre sus características se destaca por ser el centro más importante de servicios profesionales, administrativos y financieros de la región, siendo el sector comercial el más importante dentro de las ocupaciones de la comuna, seguido de sector administración pública y defensa, luego se ubica el sector de la construcción para finalizar con los sectores de agricultura, ganadería, caza y silvicultura entre otros gremios.

La Tabla 1-1 resume el crecimiento poblacional, la cual se obtiene a partir de los datos del Censo de 2002, el INE ha estimado un crecimiento de la población hasta el 2020, en base a estas proyecciones la consultora de eficiencia energética "Creara" ha obtenido la tasa de variación promedio por grupo de esas en los últimos 5 años para luego ser aplicados en el periodo 2020-2025 con el fin de obtener una estimación aproximada de la población de la ciudad para el año 2025.

Tabla 1-1: Evaluación y proyección de la población de Coyhaique (fuente: INE, Creara)

Año	Población	Tasa crecimiento
1990	42.855	-
1995	47.372	2,02%
2000	51.278	1,60%
2005	54.705	1,30%
2010	58.014	1,18%
2015	61.020	1,01%
2020	63.598	0,83%
2025	67.144	1,09%

La ciudad de Coyhaique mantiene un crecimiento sostenido a lo largo de los años lo cual se puede apreciar en la figura 1-2 , esta variable de crecimiento es importante al momento de obtener el crecimiento de la demanda de vivienda, la cual provoca un impacto directo a su vez sobre la demanda de energía para calefacción, es decir una tendencia de crecimiento sostenida de la población, desencadena un aumento de energía con fines de calefacción y en caso opuesto genera una disminución de la misma.

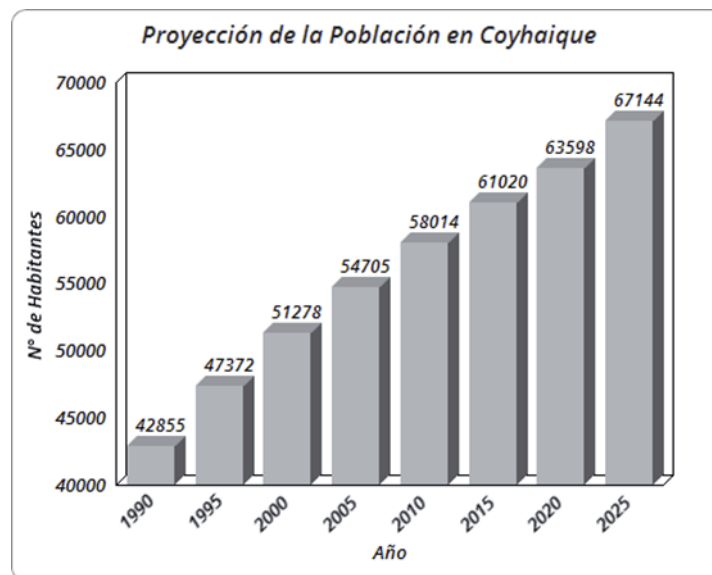


Figura 1-2: Proyección de la Población en Coyhaique (Fuente: Censo 2002 INE y Creara)

1.1.3 Proyección de las viviendas de Coyhaique.

La proyección de las viviendas contiene muchos factores, los cuales fluctúan según sea el escenario que se pueda concretar a lo largo de los años, en base a esto se exponen tres escenarios, estos han sido ajustados aplicando los siguientes factores de corrección.

- **Número de personas que habrá en un hogar chileno en 2025**
- **Cabezas de familia en 2025:** Corresponde a la inversa del número de personas que habrá en un hogar chileno en 2025.
- **Tasa de crecimiento anual compuesto:** Es la estimación del promedio crecimiento porcentual anual de la población durante un periodo de tiempo especificado.

Los resultados proceden del estudio “Alojar para el desarrollo: una tarea para los asentamientos humanos” realizado por la Comisión Económica para América Latina y el Caribe, en donde se estima que en Chile para el año 2025 habrá una media de 3 personas por hogar. Lo anterior se determina a partir de que Chile se encuentra en plena transición demográfica y en una etapa avanzada de transición económica, donde resulta probable una dinámica de nuclearización rápida. En caso de los escenarios base y pesimistas, entendiendo que para el escenario optimista hay menos personas por vivienda que en el caso de los escenarios base y pesimista, el estudio supone que el número de personas por vivienda será 3,05 para el caso base y de 3,10 personas por vivienda para el escenario pesimista.

La tabla 1-2, exhibe la cantidad de viviendas proyectadas, las cuales se obtienen cruzando las estimaciones de la población junto con el número de personas que habrá en un hogar chileno, describiendo los 3 escenarios posibles [4]

Tabla 1-2: Proyección de las viviendas en Coyhaique (fuente: creara)

Año	Escenario		
	Pesimista	Base	Optimista
2013	19.070	19.092	19.114
2014	19.237	19.282	19.327
2015	19.414	19.483	19.551
2016	19.629	19.722	19.814
2017	19.831	19.949	20.065
2018	20.022	20.164	20.305
2019	20.204	20.372	20.538
2020	20.363	20.557	20.749
2021	20.599	20.819	21.038
2022	20.849	21.096	21.343
2023	21.113	21.389	21.665
2024	21.393	21.689	22.003
2025	21.688	22.023	22.359

Es evidente ante la presencia de un escenario positivo, al existir un número mayor de viviendas en la ciudad, la demanda de energía con fines de calefacción aumenta, siendo un factor importante al momento de realizar las proyecciones de energía para los años futuros en la ciudad de Coyhaique.

1.1.4 Características climáticas y meteorológicas de la zona.

La comuna de Coyhaique se caracteriza por un clima templado frío, de bajas temperaturas, alta pluviometría, fuertes vientos y elevada humedad relativa, presentando una temperatura media anual de 9,5 °C y precipitaciones promedio de 1.097 mm al año. Durante un año se presentan marcadas diferencias de temperatura, exhibiendo en verano variaciones de entre 18 y 21 °C, alcanzando valores máximos con extremas absolutas de 32 °C, mientras que en invierno las temperaturas varían entre 8 y 0,7 °C, con mínimas extremas absolutas que alcanzan los -22 °C. son estas temperaturas presentes durante la mayor parte del año. Las que generan el intenso uso de calefacción residencia en la ciudad. La figura 1-3, grafica los promedios mensuales de temperatura para el año 2015, se aprecia una notable disminución de la temperatura en los meses de otoño e invierno en donde la media, no supera los 7 °C.

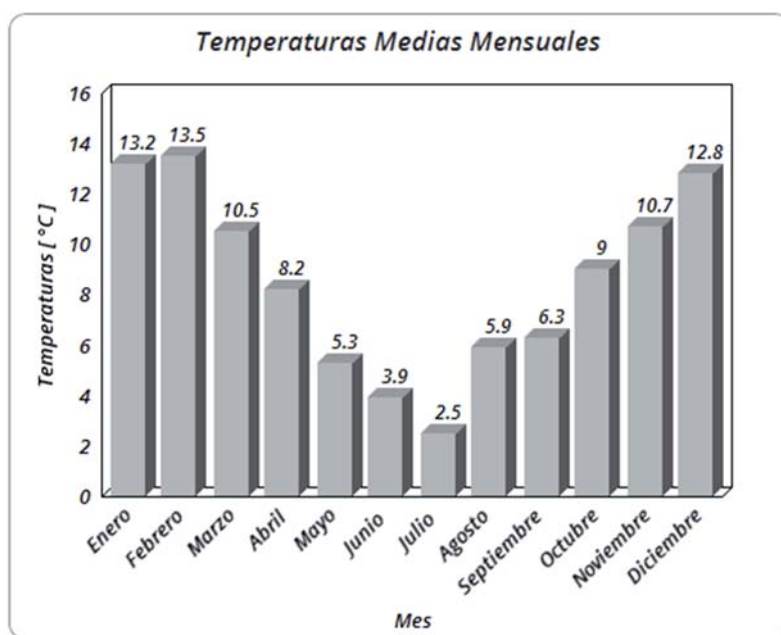


Figura 1-3: Temperaturas medias mensuales 2014 (fuente: INE, informe anual medio ambiente 2015)

El análisis de la rosa de los vientos para la ciudad de Coyhaique determina el dominio del viento en dirección Oeste, Noreste, el cual se manifiesta en los meses de primavera y verano, disminuyendo de manera considerable en los meses de invierno. Esta situación genera durante los meses más fríos del año condiciones desfavorables para la dispersión de los contaminantes, con periodos de ventilación inapropiadas, fenómenos de inversión térmica y ocurrencia de episodios de contaminación [5].

1.1.5 Condiciones meteorológicas que dan origen a episodios de contaminación.

En los meses de otoño e invierno Coyhaique presenta altos niveles de contaminación por MP₁₀, con un ciclo diario característico y estacional, para el ciclo anual las concentraciones promedio diarias se incrementan en el periodo abril – septiembre, en estos meses se registran episodios en donde se supera los valores establecidos por la norma primaria de calidad del aire para MP₁₀. Estos eventos se relacionan estrechamente con las condiciones meteorológicas que determinan la desfavorable dispersión de contaminantes, y a su vez el aumento de las emisiones debido básicamente producto de la calefacción residencial.

Las características topográficas de la ciudad, inserta en un valle protegido por un conjunto montañoso, como se ilustra en la figura 1-4 dan lugar a la alta concentración de material particulado en el sector alto de la ciudad, sumado a la estabilidad atmosférica, la poca frecuencia de vientos y las bajas temperaturas que se presentan en invierno [6].



Figura 1-4: Cuenca de la ciudad de Coyhaique (fuente: <https://www.coyhaique.cl>)

La ocurrencia de episodios de alerta y emergencia por concentraciones de material particulado se deben principalmente a las siguientes características:

- a) Escasa capacidad de dispersión de los contaminantes en la cuenca en los meses de otoño e invierno, con vientos de 2 m/s en promedio.
- b) Temperaturas que van desde -10 y 5 °C en los meses de invierno, siendo estas temperaturas las que obligan a las personas a usar calefacción la mayor parte del año.
- c) Condiciones geográficas y de temperatura que originan situaciones de inversión térmica a baja altura en la cuenca de la ciudad de Coyhaique, disminuyendo considerablemente la capacidad de dispersión de contaminantes.
- d) Alta demanda de energía de las viviendas, lo cual desencadena la quema de leña húmeda en equipos de calefacción ineficientes y de altas emisiones de contaminantes.
- e) Calidad de la leña, el 94% de la población de Coyhaique utiliza este combustible para calefacción y cocción de alimentos, siendo el combustible más barato, de mayor disponibilidad, pero a su vez el menos regulado en cuanto al grado de humedad que contiene.

1.2 Descripción de la calidad del aire.

La declaración de zona saturada por material particulado respirable para la ciudad de Coyhaique y su zona circundante se funda en los datos entregados por una estación de monitoreo continuo Coyhaique I, esta estación además de medir parámetros meteorológicos, fue declarada por la autoridad sanitaria como Estación de Monitoreo con Representatividad Poblacional, EMRP, mediante la resolución N° 507 del 1 de agosto de 2007. Además de la estación de monitoreo Coyhaique II la cual es puesta en marcha el día 19 de febrero de 2013.

1.2.1 Evolución de los promedios mensuales de MP₁₀.

El ciclo anual MP₁₀, presenta una marcada estacionalidad, en donde las máximas concentraciones se manifiestan entre los meses de abril y septiembre, tal como se representa en la figura 1-5 y 1-6 las cuales ilustran los promedios mensuales de MP₁₀ en la estación Coyhaique I y Coyhaique II respectivamente.

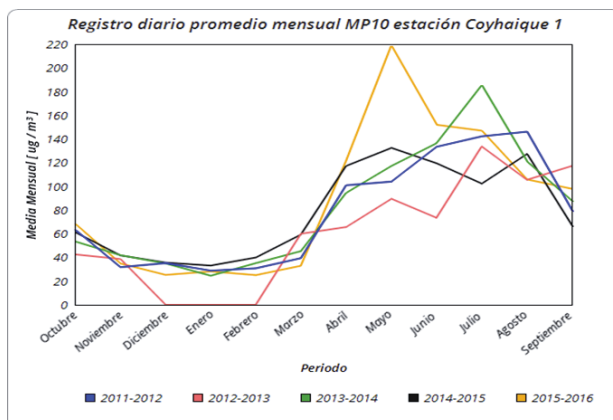


Figura 1-5: Registro promedios mensuales MP₁₀ estación Coyhaique 1(fuente: sinca.mma.gob.cl)

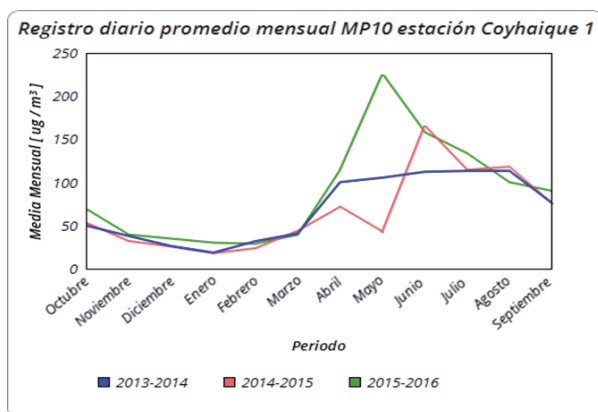


Figura 1-6: Registro promedios mensuales MP₁₀ estación Coyhaique 2(fuente: sinca.mma.gob.cl)

Como se indica en los gráficos anteriores, existe un ciclo de concentración de MP₁₀ importante, los cuales, se deben principalmente a las condiciones meteorológicas que impiden la dispersión

de contaminantes en la cuenca de la ciudad en los meses de otoño e invierno, junto con las bajas temperaturas, las cuales provocan el aumento de las emisiones de material particulado, por el uso de calefacción en base a leña [7].

1.2.2 Evolución del ciclo horario promedio de MP₁₀.

Con respecto al ciclo diario al igual que en el caso del ciclo anual, este manifiesta altas concentraciones de material particulado en las horas de la tarde y noche los cuales se ilustran en la figura 1-7, la cual es obtenida de la estación de monitoreo Coyhaique I.

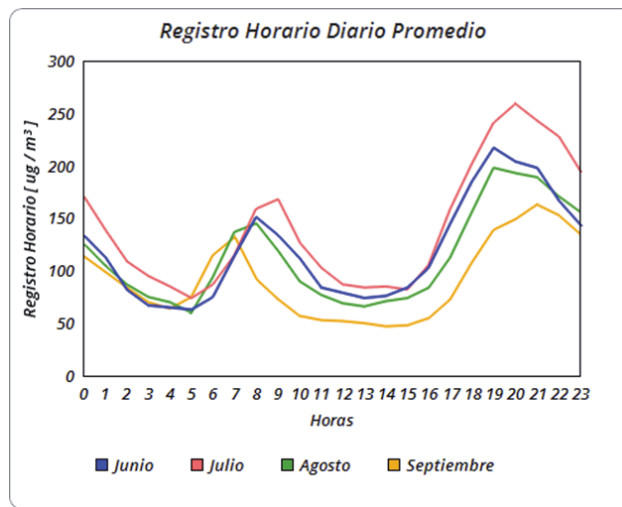


Figura 1-7: Registro Horario Promedio (fuente: elaboración propia)

Los altos niveles de concentración de MP₁₀ se debe, principalmente a las bajas temperaturas las cuales se presentan en horarios puntuales, mañana y tarde, lo cual incide directamente en el uso de calefacción domiciliaria en base a leña, junto con las condiciones desfavorables de ventilación en la zona.

1.3 Incidencia de la leña en la contaminación del aire de Coyhaique.

El problema de contaminación en las ciudades del sur, en especial en la ciudad de Coyhaique se debe al uso de la leña como combustible, algunos de los factores que influyen en el excesivo uso de la leña son los siguientes:

- Alta demanda de leña con el fin de mantener una temperatura de confort, debido a las ineficientes condiciones de aislación térmica de las viviendas existentes, el calor alcanzado por el uso de este combustible, se disipa rápidamente a través de la envolvente térmica.
- Los equipos calefactores en base a leña, carecen de tecnología adecuada para mantener una reacción de combustión con bajas emisiones, junto con niveles de eficiencia muy bajos.

- c) La venta de leña no cuenta con estándares mínimos de calidad, los que aseguren una reacción de combustión óptima, actualmente en la comercialización de la leña existe una gran variedad de formatos para su venta, contenido de humedad, y en definitiva poder calorífico.
- d) Malas prácticas sobre el uso de la leña, donde destacan el uso de la leña húmeda, mala operación de los artefactos, mantener las viviendas con temperaturas superiores a la temperatura de confort, todo lo anterior se traduce en consumo excesivo de leña.

El uso de leña como combustible para calefacción residencial es el principal factor de la contaminación en la ciudad de Coyhaique, el escenario no es positivo debido al crecimiento de la ciudad tanto en población como en el número de viviendas, esto implica una mayor concentración de MP₁₀ en el aire.

1.4 Medidas del PDA para el control de emisiones.

El PDA contiene una serie de medidas de corto, mediano y largo plazo, con la finalidad de revertir los niveles de MP₁₀ en el aire de la ciudad, estas medidas se aplicarán a través de ordenanzas municipales, subsidios, estudios y medidas asociadas al plan de desarrollo zonas extremas, PEDZE, siendo esta última una arista importante para el desarrollo de este proyecto [8].

1.4.1 Sobre el uso y mejoramiento de la calidad de la leña.

La SEREMI de medio ambiente junto con la Municipalidad de Coyhaique, desarrollaran en forma conjunta una serie de ordenanzas municipales las cuales tienen como fin incorporar aspectos relativos a la formalización de la venta de leña, registro de comerciantes de leña, obtención de patentes comerciales, venta de leña ambulante y procesamiento de la leña entre otros.

A partir del 1 ° de enero del año 2019, toda la leña disponible en la zona saturada, debe cumplir con los requerimientos técnicos de la Norma NCh 2907, de acuerdo a la especificación de “leña seca”, los comerciantes de leña deben inscribirse en un registro de carácter obligatorio el cual será administrado por la municipalidad, además de contar con un xilohigrometro que permita verificar la calidad de la leña a comercializar.

El Ministerio de Energía diseñara indicadores respecto de la energía calórica entregada por la leña, utilizando los parámetros de humedad, formato de venta entre otros, esto con la finalidad de la creación de tablas que deberán informar al público la conversión y equivalencia en precio y energía calórica entregada por la leña, por parte de los comerciantes hacia el público. Lo anterior debe realizarse de manera escrita junto con la cantidad de unidades vendidas y contenido de humedad.

CONAF ejecutara el proyecto “Transferencia técnica en manejo de bosque nativo, como eje productivo en la Región de Aysén”, dicho proyecto fomenta la provisión de leña seca en la zona saturada, con un volumen meta de 70.000 metros cúbicos estéreos de leña al año, junto con la entrega de 3.500 metros cúbicos estéreos de leña anual, con un contenido de humedad no superior a 25% a las familias que determine la Gobernación Provincial de Coyhaique además de

diseñar y ejecutar un programa anual de fiscalización dirigido al transporte de leña de bosque nativo.

La SEREMI del Medio Ambiente, junto con CORFO y SERCOTEC diseñarán e implementarán programas de fomento productivo dirigido a comerciantes y productores de leña seca u otros combustibles o energéticos destinados para calefacción residencial que se ubiquen en las comunas de Coyhaique, Aysén y Río Ibáñez.

Finalmente, a partir del 1° de enero de 2019, se prohíbe el uso en la zona saturada, el uso de leña en calefactores, salamandras, calefactor de cámara simple y hechizo, o cocinas que cumplan con los requerimientos técnicos de la Norma NCh 2907, de acuerdo a la especificación “leña seca”, establecido en dicha norma.

1.4.2 Sobre el uso y mejoramiento de la calidad de los artefactos.

A partir de la publicación del PDA, se prohíbe en las viviendas dentro de la zona saturada:

- a) La utilización de chimeneas de hogar abierto.
- b) La quema en los calefactores y cocinas a leña de combustibles como carbón mineral, maderas impregnadas, residuos o cualquier elemento distinto a la leña, briquetas o pellets de madera.
- c) A partir del 1° de enero de 2019, se prohibirá, el uso de calefactores a leña del tipo hechizo, salamandras y calefactor de cámara simple en la zona saturada.
- d) A partir de 1° de enero de 2021 se prohibirá el uso en la zona saturada de todos los calefactores a leña que no cumplan con el D.S. N° 39 de 2011, del ministerio del medio ambiente. A excepción de aquellos artefactos recambiados por el programa de recambio de calefactores del Ministerio del Medio Ambiente.

La SEREMI del medio ambiente, de manera coordinada con CORFO, a través de INNOVA, iniciaran un programa, el cual tiene como objetivo apoyar a los productores regionales de artefactos de leña, además de un programa de garantías para créditos de inversión y escalamiento, el cual apoya a los productores regionales de artefactos de leña, en el cumplimiento de la norma.

1.4.3 Regulación referida al mejoramiento de la eficiencia térmica de la vivienda.

La SEREMI de vivienda, ejecutara el proceso de calificación energética de viviendas nuevas, para un porcentaje mínimo de 30% de viviendas al año de la zona saturada. Además de la entrega de al menos 7.000 subsidios con fines de acondicionamiento térmico de las viviendas existente en la zona saturada, dichas viviendas una vez reacondicionadas deben cumplir requisitos establecidos, sobre transmitancia térmica máxima de la envolvente térmica, riesgo de condensación, infiltraciones de aire y ventilación entre otros requerimientos. Por otra parte, el ministerio de medio ambiente, se encargará de realizar estudios para el diseño de viviendas sociales de baja o nula demanda térmica.

1.4.4 Medidas asociadas al Plan Especial Desarrollo Zonas Extremas (PEDZE).

A través de la SEREMI de energía, se desarrollará una planta de acopio y secado de leña para incrementar la oferta de leña seca, la cual almacenará una capacidad máxima de 100.000 metros cúbicos estéreos de leña al año. A su vez la SEREMI del medio ambiente dispondrá de fondos para la ejecución anual de un programa de recambio voluntario de artefactos a leña existentes, por sistemas de calefacción más limpios y eficientes, este programa contempla el reemplazo de al menos 10.000 calefactores y/o cocinas a leña, en un plazo de 10 años, de estos al menos 5.000 deben ser por sistemas de calefacción que utilicen un combustible distinto a la leña. Finalmente, MINVU dispondrá de fondos a través del PEDZE, del FNDR o fondos sectoriales, para el desarrollo de al menos 2 proyectos de parques verdes dentro de la zona.

1.5 Calefacción eléctrica, calefacción libre de emisiones de MP₁₀.

Dentro del plan especial de desarrollo zonas extremas, se establece la necesidad de diversificar la matriz energética en cuanto a calefacción, siendo esta diversificación una oportunidad para los sistemas de calefacción eléctrica, los cuales aportan con una serie de ventajas sobre los sistemas tradicionales de calefacción, entre los cuales destacan los siguientes aspectos:

- a) Permite elegir la temperatura de cada habitación a gusto de cada usuario, regulación independiente por habitación aprovechando los aportes gratuitos de calefacción, evitando el sobrecalentamiento del ambiente.
- b) Representa un uso eficiente de la energía, además de la disponibilidad, debido a que utiliza energía eléctrica.
- c) La naturaleza de este tipo de calefacción es limpia, no existe combustión, emisiones de contaminantes, no consume oxígeno ni enrarece el ambiente.
- d) Los sistemas eléctricos son seguros, una correcta instalación eléctrica garantiza la seguridad de su uso, no exige instalaciones complicadas ni espacios dedicados a la misma, tales como sala de calderas, depósitos de combustible, etc.
- e) Su rendimiento es muy elevado, por lo que prácticamente se aprovecha la totalidad de la energía eléctrica que se consume, además de un mínimo mantenimiento y la posibilidad de programar y automatizar de manera sencilla.

La gran variedad de tecnologías de calefacción asociadas a energía eléctrica, representan una alternativa viable, contribuyendo a disminuir los niveles de contaminación en el aire de la ciudad, si bien el costo inicial de este tipo de calefacciones es alto, vale la pena analizar las prestaciones que estas ofrecen.

Una adecuada conjunción de las diferentes tecnologías eléctricas de calefacción, logran en el largo plazo una alternativa competitiva con respecto a los calefactores a leña convencionales, debido principalmente a la alta eficiencia que poseen, la fácil instalación junto con la fácil programación, evitando así el desperdicio de energía térmica en momentos innecesarios.

2 Caracterización del parque de viviendas.

La representación adecuada del parque de viviendas de la ciudad es de gran relevancia en el presente estudio, la definición de los hogares que lo conforman, junto con su materialidad, proporcionan una base sólida para la determinación de la demanda energética térmica de la ciudad la cual pretende ser suplida con energía eléctrica con fines de calefacción.

2.1 Las viviendas y el balance energético.

A través de la envolvente térmica de una vivienda se producen los fenómenos de almacenamiento y transferencia de calor, de esto depende la variación de temperatura de un hogar, para mantener una temperatura de confort, las viviendas de la ciudad de Coyhaique cuentan con sistemas de generación de calor. En una vivienda, este calor se transmite de diversas maneras siendo la más importante la producida por el intercambio de aire entre el interior y el exterior de una vivienda. Para el caso particular de la ciudad de Coyhaique, la temperatura exterior es por lo general menor a la temperatura interior, lo cual provoca una pérdida de calor en favor del ambiente más frío, siendo la aislación térmica de una vivienda un factor preponderante al momento de mantener una temperatura de confort en un edificio.

Por otro lado, en una vivienda también se producen ganancias de calor, destacándose principalmente dos tipos, la primera es la incidencia del sol sobre la envolvente térmica de la vivienda y la segunda debido a la incidencia de los usuarios y los equipos que las casas contiene en su interior.

El comportamiento de la temperatura que desarrolla una vivienda, es descrito en la siguiente ecuación la cual representa el balance de energía de una vivienda [9]:

$$Q_i + Q_s \pm Q_v \pm Q_a \pm Q_m = 0 \quad (2-1)$$

Donde:

Q_i = Ganancias internas

Q_s = Ganancias solares

Q_v = Pérdidas o ganancias de calor por intercambio de aire interior y exterior

Q_a = Pérdidas o ganancias debidas a elementos opacos de la vivienda

Q_m = Pérdidas o ganancias por sistemas de climatización

Una ilustración de la dinámica del balance de energético se presenta en la figura 2-1, la cual describe de manera generalizada los mecanismos típicos de transmisión de calor en una vivienda.

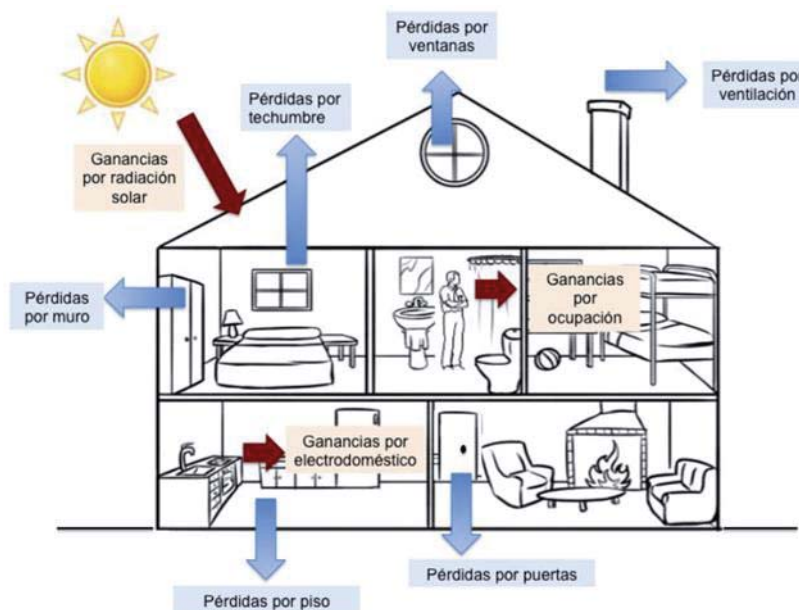


Figura 2-1: Mecanismos de transmisión de calor en una vivienda (fuente: Manual de aplicación de la reglamentación térmica)

La temperatura que conservara una vivienda es producto de los aportes y perdidas de calor, los mecanismos que aportan calor son básicamente tres, radiación solar, uso de electrodomésticos y ocupación de la vivienda, por otro lado, los mecanismos que generan pérdidas de calor son en esencia aspectos constructivos siendo estos puntos lo que determinan la eficiencia térmica de una vivienda.

2.1.1 Conceptos básicos.

Las viviendas deben ser consideradas como un sistema, el cual tiene como principal función desarrollar estrategias que necesiten el menor consumo de energía posible, la comprensión de los conceptos involucrados está definida en las distintas normas chilenas y en el Manual de Aplicación de la Reglamentación Térmica donde se destacan los siguientes aspectos [9]:

Complejo Constructivo: Elementos constructivos que en su conjunto constituyen una parte de la vivienda.

Elemento constructivo: Complejos constructivos dimensionados y colocados correctamente, que en su conjunto permiten que dicho elemento constructivo cumpla una función determinada.

Aislamiento térmico: es la capacidad de un material o un conjunto de los mismos de oponerse al paso del calor.

Conductividad térmica (λ): Se define como la capacidad de una sustancia de transferir la energía cinética de sus moléculas a otras moléculas adyacentes o a sustancias con las que no está en contacto. Es decir, la conductividad térmica es la capacidad para conducir el calor de un determinado material, se mide en [W/mK] y su valor está determinado experimentalmente en las normas chilenas.

Envolvente térmica de un edificio: son todos los cerramientos que limitan espacios habitables con el ambiente exterior, aire o terreno u otro edificio, a través de los cuales se produce un flujo térmico.

Resistencia térmica (R): es la capacidad del material de oponerse al paso del calor, se expresa en [m²K/W] y se distinguen los siguientes casos [10]:

- **Resistencia térmica de una capa material (R):** la resistencia térmica viene dada por la siguiente expresión:

$$R = \frac{e}{\lambda} \quad (2-2)$$

Donde:

e = espesor del material

- **Resistencia térmica de una cámara de aire no ventilada (R_g):** se define como la resistencia térmica que presenta una masa de aire confinada.
- **Resistencia térmica total (R_T):** es la resistencia térmica de un elemento constructivo formado por un conjunto de capas de distintos materiales.

$$R_T = \sum_i R_i = \sum_i \frac{e_i}{\lambda_i} + R_{si} + R_{se} + \sum_i R_{ai} \quad (2-3)$$

Donde:

$\sum_i \frac{e_i}{\lambda_i}$: Sumatoria de las resistencias térmicas de los materiales que forman el elemento constructivo.

R_{se} : Resistencia térmica superficial exterior.

R_{si} : Resistencia térmica superficial interior.

$\sum_i R_{ai}$: Resistencia térmica de las capas de aire que posee el elemento constructivo.

R100: es un término definido en la norma chilena NCh 2251 como la resistencia térmica que presenta un determinado material o elemento de construcción multiplicado por 100, se expresa en m^2K/W [11],[12].

Transmitancia térmica o coeficiente global de transferencia de calor (U): es el flujo de calor que pasa por unidad de superficie de un elemento o material constructivo, por tiempo y por diferencia de temperatura entre 2 ambientes que separa dicho elemento, se expresa en W/m^2K .

$$R_T = \frac{1}{U} \quad (2-4)$$

Cuanto mayor sea el valor de la transmitancia térmica, menor será el traspaso de energía entre ambas caras del material y por lo tanto mejor las capacidades aislantes del elemento constructivo.

Transmitancia térmica lineal (K_L): es el flujo de calor que atraviesa un elemento perimetral por unidad de longitud y por grado de diferencia de temperatura, se expresa en W/mK . La norma chilena NCh 853 asigna K_L en función de la aislación del piso [13].

Tabla 2-1: transmitancia térmica lineal (fuente: Norma NCh 853 Of.2007)

Aislación del piso	K_L [W/mK]
Piso corriente	1,4
Piso medianamente	1,2
Piso aislado	1,0

Coeficiente volumétrico global de pérdidas térmicas (G_{V1}): Es el flujo térmico que se transmite a través de la envolvente del edificio referido a la unidad de volumen, teniendo en cuenta la diferencia de temperatura entre el exterior y el interior de la vivienda, se mide en W/m^3K .

$$G_{V1} = \frac{\sum_i U_i A_i + K_L L}{V} \quad (2-5)$$

Dónde:

U_i : transmitancias térmicas de los complejos constructivos que forman parte de la envolvente térmica [W/m^2K].

A_i : Superficie de todos los complejos constructivos que forman la envolvente térmica [m^2].

K_L : transmitancia térmica lineal [W/mK].

L: Perímetro de la vivienda [m].

V: Volumen que encierra la envolvente de la vivienda [m^3].

Coefficiente volumétrico global de pérdidas térmicas totales (G_{V2}): Es el flujo térmico total de un edificio que se transmite por los intercambios de aire y la envolvente, está referido al volumen y a la diferencia de temperatura entre el exterior y el interior de la vivienda. Se mide en W/m^3K .

$$G_{V2} = G_{V1} + 0.35n \quad (2-6)$$

Dónde: n se define como la pérdida de calor de un recinto por renovación del aire interior.

Demanda de energía en calefacción (Q): Hace referencia al gasto anual de la energía en una vivienda, se expresa en $KWh/año$.

$$Q = \frac{G_{V2} \cdot GD \cdot 24 \cdot V}{1000} \quad (2-7)$$

Donde:

GD: Grados-día al año [K], se define como la diferencia de la temperatura fijada como base ($15^{\circ}C$) y la media horaria de la temperatura del aire exterior.

Consumo energético de calefacción (C): Hace referencia a la demanda energética en calefacción por rendimiento del sistema de calefacción.

Grados día: Es la diferencia de la temperatura fijada como base y la media horaria de la temperatura del aire exterior. El concepto “temperatura base” es la temperatura que se fija como parámetro para el cálculo de los requerimientos de calefacción con los cuales se obtiene el confort térmico y varía entre los $12^{\circ}C$ y los $18^{\circ}C$ según el uso del edificio y diversas consideraciones de ganancias térmicas. Sin embargo, no se debe confundir el concepto de temperatura base con el de temperatura confort, que es la temperatura óptima para vivir y está en torno a los $20^{\circ}C$. Los grados día de calefacción requeridos para lograr el confort térmico, con una temperatura base de $15^{\circ}C$, aumentan a medida que la vivienda se ubica más al sur.

Velocidad del viento: El intercambio de aire entre el interior y el exterior de la vivienda produce pérdidas de calor, el caudal de aire que se intercambie dependerá de la velocidad del viento que actúa sobre los elementos de la envolvente de la vivienda y de la calidad de los cerramientos. La norma chilena NCh 853 estipula que en aquellas ciudades en las que la velocidad del viento supere los 10 km/h anuales, la resistencia térmica superficial exterior (R_{se}) tendrá el valor 0.

Renovaciones de aire: las renovaciones de aire representan la cantidad de aire que entra en los distintos espacios de una vivienda, debido principalmente a dos factores.

- Ventilación mecánica o natural.
- Infiltraciones por defecto de obra, es decir estanqueidad de carpinterías, fisuras en los elementos constructivos, conductos sin sellar, etc.

Debido a que la tasa de renovación de aire es un factor que depende de variables muy específicas como número de ocupantes de la casa, número de estancias, entre otros factores, es complejo determinar un valor medio para todas las tipologías de viviendas y zonas térmicas, para ello se han utilizado los valores de renovaciones de aire por hora que ofrece el software CCTE chileno (Certificación de comportamiento térmico para edificios), en este caso es de 1 renovación/hora, el cual supone que toda la ventilación es natural. Por otro lado, el “manual de diseño para soluciones en edificaciones de la CChC” entrega las siguientes recomendaciones [9]:

Tabla 2-2: Renovaciones de aire (fuente: Manual de diseño para soluciones en edificaciones de la CChC)

Habitación	Renovaciones de aire [1/h]
Dormitorio	0,5 - 1
Living	3 - 5
Comedor	3- 5
Cocina	5 – 10
Baño de casa	5 - 15

2.1.2 Reglamentación térmica Chilena.

El MINVU, en el año 1994 elaboró un programa con la finalidad de establecer progresivamente los requisitos de acondicionamiento térmico de las viviendas, dicho programa contempla etapas que modificarían la Ordenanza General de Urbanismo y construcciones (O.G.U.C.) [13].

En el año 2000 comienza la vigencia de la primera etapa, la cual define las características mínimas de las techumbres de las viviendas, con el objetivo de mejorar el comportamiento térmico de los hogares para los periodos de invierno. La segunda etapa establece las exigencias térmicas mínimas de los muros, pisos ventilados y ventanas, en función de la zona térmica en la cual se encuentra la vivienda, siendo puesta en vigencia en el año 2007.

La normativa divide el territorio nacional en siete zonas climáticas, estableciendo para cada una de ellas distintas exigencias de aislamiento térmico en la construcción de viviendas, la ciudad de Coyhaique se encuentra en la zona climática 7.

Para que las viviendas nuevas o reacondicionadas cumplan con la RT de 2007, es necesario elegir materiales de construcción en función de su conductividad térmica y de la ubicación de la vivienda, es decir, en las ciudades situadas al norte de Chile las exigencias mínimas de construcción son menos restrictivas por que el clima así lo permite, por otro lado, para las ciudades al sur del país las restricciones son mayores, con el fin de desarrollar una conductividad térmica menor.

2 Caracterización del parque de viviendas.

El artículo 4.1.10 de la OGUC, establece las exigencias mínimas de acondicionamiento térmico de techumbre, muros perimetrales y pisos.

Tabla 2-3: Exigencias mínimas de RT y U (fuente: Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones)

Zona	Techumbre		Muros		Pisos Ventilados	
	U [W/m ² K]	RT [m ² K/W]	U [W/m ² K]	RT [m ² K/W]	U [W/m ² K]	RT [m ² K/W]
Zona 1	0,84	1,19	4,00	0,25	3,60	0,28
Zona 2	0,6	1,67	3,00	0,33	0,87	1,15
Zona 3	0,47	2,13	1,90	0,53	0,70	1,43
Zona 4	0,38	2,63	1,70	0,59	0,60	1,67
Zona 5	0,33	3,03	1,60	0,63	0,50	2,00
Zona 6	0,28	3,57	1,10	0,91	0,39	2,56
Zona 7	0,25	4,00	0,60	1,67	0,32	3,13

Junto con evitar pérdidas de flujos térmicos, mediante el cumplimiento de la RT se asegura que no se produzca el fenómeno de condensación superficial en la vivienda, el cual afecta principalmente a la aislación térmica de los materiales que conforman los muros y los techos. Al humedecerse los materiales, los poros intersticiales se llenan de agua, que tiene una conductividad térmica mucho mayor que la del aire, por lo que el aislamiento térmico de la vivienda pierde sus propiedades considerablemente.

2.1.3 Zonificación climático – habitacional de Chile.

La norma NCh 1079 establece la zonificación climático – habitacional chilena, basándose en factores latitudinales y transversales que se dan a lo largo del amplio territorio del país, de acuerdo con esta norma Chile posee nueve zonas climáticas conformadas por extensiones de territorios con variables climáticas y meteorológicas similares, la figura 2-2 describe geográficamente las distintas zonas climáticas [14].

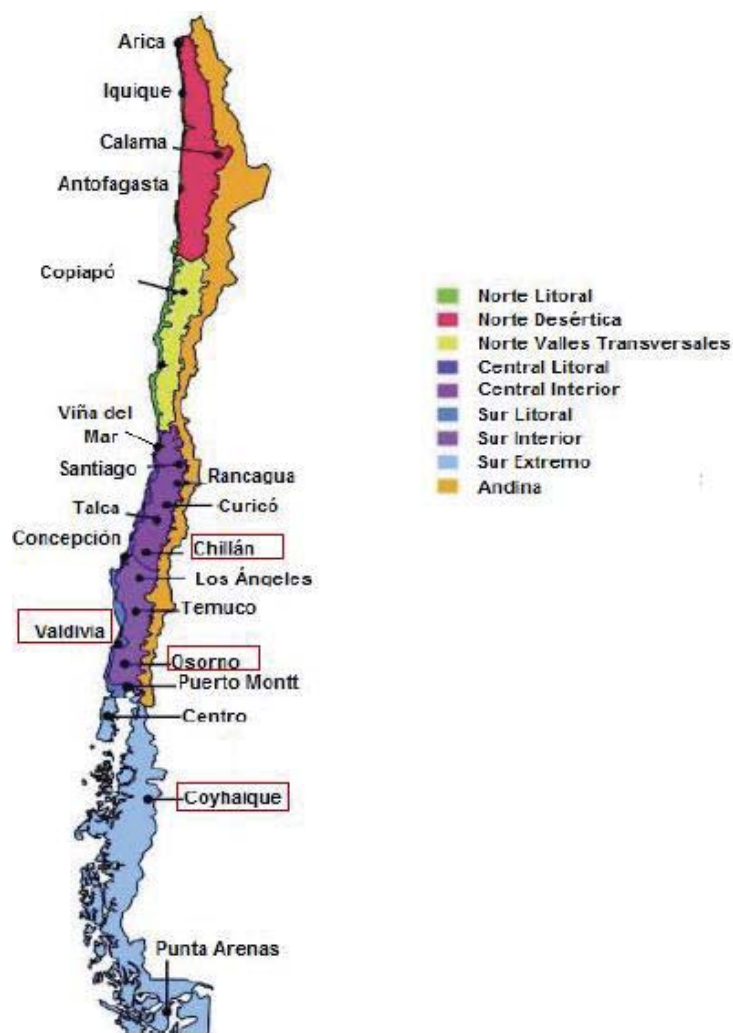


Figura 2-2: Zonificación climática de Chile (fuente: NCh 1079)

Norte Litoral: Territorio comprendido desde el límite con Perú hasta el límite norte de la comuna de la Ligua, ocupando la franja costera al lado occidental de la cordillera de la Costa. Se caracteriza por ser una zona desértica con influencia costera, con un terreno húmedo y salino. La temperatura diaria se mantiene constante.

Norte Desértica: Corresponde a la planicie comprendida entre la cordillera de la Costa y la de los Andes, las precipitaciones son escasas por lo que es una zona extremadamente árida. Por su condición desértica, la temperatura diaria presenta grandes fluctuaciones a lo largo de todo el año.

Norte Valles Transversales: En ella se encuentra la región de los cordones y valles transversales al este de la zona Norte litoral excluyendo la cordillera de los Andes a partir de los 400 metros. Se caracteriza por un clima semidesértico en el que los veranos son largos y calurosos, las precipitaciones, por su parte aumentan de norte a sur, mientras que las fluctuaciones de temperatura a lo largo del día son muy variables.

Central Litoral: Ocupa el cordón costero a continuación de la zona Norte litoral, desde Aconcagua hasta el límite del valle del Biobío. El clima característico en esta zona es templado marítimo, las precipitaciones anuales son abundantes, y tanto el ambiente como el suelo es relativamente húmedo, la temperatura permanece constante a lo largo del día.

Central interior: comprende el valle central entre la zona Norte Litoral y la pre cordillera de los Andes por debajo de los 1.000m. El clima de esta zona es mediterráneo de temperaturas templadas, con un aumento de las precipitaciones y las heladas a medida que se entra en el sur, la temperatura no sufre variaciones elevadas a lo largo del día, dentro de esta zona se encuentra la ciudad de Osorno.

Sur litoral: Se encuentra en la continuación de la zona Central Litoral desde el Biobío hasta Chiloé y Puerto Montt. Se caracteriza por una climatología marítima con precipitaciones intensas, suelos salinos y húmedos, las temperaturas son bajas, dentro de esta zona se encuentra la ciudad de Valdivia.

Sur interior: Corresponde a la continuación de la zona Central Interior desde el Biobío incluido la ensenada de Reloncavi, y por el Este hasta la cordillera de los Andes. Es una zona lluviosa, de bajas temperaturas a lo largo del año, Chillan se encuentra dentro de esta zona.

Sur Extremo: La constituye la región de los canales y archipiélagos desde Chiloé hasta tierra del fuego, contiene una parte continental hacia el Este. Se caracteriza por un clima marítimo, lluvioso y frío, en estas zonas elevadas predomina la nieve y las heladas. Existen variaciones climáticas importantes dentro de la misma zona, a esta zona pertenece la ciudad de Coyhaique.

Andina: se ubica entre la franja cordillerana y la pre cordillera superior a los 3.000 metros de altitud en el Norte y termina al sur de Puerto Montt. Posee un clima seco, con grandes fluctuaciones de temperatura entre el día y la noche, debido a las diferencias de altura y latitud a lo largo de esta zona, el clima varía de norte a sur, siendo en todos los casos condiciones muy severas.

Tabla 2-4: Zonas climático-habitacional de ciudades declaradas saturadas por MP_v (fuente: Norma NCh 1079)

Ciudad	Zona climático-habitacional
Chillan	Sur Interior
Osorno	Central Interior
Coyhaique	Sur Extremo
Valdivia	Sur Litoral

2.1.4 Zonificación térmica de Chile.

La zonificación térmica se presenta con el fin de aplicar las exigencias de aislación térmica de las viviendas, las cuales están establecidas en la RT de 2007. La base de esta norma es únicamente la temperatura de calefacción necesaria para lograr el confort dentro de las viviendas, en función del criterio grados días, a diferencia de la zonificación climático - habitacional en donde se clasifican por el clima (humedad, nubosidad, intensidad del viento, horas de sol, radiación solar, etc.) [9].

Chile esta diferenciado en siete zonas térmicas:

Tabla 2-5: Grados - día anuales por zona térmica (fuente. Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones)

Zona	Grados - día
Zona 1	≤ 500
Zona 2	$> 500 - \leq 750$
Zona 3	$> 750 - \leq 1.000$
Zona 4	$> 1.000 - \leq 1.250$
Zona 5	$> 1.250 - \leq 1.500$
Zona 6	$> 1.500 - \leq 2.000$
Zona 7	< 2.000

La ciudad de Coyhaique se encuentra en la zona térmica 7 y según la página web www.degreedays.net basado en las temperaturas de Weather Underground, los grados-día anuales ascienden hasta los 2.334.

El clima de Coyhaique es una transición entre clima marítimo lluvioso, que se presenta en la costa y fiordos en la región de Aysén, y el clima estepárico frío que se encuentra cerca de la frontera con la Patagonia Argentina, presenta características de ambos climas: Abundancia de lluvias u aridez. Por la latitud de esta ciudad, el clima es muy frío durante todo el año y las precipitaciones oscilan entre 800 y 1200 mm anuales con nieves invernales. La temperatura absoluta mínima invernal alcanza -22°C y la máxima absoluta en verano puede alcanzar 35°C .

2.2 Caracterización del parque de viviendas.

A continuación, se definen las viviendas más características de la ciudad de Coyhaique, la cual se basa en los resultados de la encuesta elaborada para el estudio “Estudio de usos finales y curva de oferta de la conservación de la energía en el sector residencial” realizada por el Ministerio de Energía en 2010 [15].

2.2.1 Geometría del hogar.

La geometría del parque de viviendas de la ciudad de Coyhaique es ilustrada en la figura 2-3 en dónde se representa la distribución de los diferentes tipos de viviendas.:

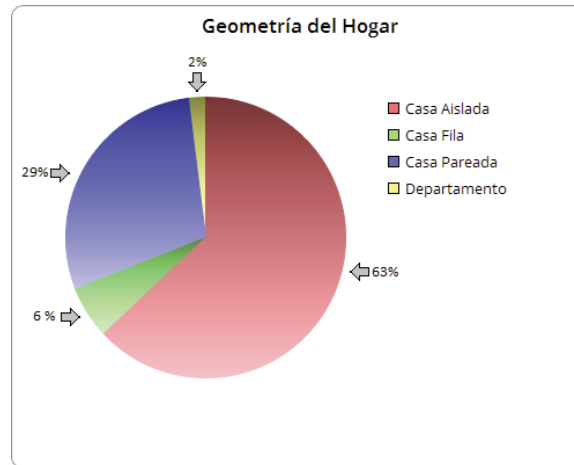


Figura 2-3: Tipologías de viviendas en Coyhaique (fuente: Ministerio de Energía 2010)

A la hora de analizar el aislamiento térmico de las viviendas, es de suma importancia la descripción del número de pisos más habituales en cada una de las tipologías de construcciones anteriormente definidas.

Tabla 2-6: Número de pisos según tipología de la vivienda en Coyhaique (fuente: Ministerio de Energía 2010)

Tipo de geometría	Número de pisos	% de viviendas
Casa Aislada	1 piso	45%
	2 pisos	18%
Casa en fila	1 piso	3%
	2 pisos	3%
Casa pareada	1 piso	13%
	2 pisos	16%
Departamento	1 piso	1%
	2 pisos	1%

Lo anterior es la base de la caracterización del parque de viviendas de la ciudad de Coyhaique.

2.2.2 Fecha de construcción.

La materialidad junto con la calidad de las construcciones, dependen directamente del año en cual fueron construidas, debido principalmente a las diferentes reglamentaciones térmicas que, con el paso del tiempo, han evolucionado sucesivamente desde el año 2000, debido a lo anterior se debe tomar en consideración la arista del año de construcción, distinguiéndose 3 grupos:

- Antes del año 2000
- Entre 2000 y 2007
- Posterior a 2007

La construcción de viviendas en Coyhaique se distribuye a través de los años de la siguiente forma:

Tabla 2-7: Año de construcción de viviendas en Coyhaique (fuente: Ministerio de Energía 2010)

Tipo de geometría	Número de pisos	<2000	2000-2007	>2007
Casa aislada	1 piso	31%	10%	4%
	2 pisos	12%	5%	1%
Casa fila	1 piso	0%	3%	0%
	2 pisos	1%	2%	0%
Casa pareada	1 piso	12%	1%	0%
	2 pisos	8%	6%	2%
Departamento		2%	0%	0%
Total viviendas		65%	28%	7%

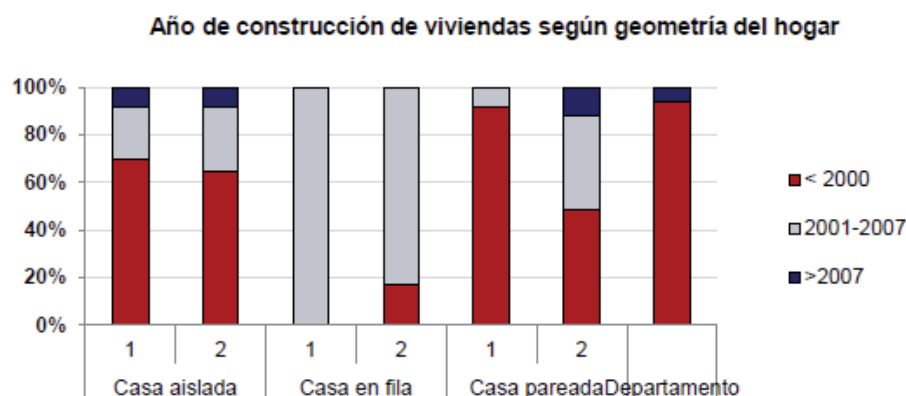


Figura 2-4: Tipología de viviendas según año de construcción (fuente: Ministerio de Energía 2010)

De lo anterior se desprende que cerca del 65% de las viviendas fueron construidas antes del año 2000, lo cual implica que no deberían estar sujetas a ninguna reglamentación térmica, por otro lado, un 28% de las viviendas están sujetas a la reglamentación térmica del año 2000 y solo un 7% de las viviendas están regidas bajo la reglamentación térmica vigente.

2.2.3 Características constructivas.

Junto con el año de construcción de las viviendas, se debe considerar una clasificación en torno a los aspectos constructivos de cada tipo de vivienda, dentro de los cuales destacan metros cuadrados, materialidad, tipo de techo, tipo de piso entre otros, los cuales se detallan continuación.

2.2.3.1 Metros cuadrados.

El promedio de metros cuadrados promedio que tiene cada uno de los tipos de viviendas más representativas de la ciudad, según el estudio realizado por el Ministerio de Energía son los siguientes:

Tabla 2-8: Metros cuadrados en función del número de pisos y tipología de viviendas en Coyhaique (fuente: Ministerio de Energía 2010)

Tipo de geometría	Número de pisos	Metros Cuadrados
Casa Aislada	1 piso	55-65
	2 pisos	75-85
Casa en fila	1 piso	40-50
	2 pisos	35-45
Casa pareada	1 piso	55-65
	2 pisos	50-60
Departamento		45-45

Queda de manifiesto, que las casas aisladas de 2 pisos son por lo general de mayor tamaño, siendo este parámetro de gran importancia al momento de realizar el estudio de la demanda térmica de las viviendas.

2.2.3.2 Ventilación inferior del piso.

Un factor de gran importancia a la hora de realizar en análisis de demanda térmica de las viviendas, es el del tipo de ventilación inferior del piso, debido que según sea el tipo de piso y el contacto con el terreno los que influyen notablemente en las pérdidas energéticas.

Tabla 2-9: Ventilación inferior en función de la tipología de vivienda en Coyhaique (fuente: Ministerio de Energía 2010)

Tipo de geometría	Piso sin ventilación	Metros Cuadrados
Casa Aislada	40%	23%
Casa en fila	6%	0.5%
Casa pareada	27%	1%
Departamento	2%	0%
Total	75%	25%

Un aspecto positivo de las construcciones en la ciudad de Coyhaique, es el porcentaje de viviendas que no posee ventilación inferior, esto se debe principalmente a que la temperatura en la zona es fría y no conviene que exista un flujo de calor hacia el exterior.

2.2.3.3 Materialidad.

Debido a que la reglamentación térmica vigente es del año 2007, en la cual se establecen los valores mínimos de transmitancia en función de la zona térmica en la que se encuentra la vivienda, es necesario diferenciar entre 2 etapas, la primera incluirá todas las viviendas construidas antes de 2007, y en la segunda con aquellas posteriores al año anteriormente mencionado.

- Muros

Viviendas anteriores a 2007

Para las viviendas construidas antes de 2007, los principales materiales de construcción de los muros en las viviendas de Coyhaique son:

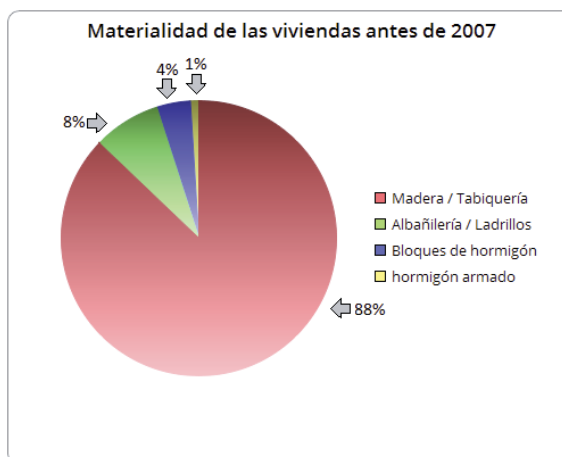


Figura 2-5: Materialidad de las viviendas antes de 2007 (fuente: Ministerio de Energía 2010)

Las viviendas construidas antes de 2007 representan un 65% del total de viviendas, de estas en su mayoría están fabricadas de madera, considerando las bajas temperaturas de la zona, este porcentaje es muy lógico, debido a que la madera es uno de los mejores materiales a la hora de aislar térmicamente las viviendas.

Además, si solo se contabilizan las viviendas construidas antes de 2007 por su tipología, la materialidad según sus materiales de construcción, describe la siguiente distribución, ilustrada en la figura:

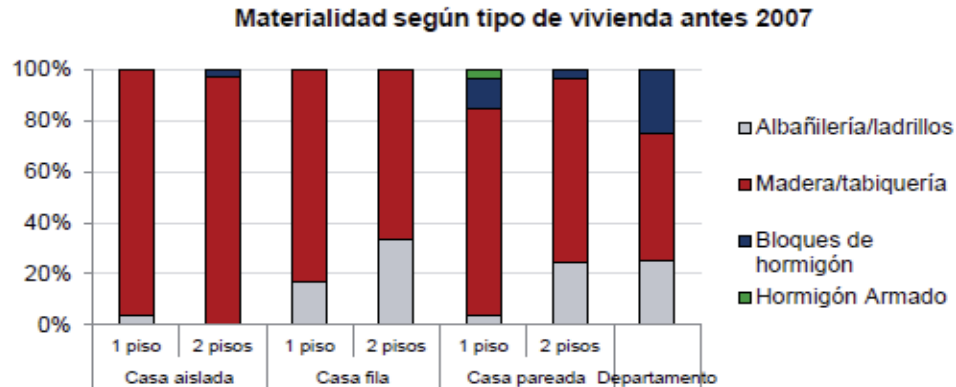


Figura 2-6: Materialidad según tipo de vivienda antes de 2007 (fuente: Ministerio de Energía 2010)

La madera es el principal material de construcción en prácticamente todas las viviendas.

o Aislamiento de muros

Si bien la reglamentación térmica anterior a 2007, no contempla aislamiento en los muros, esta es bastante utilizada, cerca de un 44% de las viviendas construidas antes de 2007 cuentan con algún tipo de aislante en sus muros, siendo la lana de vidrio el material más utilizado.

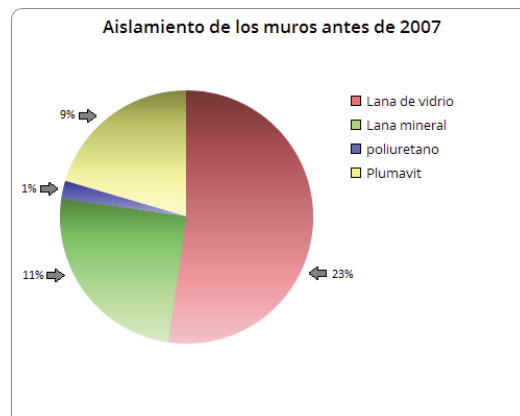


Figura 2-7: Aislamiento térmico de los muros antes de 2007 (fuente ministerio de Energía 2010)

Considerando solamente las viviendas construidas antes de 2007, los materiales aislantes según la tipología de construcción, son los siguientes:

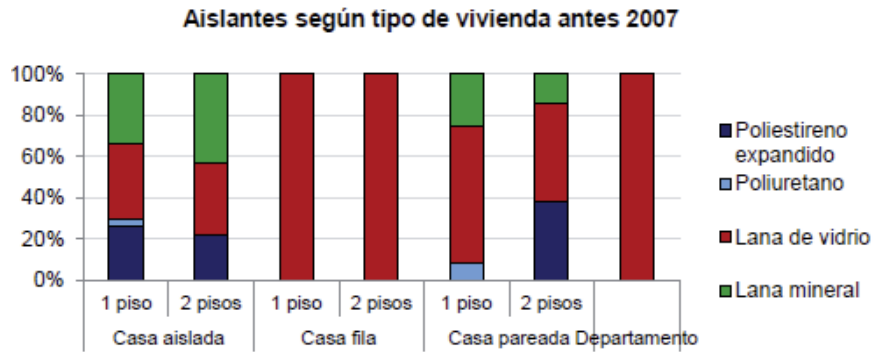


Figura 2-8: Aislantes según tipo de viviendas antes de 2007 (fuente: Ministerio de Energía 2010)

La lana de vidrio es el principal material aislante utilizado en los muros de la mayoría de las tipologías de viviendas, además la lana mineral es igualmente utilizada en las casas aisladas de 1 y 2 pisos.

Viviendas posteriores a 2007

Las viviendas construidas después de 2007, representan un 7% del total de las viviendas, la distribución de la materialidad de los muros se ilustra en la figura 2-9:

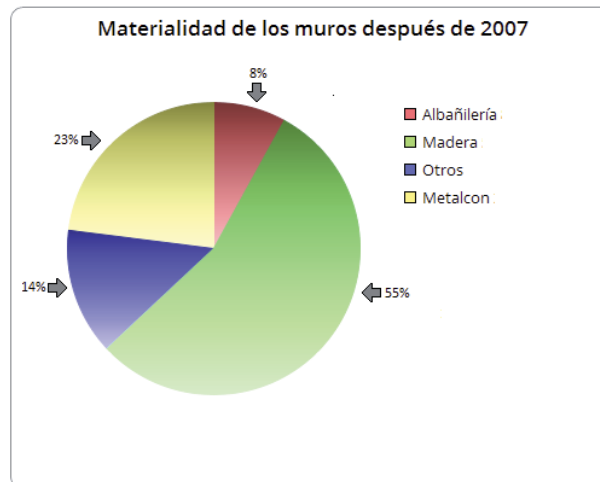


Figura 2-9: Materialidad de los muros después de 2007 (fuente: Ministerio de Energía 2010)

Desde 2007 las tendencias de construcción han variado, si inicialmente la madera era prácticamente el único material de construcción, en la actualidad destaca el uso de metalcon, que consiste en una serie de perfiles de acero galvanizado de alta resistencia, unidos entre sí por tornillos.

En cuanto a los aislantes de los muros, se mantiene como principal material aislante la lana de vidrio, por otra parte, la lana mineral se ha visto desplazada por el poliestireno expandido, el cual posee una baja transmitancia y un costo reducido.

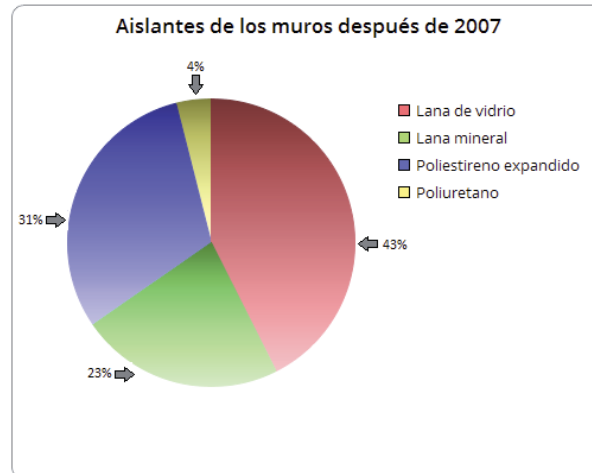


Figura 2-10: Aislante de los muros después de 2007 (fuente: Análisis energético de viviendas Coyhaique)

- Techos

Los techos mayormente contruidos en las viviendas de la región se ilustran en la figura 2-11:

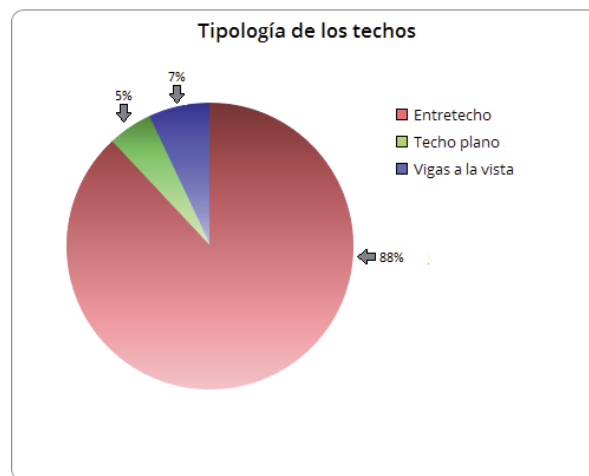


Figura 2-11: Tipología de los techos en las viviendas en Coyhaique (fuente: Ministerio de Energía 2010)

- o Materialidad de los cielos

Debido a que la distribución de la materialidad de los cielos antes y después de 2007 son similares, ya que la reglamentación térmica vigente no modifica los materiales con los cuales están constituidos los cielos, se resumirá de manera única en la figura 2-12:

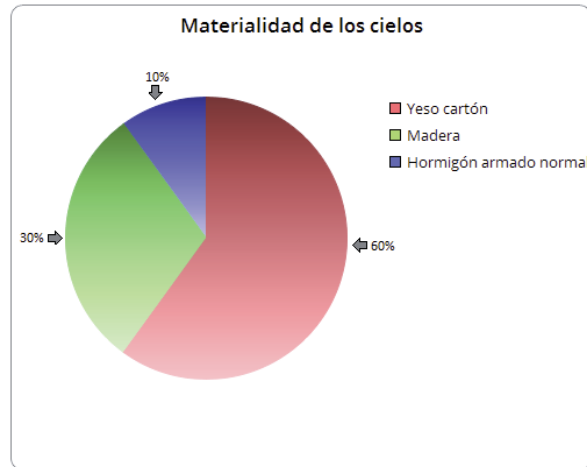


Figura 2-12: Materialidad de los cielos en las viviendas de Coyhaique (fuente: análisis energético de viviendas Coyhaique)

o Aislamiento de los cielos

La reglamentación térmica del año 2000 incluye requerimientos sobre la aislación térmica de la techumbre, con esto al menos un 35% de las viviendas de Coyhaique debieran contar con aislamiento en los cielos, para la determinación de la evolución de las viviendas a nivel aislante, debe ser en función del año de construcción de la misma.

Viviendas anteriores a 2000

Solo el 27% de las viviendas construidas hasta el año 2000, no poseen ningún material de aislación en el cielo, mientras que el 73% si cuentan con material aislante, siendo el principal material utilizado la lana mineral.

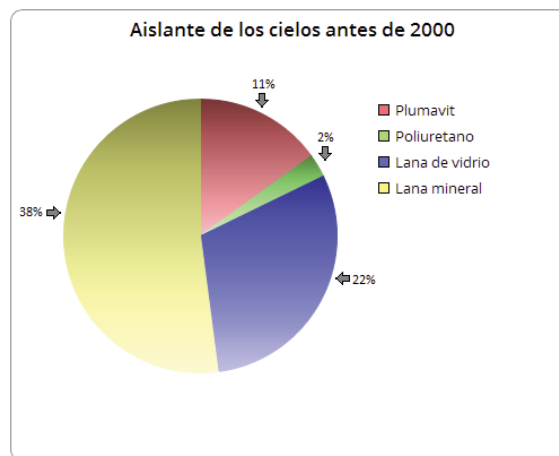


Figura 2-13: Aislante de los cielos antes de 2000 en la ciudad de Coyhaique (fuente: ministerio de Energía 2010)

Considerando el material aislante de los cielos según la tipología de las viviendas, la distribución se ilustra en la figura 2-14, nótese que no se tiene información suficiente para casas fila de 1 piso ni para departamentos:

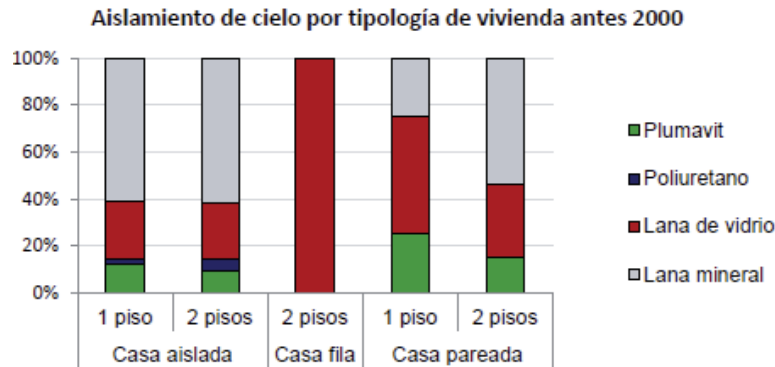


Figura 2-14: Aislamiento de cielo por tipología de vivienda antes de 2000 en la ciudad de Coyhaique (fuente: Ministerio de Energía 2010)

Viviendas construidas entre 2000 y 2007

La totalidad de las viviendas construidas en este periodo de tiempo representan el 3% del total del parque e de viviendas de la ciudad, todas estas poseen aislamiento en el cielo puesto que esto lo exigía la normativa vigente en aquel periodo. El material de mayor incidencia en estas construcciones es la lana de vidrio, la distribución de los materiales utilizados para la aislación de los cielos se ilustra en la figura 2-14, estos se distribuyen de la siguiente manera:

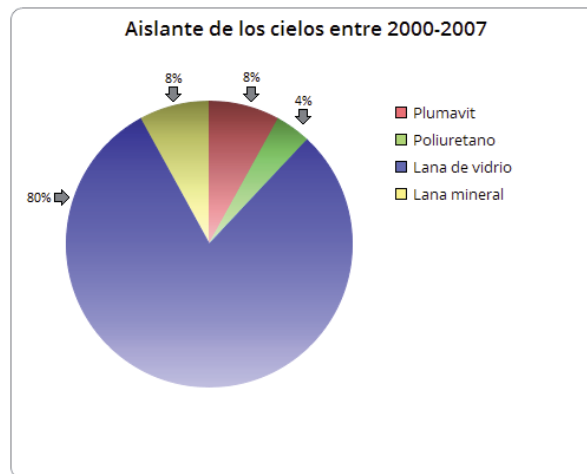


Figura 2-15: Aislante de los cielos entre 2000-2007 en la ciudad de Coyhaique (fuente: Ministerio de Energía 2010)

Considerando las tipologías de las viviendas, el material más utilizado en todas ellas, es la lana de vidrio, en las viviendas pareadas los cielos están únicamente aislados con este material, mientras que el plumavit y el poliuretano solamente se utilizan en las casas aisladas de 1 y 2 pisos.

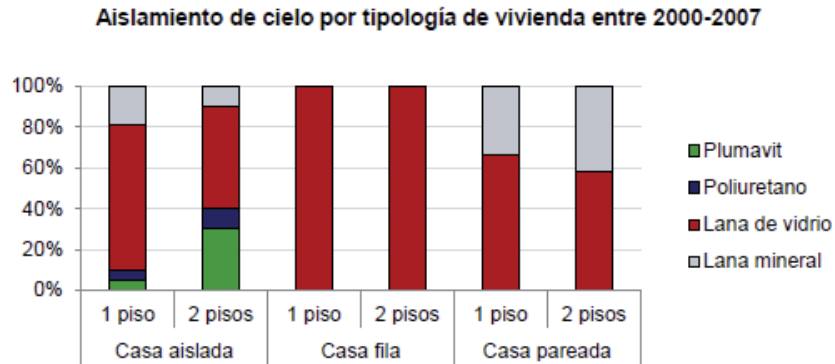


Figura 2-16: Aislamiento de cielo por tipología de vivienda entre 2000-2007 en la ciudad de Coyhaique (fuente: Ministerio de Energía 2010)

Viviendas construidas después de 2007

En la actualidad se observa un cambio significativo, con respecto a los materiales aislantes utilizados en cielos, debido principalmente a la nueva reglamentación térmica que aún se encuentra en vigencia.

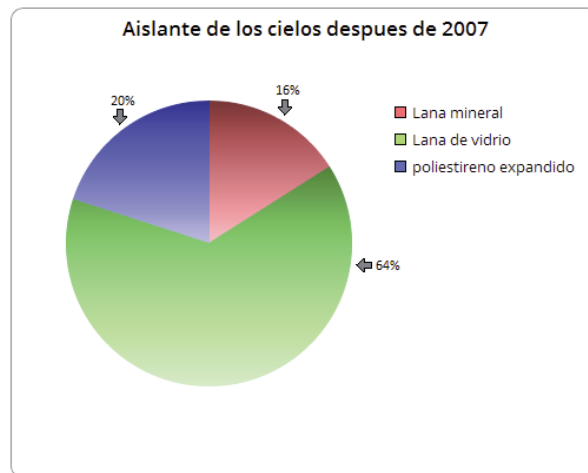


Figura 2-17: Material aislante de los cielos después de 2007 en la ciudad de Coyhaique (fuente: Análisis energético de viviendas Coyhaique)

El material de mayor uso en las viviendas construidas después de 2007, sigue siendo la lana de vidrio, la novedad radica en el uso de poliestireno expandido el cual se convierte en uno de los materiales más utilizados, debido principalmente a que posee una conductividad térmica más apta para conseguir las exigencias mínimas de la reglamentación térmica vigente.

- Ventanas

El último elemento de interés a la hora de estimar las pérdidas de energía de una vivienda son las ventanas. La combinación de carpintería y vidrios de distintos materiales influye notablemente en las pérdidas térmicas de la vivienda, así una ventana de madera y doble vidrio hermético, tendrá un flujo de calor hacia el exterior menor que uno de acero y vidrio simple.

La reglamentación térmica de 2007 restringe su tamaño en función de su transmitancia térmica (U), por ello se evaluará este elemento antes y después de 2007. Con respecto al vidrio, las ventanas en prácticamente su totalidad están constituidas por vidrios simples 99.8%, mientras que los termo paneles representan únicamente un 0.2% del total, prácticamente despreciable.

Viviendas construidas antes de 2007

La figura 2-18 ilustra la distribución de la materialidad de los marcos de ventanas utilizados en las viviendas construidas antes de 2007.

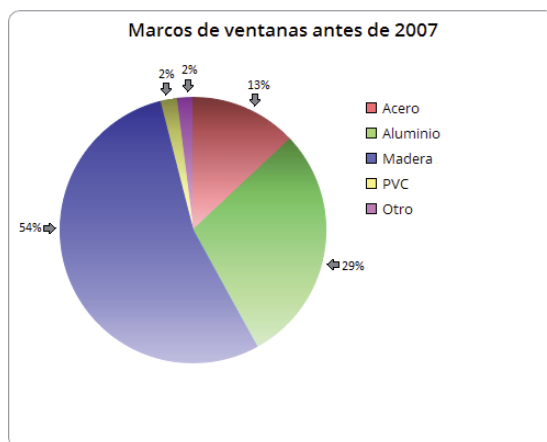


Figura 2-18: Marcos de ventanas antes de 2007 en la ciudad de Coyhaique (fuente: Ministerio de energía 2007)

Se observa que la madera es el material más utilizado, seguido del aluminio y el acero, se aprecia una mínima utilización de PVC para los marcos de las ventanas.

Viviendas construidas después de 2007

La nueva exigencia con respecto a los materiales de los marcos de las ventanas no ha logrado que aumente la utilización de los termo paneles, ya que en la actualidad se sigue manteniendo la misma tendencia sobre este material, la figura 2-19 ilustra el reparto de los materiales utilizados en los marcos de ventanas en las viviendas de la ciudad.

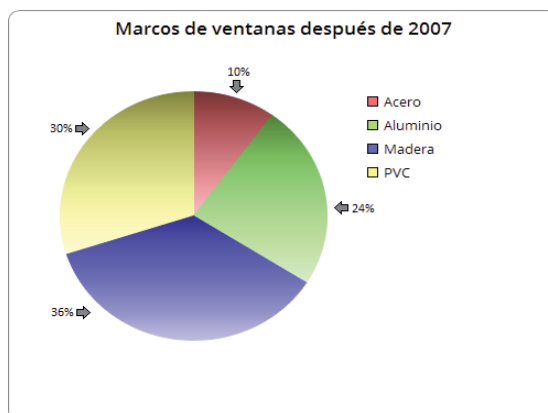


Figura 2-19: Marcos de ventanas después de 2007 en la ciudad de Coyhaique (fuente: Análisis energético de viviendas Coyhaique)

Se observa que la mayoría de los materiales antes utilizados han disminuido su utilización, a favor de materiales más aislantes como el PVC.

2.3 Clasificación del parque de viviendas.

La clasificación del parque de viviendas de la ciudad de Coyhaique se basa en las características constructivas, para luego ser comparadas con el estudio "Programa de inversión pública para fomentar el reacondicionamiento térmico del parque construido de viviendas", desarrollado por el MINVU, el cual define las tipologías según su coeficiente de transferencia de calor [16].

2.3.1 Representación del parque de viviendas.

Dentro de la caracterización del parque de viviendas de Coyhaique, destacan 6 tipos de viviendas las cuales son las más representativas de toda la ciudad, estas se describen a continuación.

2.3.1.1 Viviendas aisladas.

Las características comunes para las viviendas aisladas de 1 piso son:

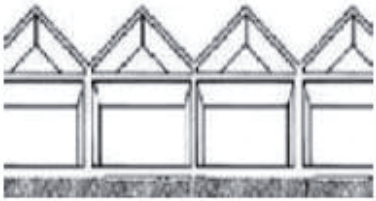
	Superficie	55-65 m ²
	Material de construcción	Madera / tabiquería
	Muros	Madera
		Planchas de yeso cartón
	Techo	Entretecho
	Cielo	Yeso de cartón
		Lana de vidrio
		Listones de madera de pino
	Piso	Sin ventilación inferior
	Ventanas por casa	5 ventanas
	Pequeñas	2 de madera
	Medianas	2 de madera
	Grandes	1 de madera

Las características comunes para las viviendas aisladas de 2 pisos son:

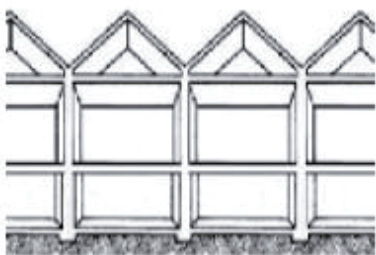
	Superficie	75-85 m ²
	Material de construcción	Madera / tabiquería
	Muros	Madera
		Planchas de yeso cartón
	Techo	Entretecho
	Cielo	Yeso de cartón
		Lana de vidrio
		Listones de madera de pino
	Piso	Sin ventilación inferior
	Ventanas por casa	7 ventanas
	Pequeñas	3 de madera
	Medianas	3 de aluminio
	Grandes	1 de aluminio

2.3.1.2 Viviendas fila.

Las características comunes para las viviendas fila de 1 piso son:

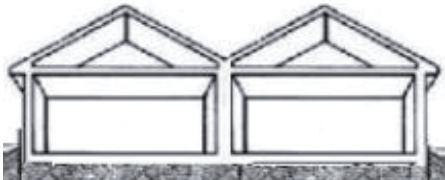
	Superficie	40-50 m ²
	Material de construcción	Madera / tabiquería
	Muros	Madera / tabiquería
		Planchas de yeso cartón
	Techo	Entretecho
	Cielo	Yeso de cartón
		Lana de vidrio
		Listones de madera de pino
	Piso	Sin ventilación inferior
	Ventanas por casa	4 ventanas
	Pequeñas	1 de acero
	Medianas	3 de acero
	Grandes	0 ventanas

Las características comunes para las viviendas fila de 2 pisos son:

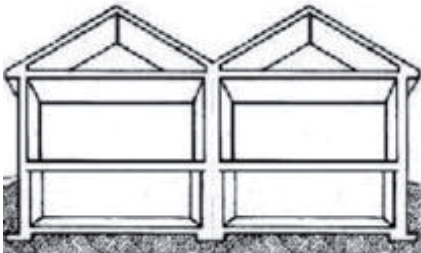
	Superficie	35-45 m ²
	Material de construcción	Madera / tabiquería
	Muros	Madera
		Planchas de yeso cartón
	Techo	Entretecho
	Cielo	Yeso de cartón
		Lana de vidrio
		Listones de madera de pino
	Piso	Sin ventilación inferior
	Ventanas por casa	4 ventanas
	Pequeñas	2 de aluminio
	Medianas	2 de aluminio
	Grandes	0 ventanas

2.3.1.3 Viviendas pareadas.

Las características comunes para las viviendas pareadas de 1 piso son:

	Superficie	55-65 m ²
	Material de construcción	Madera / tabiquería
	Muros	Madera / tabiquería
		Planchas de yeso cartón
	Techo	Entretecho
	Cielo	Yeso de cartón
		Lana de vidrio
		Listones de madera de
	Piso	Sin ventilación inferior
	Ventanas por casa	5 ventanas
	Pequeñas	2 de madera
	Medianas	3 de aluminio
	Grandes	0 ventanas

Las características comunes para las viviendas pareadas de 2 pisos son:

	Superficie	50-60 m ²
	Material de construcción	Madera / tabiquería
	Muros	Madera
		Lana de vidrio
		Planchas de yeso cartón
	Techo	Entretecho
	Cielo	Yeso de cartón
		Lana de vidrio
		Listones de madera de
	Piso	Sin ventilación inferior
	Ventanas por casa	5 ventanas
	Pequeñas	2 de madera
	Medianas	3 de aluminio
	Grandes	0 ventanas

2.3.2 Definición del coeficiente global de transferencia de calor por tipología de vivienda definida.

El coeficiente global de transferencia de calor G_{V1} , es la energía pérdida por la diferencia de cada grado de temperatura entre interior y exterior, por m^3 de volumen útil, este coeficiente es propio de cada vivienda, por esto los valores obtenidos varían en función de las características de las viviendas, para el cálculo del coeficiente solo se tendrán en cuenta aquellos elementos que están en contacto con el ambiente exterior.

En el caso del cálculo de las transmitancia, se definen los siguientes supuestos:

- Tamaño de ventana:
 - o Pequeña: 60cm x 40cm.
 - o Mediana: 90cm x 100 cm.
 - o Grandes: 120cm x 120cm.
- Tamaño de puerta: 80cm x 200 cm, + 4cm de marco por cada lado.
- Materialidad de la puerta: Pino.

Tabla 2-10: Valores de G_{V1} para cada tipología de vivienda (fuente: Análisis energético de viviendas Coyhaique)

Tipología de la vivienda		$U_1 \cdot S_1 + K_L \cdot L$ [W/m ² K]	V [m ³]	G_{V1} [W/m ³ K]
Vivienda aislada	1 piso de madera	201,77	233,75	0,86
	2 pisos de	251,03	290,00	0,87
Vivienda fila	1 piso de madera	150,03	191,25	0,78
	2 pisos de	179,73	145,00	1,24
Vivienda pareada	1 piso de madera	182,13	255,00	0,71
	2 pisos de	173,66	190,00	0,91

El valor del coeficiente G_{V1} de una vivienda es inversamente proporcional con el volumen de las viviendas, además de una estrecha relación con el valor del coeficiente global de transferencia de calor de todos sus elementos.

2.3.3 Proyección del parque de viviendas según la tipología definida.

El cálculo de las diferentes tipologías de viviendas se basa a partir de los porcentajes que presentan cada tipo de viviendas en la ciudad de Coyhaique, sobre las proyecciones futuras se realizarán de acuerdo a los escenarios base, optimista y pesimista los cuales se definen en el capítulo anterior. Cabe destacar que estas 6 tipologías corresponden al 98% de las viviendas de la ciudad, por lo tanto, estas proyecciones representan teóricamente el 98% del parque total de viviendas de la ciudad de Coyhaique.

La evolución de los distintos tipos de viviendas definidas, a lo largo de los años, según sea el escenario establecido se exponen a continuación en las tablas 2-11, 2-12 y 2-13.

2 Caracterización del parque de viviendas.

• Escenario Base

Tabla 2-11: Proyecciones por tipología de vivienda en la ciudad de Coyhaique, escenario base (fuente: Análisis energético de viviendas Coyhaique)

Año	Casa Aislada		Casa Fila		Casa Pareada		Total
	1 piso madera	2 pisos madera	1 piso madera	2 pisos madera	1 Piso madera	2 pisos madera	
2012	8.515	3.425	555	555	2.406	3.054	18.511
2013	8.610	3.463	562	562	2.433	3.088	18.718
2014	8.696	3.497	567	567	2.458	3.119	18.904
2015	8.786	3.534	573	573	2.483	3.152	19.101
2016	8.894	3.577	580	580	2.514	3.190	19.335
2017	8.996	3.618	587	587	2.542	3.227	19.558
2018	9.094	3.657	593	593	2.570	3.262	19.769
2019	9.187	3.695	599	599	2.596	3.295	19.972
2020	9.271	3.728	605	605	2.620	3.325	20.153
2021	9.389	3.776	612	612	2.653	3.368	20.411
2022	9.514	3.826	620	620	2.689	3.413	20.683
2023	9.646	3.879	629	629	2.726	3.460	20.970
2024	9.785	3.935	638	638	2.765	3.510	21.273
2025	9.932	3.994	648	648	2.807	3.563	21.591

• Escenario optimista

Tabla 2-12: Proyecciones por tipología de vivienda en la ciudad de Coyhaique, escenario optimista (fuente: Análisis energético de viviendas Coyhaique)

Año	Casa Aislada		Casa Fila		Casa Pareada		Total
	1 piso madera	2 pisos madera	1 piso madera	2 pisos madera	1 Piso madera	2 pisos madera	
2012	8.515	3.425	555	555	2.406	3.054	18.511
2013	8.620	3.467	562	562	2.436	3.092	18.740
2014	8.716	3.505	568	568	2.463	3.126	18.948
2015	8.817	3.546	575	575	2.492	3.163	19.167
2016	8.936	3.594	583	583	2.525	3.205	19.425
2017	9.049	3.639	590	590	2.557	3.246	19.672
2018	9.157	3.683	597	597	2.588	3.285	19.907
2019	9.262	3.725	604	604	2.618	3.322	20.135
2020	9.357	3.763	610	610	2.644	3.356	20.342
2021	9.488	3.816	619	619	2.681	3.403	20.626
2022	9.625	3.871	628	628	2.720	3.453	20.925
2023	9.770	3.929	637	637	2.761	3.505	21.240
2024	9.923	3.991	647	647	2.804	3.559	21.572
2025	10.083	4.055	658	658	2.850	3.617	21.921

- **Escenario pesimista**

Tabla 2-13: Proyecciones por tipología de vivienda en la ciudad de Coyhaique, escenario pesimista
(Análisis energético de viviendas Coyhaique)

Año	Casa Aislada		Casa Fila		Casa Pareada		Total
	1 piso madera	2 pisos madera	1 piso madera	2 pisos madera	1 Piso madera	2 pisos madera	
2012	8.515	3.425	555	555	2.406	3.054	18.511
2013	8.600	3.459	561	561	2.430	3.085	18.696
2014	8.675	3.489	566	566	2.452	3.112	18.860
2015	8.755	3.521	571	571	2.474	3.140	19.033
2016	8.852	3.560	577	577	2.502	3.175	19.244
2017	8.943	3.597	583	583	2.528	3.208	19.442
2018	9.029	3.631	589	589	2.552	3.239	19.629
2019	9.111	3.664	594	594	2.575	3.268	19.808
2020	9.183	3.693	599	599	2.595	3.294	19.964
2021	9.290	3.736	606	606	2.625	3.332	20.195
2022	9.402	3.781	613	613	2.657	3.373	20.440
2023	9.522	3.829	621	621	2.691	3.415	20.699
2024	9.648	3.880	629	629	2.727	3.461	20.973
2025	9.781	3.934	638	639	2.764	3.508	21.262

3 Calefacción eléctrica.

En la actualidad muchos sistemas de calefacción se basan en el calentamiento del aire, este fenómeno se conoce como calefacción por convección, el método que lo antecede, se basaba en radiación y conducción, la cual tiene mayor eficiencia energética que la convección. Mientras que la convección implica calentar cada centímetro cúbico del aire contenido en un espacio para mantener una temperatura de confort para sus ocupantes, la radiación y la conducción pueden transferir el calor directamente a las personas, independiente del tamaño de las viviendas.

Es posible transferir el calor mediante la convección, conducción y la radiación. La mayoría de los sistemas de calefacción actuales usan la convección, no se puede pasar por alto las fuentes de calor radiantes y conductivas, dado el avance tecnológico de estos tiempos, se encuentran estos tres principios de funcionamiento en los calefactores eléctricos, los cuales poseen la propiedad de ser calefacción libre de emanaciones contaminantes, una buena elección de los artefactos y sus prestaciones, puede llegar a ser una alternativa competitiva sobre las estufas a leña que se utilizan en la actualidad en la ciudad de Coyhaique.

3.1 Principios de transferencia de calor.

A continuación se detalla brevemente los principios de transferencia de calor, distinguiendo sus diferencias y virtudes, para luego clasificar las tecnologías de calefactores según sea su principio de funcionamiento.

3.1.1 Transferencia de calor por conducción.

El fenómeno de transferencia de calor por conducción es un proceso de propagación de energía en un medio sólido, líquido o gaseoso, mediante comunicación molecular directa o entre cuerpos a distintas temperaturas, en el caso de los líquidos y gases, esta transferencia es importante siempre y cuando se tomen las precauciones debidas para eliminar las corrientes naturales de flujo que puedan presentarse como consecuencia de las diferencias de densidad que experimentan estos, de ahí que la transferencia de calor por conducción sea de importancia en sólidos sujetos a diferentes temperaturas.

Los primeros adelantos acerca de la conducción de calor se deben en gran parte a los esfuerzos del matemático francés Fourier, quien propuso la ley que hoy se conoce como ley de la conducción de calor de Fourier o segunda ley de la termodinámica y su expresión define la

conductividad térmica k . Aun cuando esta varía con la temperatura, en muchas aplicaciones puede suponerse como constante, esta ley predice como se conduce el calor a través de un medio, partiendo de una región de alta temperatura a una región de baja temperatura [17].

Se basan en este principio de transferencia de calor una amplia gama de calefactores del área textil, destacándose calentacamas, calienta pies y un sinnúmero de aplicaciones similares, las cuales tienen como principio abrigar a las personas bajo circunstancias muy particulares. Debido a lo anterior no presenta gran relevancia este principio de transferencia de calor en nuestro estudio.

3.1.2 Transferencia de calor por convección.

El fenómeno de transferencia de calor por convección es un proceso de transporte de energía que se lleva a cabo como consecuencia del movimiento de un fluido y está relacionado directamente con su movimiento, supongamos una placa cuya superficie se mantiene a una temperatura T_2 la cual disipa el calor hacia un fluido cuya temperatura es T_1 , la experiencia indica que el sistema disipa más calor cuando se le deja pasar aire proveniente de un ventilador que cuando se encuentra expuesto al aire ambiental simplemente, deduciéndose que la velocidad del fluido tiene un efecto importante sobre la transferencia de calor a lo largo de la superficie. De manera análoga, la experiencia indica que el flujo de calor es diferente si la placa se enfría en agua o en aceite en vez de aire, de ahí que las propiedades del fluido tengan un efecto importante sobre la transferencia de calor.

El fenómeno de transferencia de calor por convección se clasifica como convección forzada y convección libre o natural, en el primer caso, el fluido se hace pasar sobre el sistema mediante la acción de algún agente externo por ejemplo un ventilador, una bomba o agentes meteorológicos. Por otra parte, el movimiento del fluido resulta en el segundo caso como una consecuencia de los gradientes en densidad que este experimenta, al estar en contacto con una superficie a mayor temperatura y en presencia de un campo gravitacional [17].

Se basan en este mecanismo de transferencia de calor una gran variedad de calefactores eléctricos, entre los que están los termoventiladores, calefactores oleoeléctricos, convectores eléctricos entre otros, los cuales serán de gran interés en este proyecto.

3.1.3 Transferencia de calor por radiación.

Tanto los mecanismos de transferencia de calor por conducción como convección requieren un medio para la propagación de la energía, sin embargo, el calor puede también propagarse en el vacío absoluto mediante la radiación. Puede decirse que, a una temperatura dada, todos los cuerpos emiten radiación en forma de energía electromagnética en diferentes longitudes de onda, siendo la radiación dependiente de la temperatura absoluta del cuerpo y de sus características superficiales, sin embargo, solo aquella fracción que se encuentra en el rango de longitudes de onda de 0.1 a 100 micrones, se consideran como radiación térmica.

Este fenómeno de transferencia de calor, es la vanguardia en cuanto a calefactores eléctricos, destacando el principio de calefacción selectiva de ciertas zonas de los hogares. Se destacan las

placas radiantes, estufas halógenas, calefactores de cuarzo entre muchas tecnologías disponibles en el mercado [17].

3.2 Sistemas eléctricos de calefacción por convección.

Si bien los sistemas de calefacción por convección son los más utilizados, no representan un sistema del todo eficiente, debido a que estas calefaccionan de manera lenta, ya que deben calentar todo el aire contenido en la habitación, este movimiento de aire concentra el aire a mayor temperatura en la zona alta, y las bajas temperaturas en las zonas inferiores de la habitación, no es novedad que las viviendas que cuentan con segundo piso manifiestan una temperatura más elevada en los pisos superiores, debido precisamente a que el aire al tener una mayor temperatura disminuye su densidad y es desplazado hacia arriba, para luego el aire a menor temperatura tomar la posición dejada por la masa ascendente, el proceso se ilustra en la figura 3-1. Vale la pena mencionar que los sistemas de transferencia de calor no son únicamente de un tipo, la clasificación depende de cual tipo de transferencia de calor aporte mayoritariamente, en la figura se ilustra el proceso de convección de calor en una habitación [17].

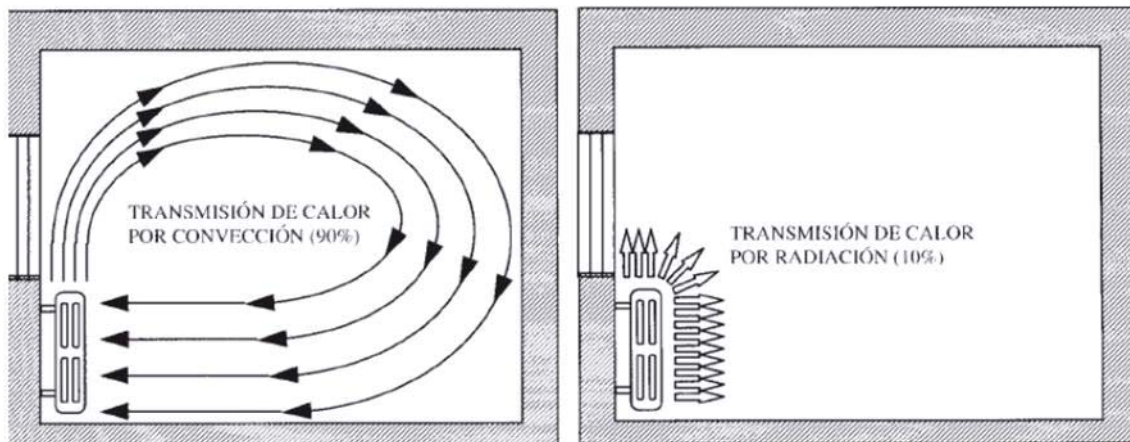


Figura 3-1: Sistemas de calefacción por convección (fuente: principios transferencia de calor, séptima edición Frank Kreith)

Dentro de los equipos de calefacción eléctrica que utilizan la convección como transferencia de calor destacan los siguientes artefactos.

3.2.1 Bomba de calor.

La bomba de calor es comúnmente conocida como aire acondicionado, este artefacto, es a grandes rasgos, una máquina que se basa en el ciclo de refrigeración reversible, cuenta con dos partes fundamentales, el foco caliente y el foco frío, cuando se aplica energía eléctrica al sistema, uno de los focos aumenta su temperatura, mientras que el otro la disminuye. El intercambio entre ambas unidades es solo de energía, no existe intercambio de aire entre la unidad interior y la unidad exterior. La figura 3-2 ilustra el sistema de bomba de calor en modo refrigeración, para

que la unidad interior refrigere el aire de nuestra habitación, es necesario que la unidad exterior caliente el aire exterior [18].

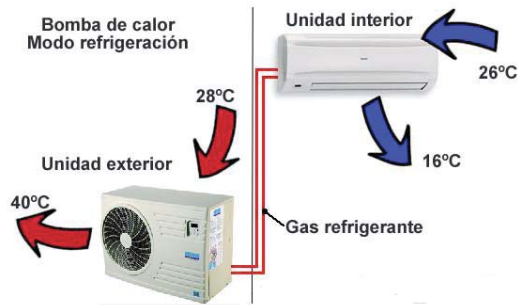


Figura 3-2: Bomba de calor en modo refrigeración (fuente: www.negriza.com)

La figura 3-3 ilustra el artefacto en modo calefacción, en este caso para calentar el aire de nuestra habitación, es necesario que simultáneamente la unidad exterior enfríe el aire ajeno a nuestro lugar de interés.

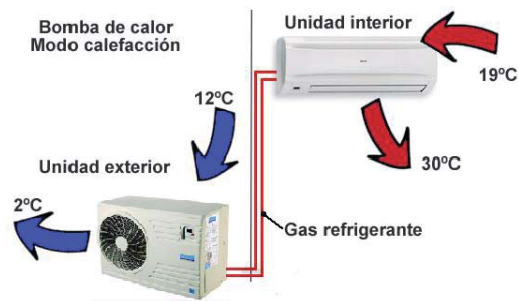


Figura 3-3: Bomba de calor en modo calefacción (fuente: negriza.com)

La bomba de calor se suele clasificar según el medio de origen y destino de la energía de tal forma que se denomina mediante palabras, la primera corresponde al medio que absorbe calor (foco frío) y la segunda al medio receptor (foco caliente), a continuación, se describen los tipos, más comúnmente utilizados.

- **Bomba de calor aire-aire:** La bomba de calor de este tipo cumple con la doble función, la de calefaccionar y enfriar, en consecuencia, con un solo equipo se pueden conseguir las condiciones de confort durante todo el año, las unidades tanto de calor como de frío para acondicionar un espacio determinado se consiguen mediante una sola fuente de energía eléctrica. El calor suministrado por el equipo en el ciclo calor es de 2 a 3 veces superior al absorbido por el equipo para su funcionamiento [19].

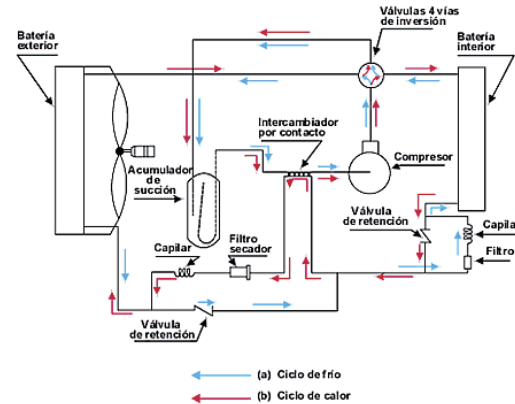


Figura 3-4: Diagrama de funcionamiento bomba de calor aire-aire (fuente: www.elaireacondicionado.com)

- Bomba de calor aire-agua:** Es un sistema clásico de acondicionamiento de aire, que utiliza baterías frías y baterías calientes además de una batería exterior que se utiliza para eliminar o extraer el calor existente en el exterior. En invierno, el evaporador de la máquina frigorífica se conecta a la batería exterior y el condensador a la batería caliente. El calor se extrae de una mezcla de aire exterior -aire de extracción que pasa por la batería ya a través de la máquina eliminando sobre el aire que se introduce en el local por la batería caliente. Cuando la temperatura exterior es menor a 4°C , el fluido que se hace circular a través de las baterías exteriores debe incorporar una solución anticongelante a fin de protegerlas, además de considerar un dispositivo de deshielo de la batería exterior [19].

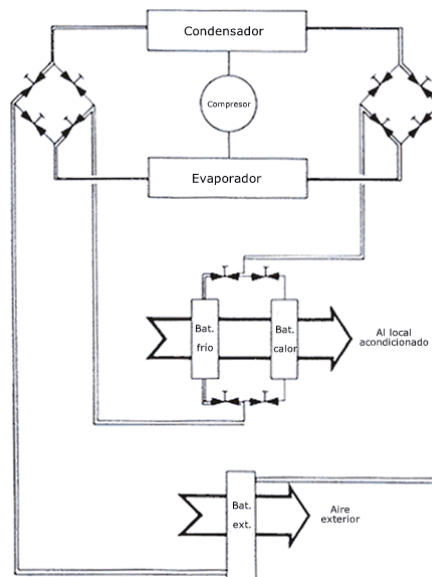


Figura 3-5: Diagrama de funcionamiento bomba de calor aire-agua (fuente: www.elaireacondicionado.com)

- Bomba de calor agua-agua:** En este tipo, tanto la calefacción como la refrigeración se efectúan mediante la inversión de los circuitos de agua entre el evaporador y el

condensador de una planta enfriadora de agua. Este sistema precisa de una reserva de agua que se utiliza en verano para la condensación y en invierno como fuente de calor. El cambio de la producción de frío a la de calor se efectúa a través de un simple sistema de válvulas [19].

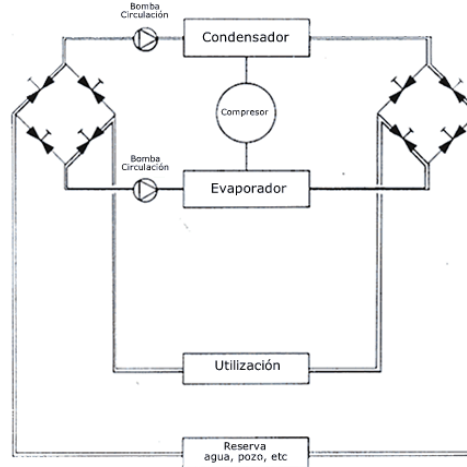


Figura 3-6: Diagrama de funcionamiento bomba de calor agua-agua (fuente: www.elaireacondicionado.com)

3.2.2 Estufas Oleoeléctricas.

Las estufas oleoeléctricas constan de columnas metálicas con cavidades, dentro de las cuales está el aceite de silicona que fluye libremente alrededor del calentador. Un elemento de calentamiento en la base del calentador, calienta el aceite, que luego fluye alrededor de las cavidades del calefactor por convección, este aceite actúa como un depósito de calor, con una relativa alta capacidad específica de calor y con un alto punto de ebullición. La alta capacidad de calor específico permite que el aceite almacene una gran cantidad de energía térmica en un volumen pequeño, mientras que el alto punto de ebullición le permite permanecer en estado líquido, de manera que el calefactor no tiene que ser un recipiente de alta presión [20].



Figura 3-7: estufas oleoeléctricas (fuente: elaboración propia)

Se utiliza el aceite como un depósito de calor, el elemento calefactor, calienta el aceite, que permanece caliente durante un largo periodo de tiempo mientras que el calor se transfiere a la

pared de metal a través de la convección, a través de las paredes por conducción, a continuación, a los alrededores a través de convección y radiación. Las columnas de las estufas oleoeléctricas se construyen típicamente como aletas finas, de tal manera que el área de superficie de las columnas de metal es grande en relación al volumen del depósito de aceite, esta gran superficie permite que más aire entre en contacto con el calentador, lo que permite que el calor se transfiera más rápidamente desde el calentador a la habitación.

3.2.3 Termoventiladores.

De las alternativas que utilizan el principio de transporte de calor por convección son las más utilizadas, debido a su bajo costo y prestaciones que poseen. Un termoventilador utiliza un soplador de aire caliente, calentando así la habitación en cuestión, a menudo cuentan con un elemento de calefacción de cerámica, placas de cerámica y deflectores de aluminio, que se calientan cuando la corriente eléctrica pasa a través de ellos, el ventilador desplaza el aire caliente generado hacia el exterior.



Figura 3-8: Termoventiladores (fuente: elaboración propia)

Una de las mayores ventajas de un termoventilador es la portabilidad debido a su diseño compacto, por lo general constan de una sola pieza, lamentablemente estos artefactos no se recomiendan para ser utilizados en zonas de grandes dimensiones, ya que su poder calorífico es limitado.

3.3 Sistemas eléctricos de calefacción por radiación.

La energía radiante se transfiere a través de ondas electromagnéticas, similares a la luz, para ser precisos, utiliza parte del espectro electromagnético conocido como radiación infrarroja, la radiación a diferencia de los sistemas de convección no necesita de un medio para transferir calor, puede funcionar en el vacío y es el más importante principio de transferencia de calor en el espacio exterior, la energía radiante no posee temperatura propia, solo esta se manifiesta cuando impacta un objeto que tenga masa, así la energía puede ser absorbida y convertida en calor.

El calor radiante puede hacer que las personas se sientan cómodas con bajas temperaturas del aire, debido a que este fenómeno no calienta el aire sino las superficies de un espacio incluyendo la piel humana, incrementado la temperatura radiante lo que provee una mayor comodidad térmica con una menor temperatura del aire, lo anterior hace que el calor radiante sea muy

práctico en espacios interiores, en donde los factores climáticos pueden ser controlados, si bien en una habitación calentada por aire no importa en donde estés, en una habitación calentada por una fuente radiante, la ubicación es de suma importancia, la temperatura radiante media puede ser optima pero la temperatura radiante en algunos sitios del local podría llegar a ser muy baja [21].

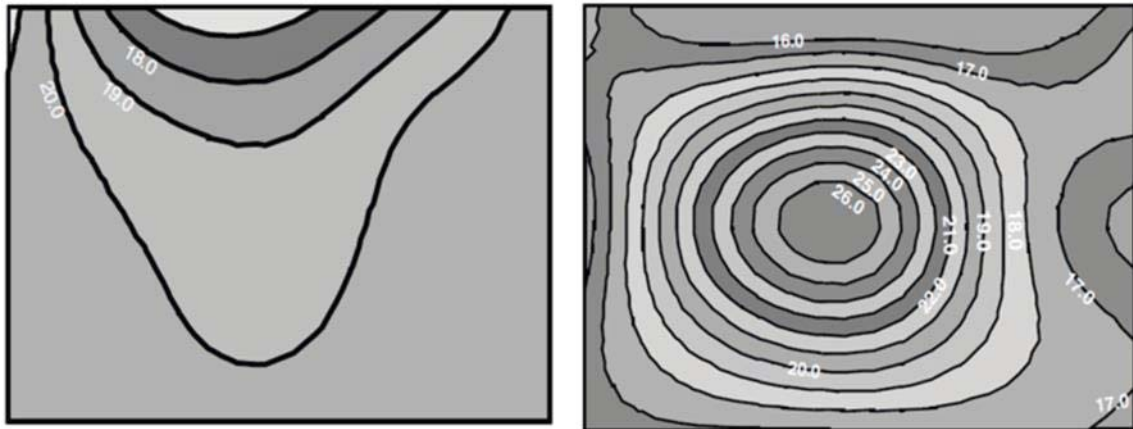


Figura 3-9: Distribución de la temperatura por convección y radiación (fuente: Manual de calentamiento y enfriamiento radiante Richard Watson)

Algo similar ocurre en el plano vertical, el aire caliente se eleva, de modo que la mayor parte del calor termina junto al techo, donde no es necesario, el calor radiante no se eleva a menos que la fuente este orientada hacia arriba, en definitiva, una fuente de calor radiante permite calentar solo la parte ocupada del espacio en lugar de todo el volumen del aire contenido en el mismo, lo cual lo convierte en un sistema altamente eficiente desde el punto de vista energético [22].

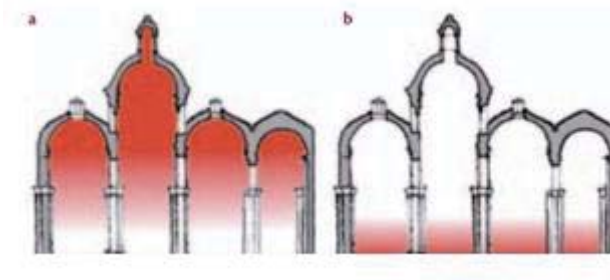


Figura 3-10: Distribución de la temperatura eje vertical por convección y radiación (fuente: Calefacción amigable con textiles)

Dentro de los equipos de calefacción eléctrica que utilizan la radiación como transferencia de calor destacan los siguientes artefactos:

3.3.1 Paneles radiantes infrarrojos de onda larga.

Los paneles radiantes calientan su vecindad, creando un microclima cálido aún dentro de un espacio frío, sin embargo, dado que los paneles de calefacción infrarroja tienen una superficie de

metal muy fina con poca masa térmica, pueden producir calor muy rápidamente, esto los convierte en artefactos ideales para habitaciones que deban calentarse solo cuando alguien entra en ella, el tiempo de respuesta de una placa radiante es de aproximadamente 5 minutos para que este irradie calor a plena potencia.



Figura 3-11: Paneles radiantes de onda larga (fuente: www.es.lowtechmagazine.com)

Es importante destacar que estos artefactos son eléctricos de calentamiento infrarrojo de onda larga, no deben confundirse con los calentadores eléctricos infrarrojos de onda corta, que producen una luz roja cuando se encuentran en funcionamiento, debido a que los primeros no producen luz visible, suelen ser conocidos como radiadores oscuros además de trabajar con temperaturas superficiales mucho menores.

Si bien una fuente radiante también calienta el aire, la porción correspondiente a la radiación, dentro del total del calor transferido puede variar entre 50% y 95%, esto se debe principalmente a la orientación de la superficie de calentamiento radiante. Las superficies calefactoras radiantes orientadas hacia abajo alcanzan el mayor grado de radiación, cercano al 95%, mientras que las orientadas lateralmente logran una transferencia de calor radiante cercana al 60-70%, por otra parte, las superficies calefactoras orientadas hacia arriba no logran transferir más de 50-60% de calor mediante la radiación [21][23].

La gran influencia de la orientación tiene todo que ver con el movimiento ascendente del aire caliente, como la convección descendiente no existe, una fuente de calor radiante orientada hacia abajo casi no calienta el aire. Por eso las superficies de calefacción radiante instaladas en el techo son más eficientes, para conseguir una cantidad de radiación similar a la otorgada por un panel de 250 Watts, un panel orientado lateralmente tiene que producir 325 watts, finalmente uno orientado hacia arriba 350 watts. Sin embargo, la gran porción de calor radiante producido por los paneles calentadores orientados hacia abajo, no significa que sea lo más apropiado instalarlos en el techo, principalmente debido a que los humanos suelen estar en posición vertical mientras están despiertos, ya sea de pie o sentados, debido a esto un panel instalado verticalmente maximiza la recepción del calor radiante. [24]

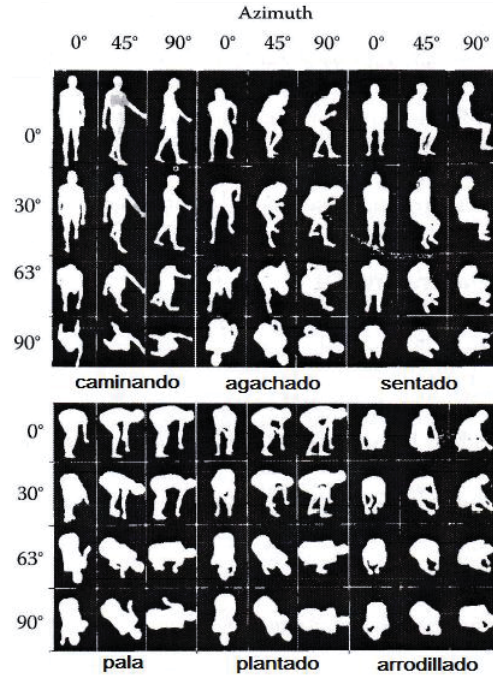


Figura 3-12: Azimuth de cuerpo humano (fuente: Ambientes térmicos humanos, los efectos del ambiente caliente, moderados y fríos en la salud humana)

Otra razón para optar por un calentador radiante orientado verticalmente es la asimetría de la temperatura radiante, el cuerpo humano puede experimentar grandes diferencias de temperatura cuando es calentado por una fuente de calor radiante local. Alguien sentado frente al fuego recibirá suficiente calor radiante de un lado de su cuerpo, mientras el otro lado pierde calor por el aire frío y las superficies del lado opuesto de la habitación. Sin embargo, la sensibilidad a la asimetría de temperatura radiante está muy influenciada por la orientación de la fuente de calor.

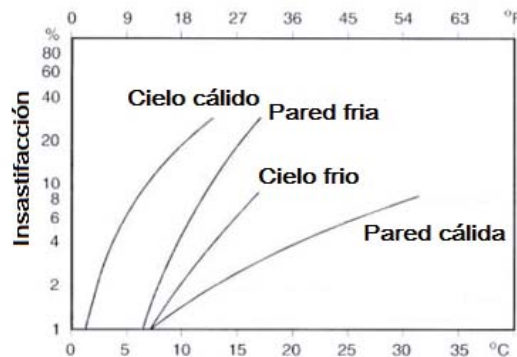


Figura 3-13: Grado de insatisfacción según ubicación del panel radiante (fuente: Ambientes térmicos humanos, los efectos del ambiente caliente, moderados y fríos en la salud humana)

Los humanos son menos sensibles a la simetría de la temperatura radiante, causada por una fuente de calor radiante verticalmente, la diferencia de temperatura radiante puede alcanzar los 35 °C antes de que 1 de cada 10 personas manifieste algún grado de incomodidad, por otra parte,

en el caso de una fuente orientada hacia abajo, bastan diferencias de al menos 5°C para que las personas lo noten, cuando esta diferencia alcanza los 15°C, el 50 % de los sujetos reportan sentirse incómodos, debido a que la cabeza es la parte del cuerpo más sensible al calor [24] [25] [26].

3.3.2 Estufa halógena.

Este tipo de calentador se distingue por el uso de elementos halógenos en lugar de bobinas eléctricas o de conductores de gas propano o butano para proporcionar una fuente de calor, estos artefactos son una excelente opción para la distribución de calor dentro de una habitación, a diferencia de los calentadores que utilizan ventiladores para descargar el aire caliente en una línea recta, de los elementos de calefacción, un calentador oscilante contribuye a difundir el aire caliente a través del espacio de forma rápida y con un mayor grado de eficiencia.



Figura 3-14: Estufas radiantes de onda corta (fuente: elaboración propia)

Si bien son calefactores de bajo costo en el mercado, junto con su durabilidad, no son precisamente los equipos más económicos operacionalmente hablando, debido a su alta demanda de energía eléctrica.

3.3.3 Piso radiante.

El suelo radiante eléctrico utiliza un elemento calefactor integrado al suelo que produce calor a baja temperatura para aumentar la temperatura del ambiente, emitiendo calor radiante desde el suelo hacia el aire y con esto lograr una sensación térmica de confort adecuada.

La principal característica de la calefacción por suelo radiante es la de irradiar calor de manera uniforme, a diferencia de la mayoría de los métodos de calefacción tradicional, esto significa que en el plano vertical de la habitación las partes superiores no se sobre calientan, lo que implica un ahorro de energía. Esta tecnología puede ser controlada a través de diversos termostatos según sean las necesidades de cada vivienda, esto se convierte una gran ventaja con respecto a los sistemas de calefacción tradicional [27].

El suelo radiante eléctrico es un tipo de calefacción que se instala bajo el pavimento, y cuyo funcionamiento está controlado por un termostato o sistema inteligente, proporciona una sensación al distribuir de forma uniforme y a baja temperatura, lo anterior es una de las propiedades de las fuentes de calor por radiación. En la figura 3-15 se puede apreciar el comportamiento de una fuente de calefacción ideal, con calefacción por suelo radiante

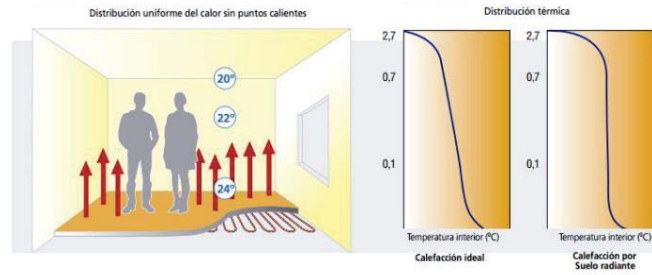


Figura 3-15: comportamiento térmico suelo radiante (fuente: suelo radiante eléctrico el calor que no se ve)

Los elementos constructivos del piso radiante son los siguientes [28]:

- **Cable calefactor:** El cable radiante es la denominación comercial aplicada a los cables calefactores que se utilizan para conformar sistemas de calefacción eléctrica integrada en los parámetros constructivos, la generación de energía calorífica del cable calefactor, que se produce en el alma metálica del conductor, se basa en el conocido “efecto Joule”, que describe la producción de calor al paso de una corriente eléctrica a través de un material conductor. Mientras que en los cables conductores normales este efecto es una fuente de pérdidas, en los cables calefactores constituye su principio de funcionamiento.



Figura 3-16: Cable calefactor (fuente: suelo radiante eléctrico el calor que no se ve)

Los elementos básicos que pueden formar parte de un cable calefactor donde la energía eléctrica se transforma en calor son los siguientes:

Conductor: Es la parte metálica de un cable calefactor donde la energía eléctrica se transforma en calor.

Aislamiento: Es el material que separa cada conductor de los otros conductores o de las partes conductoras a tierra, o cerca del potencial de tierra.

Pantalla: Es el revestimiento de hilo metálico trenzado o espirado, que rodea al conductor aislado, se emplea como conductor de puesta a tierra interconectada con un posible conductor de tierra separado.

Cubierta: Revestimiento continuo y uniforme de material orgánico, que se utiliza para proteger el conductor aislado, tanto mecánicamente como frente a otras influencias externas.

- **Termostato:** Elemento que permite controlar la temperatura ambiente, la temperatura del suelo, o ambos a la vez.



Figura 3-17: Termostato (fuente: suelo radiante eléctrico el calor que no se ve)

- **Aislante:** Se puede emplear una lámina de aislamiento por reflexión, constituido por burbujas de aire, y doble capa de aluminio en ambas caras, con tratamiento especial en la superficie, especialmente indicado para suelo radiante.



Figura 3-18: Cubierta aislante (fuente: suelo radiante eléctrico el calor que no se ve)

3.4 Selección tecnologías de calefacción.

Cada una de las tecnologías desarrolladas en el apartado anterior cumplen con sus funciones, cabe destacar la búsqueda de un sistema robusto a través del cual se logre el confort térmico, junto con el mayor grado de eficiencia posible, en esos aspectos destacan 3 sistemas de calefacción, los cuales corresponden a bomba de calor, el cual se basa en la convección como medio de transporte de calor, suelo radiante y paneles radiantes los cuales utilizan el principio de radiación como transporte de calor.

- **Sistema de calefacción por bomba de calor:** son un sistema de climatización de alta eficiencia energética, donde un agente se ocupa de compensar las cargas térmicas del espacio a acondicionar, este sistema es muy eficiente debido a que por cada kWh eléctrico consumido, aporta cerca de 3 kWh térmico.

- **Sistemas de calefacción por paneles radiantes:** se destaca por calefaccionar zonas de un hogar predeterminadas, es decir no interviene en zonas no deseadas, la eficiencia de este sistema viene dada principalmente por la ubicación del mismo.
- **Sistemas de calefacción por suelo radiante:** Este sistema de calefacción, suministra una distribución de calor rápida y segura, pudiendo configurar su funcionamiento por habitaciones, es decir este sistema tiene la virtud de ajustar los ambientes de las diferentes estancias de un hogar con mucha facilidad.

3.4.1 Potencia eléctrica instalada por sistema de calefacción.

La demanda eléctrica de los equipos se basará en las aproximaciones técnicas que lo mismos poseen, estableciendo una estimación de la potencia a plena carga necesaria para alcanzar la temperatura de confort de cada una de los tipos de viviendas presentes en la ciudad de Coyhaique.

- **Piso radiante eléctrico:** se trata del sistema más sencillo de cuantificar, debido a que la potencia máxima que esta entrega se mide en W/m^2 , los trazos de piso radiante en el mercado se pueden encontrar de $1 m^2$ hasta los $10 m^2$, dependiendo del tipo de piso radiante, la tabla resume una estimación válida al momento de calcular la demanda de energía eléctrica.

Tabla 3-1: Potencia eléctrica instalada pisos radiantes (fuente: elaboración propia)

Equipo	Casa aislada 1 piso [W]	Casa aislada 2 pisos [W]	Casa fila 1 piso [W]	Casa fila 2 pisos [W]	Casa pareada 1 piso [W]	Casa pareada 2 pisos [W]
Malla térmica A.Rak 160 [W/m^2]	10.400	13.600	8.000	7.200	10.400	9.600
Lamina calefactora Ecofilm 100 [W/m^2]	6.500	8.500	5.000	4.500	6.500	6.000
Manta calefactora Alumat 140 [W/m^2]	9.100	11.900	7.000	6.300	9.100	8.400
Caleo Heating Film 130 [W/m^2]	8.450	11.050	6.500	5.850	8.450	7.800

Desde el punto de vista de la potencia instalada, la alternativa de suelo radiante eléctrico no es tan atractiva, debido principalmente a la envergadura de la potencia que demanda para su funcionamiento, a priori, esta alternativa puede ser considerada solo para las viviendas fila de uno y dos pisos, debido a que los metros cuadrados construidos son reducidos en comparación con las demás tipologías de viviendas.

- **Paneles radiantes eléctricos:** se trata de equipos de muy bajo consumo de energía eléctrica, con alta capacidad de cobertura de calor en donde se encuentre instalada, la cantidad de equipos a utilizar depende de los metros cuadrados y el número de ambientes, lo último ya que debe existir al menos un calefactor por ambiente, con lo anterior tenemos la siguiente estimación de la demanda.

Tabla 3-2: Potencia eléctrica instalada paneles radiantes (fuente: elaboración propia)

Tipo de vivienda	Número habitaciones	Panel Pro Heating PE 700 [W]	Glass heating GD 500 [W]	Panel THHP 12060 1300 [W]	Panel BVF WG 800 800 [W]
Vivienda aislada 1 piso	5	3.500	6.000	6.500	3.200
Vivienda aislada 2 pisos	7	4.900	4.000	9.100	4.800
Vivienda fila 1 piso	4	2.800	2.500	5.200	3.200
Vivienda fila 2 pisos	5	3.500	2.500	6.500	3200
Vivienda pareada 1 piso	5	3.500	3.500	6.500	4.000
Vivienda pareada 2 pisos	5	3.500	3.000	6.500	3.200

La potencia instalada necesaria para calefaccionar una vivienda a través de los paneles radiantes es menor en comparación a la del piso radiante, si bien la ubicación es lo más importante en este tipo de tecnología, al menos debe existir un artefacto por ambiente, lo cual provoca un aumento significativo en la potencia instalada proyectada de la vivienda en cuestión.

- **Bomba de calor:** este tipo de tecnología es el más utilizado en el mundo, debido a que la bomba de calor funciona con el principio de convección de la transferencia de calor, es necesario solo una unidad central para satisfacer las necesidades térmicas de una vivienda, la siguiente tabla resume la potencia eléctrica requerida en cada topología de viviendas.

Tabla 3-3: Potencia eléctrica instalada bombas de calor (fuente: elaboración propia)

Tipo de vivienda	Split muro ecológico R-410 [W]	Split muro Cool Design [W]	Split Muro Inverter Ecológico [W]	Split muro HVAC midea CS 24H [W]	Split Muro ecológico Anwo [W]
Aislada 1 piso	3.746	2.530	2.920	2.670	2.553
Aislada 2 pisos	4.252	3.080	3.740	3.190	3.363
Fila 1 piso	2.593	1.980	2.645	2.090	2.056
Fila 2 pisos	2.399	1.805	2.100	1.920	1.946
Pareada 1 piso	3.099	2.530	2.920	2.950	2.553
Pareada 2 pisos	3.240	2.355	2.645	2.090	2.056

4 Evaluación económica.

La viabilidad económica de los sistemas eléctricos de calefacción, debe estudiarse detalladamente, debido a que en base a esto se puede vislumbrar una alternativa competitiva al uso de la leña, del punto de vista económico, si bien no existe manera de controlar el uso de la leña como combustible, existen antecedentes [28] con los cuales se puede alcanzar una directriz sobre el uso de esta, siendo más adecuada que utilizar la curva de contaminación en los días de invierno.

Primero que todo en este capítulo se evaluará las limitantes técnicas, que como veremos más adelante descartan por completo un tipo de tecnología de calefacción sugerido, para luego comparar el comportamiento de las diferentes tecnologías aplicadas por cada tipología de habitación, para así optar por el sistema óptimo en cada tipo de vivienda existente en la ciudad de Coyhaique.

4.1 Limitaciones técnicas y aspectos de relevancia.

La Norma Chilena eléctrica NCh Elec. 12/87 “Empalmes Aéreos Monofásicos”, establece las disposiciones y especificaciones generales que deben cumplir los diferentes elementos que son parte integrante de los empalmes aéreos monofásicos contenidos en esta. Esta norma se aplica y ejecuta en los empalmes aéreos en baja tensión, para suministrar energía eléctrica en 220 V, cuya capacidad nominal ni exceda de 9 kVA[29] .

Los empalmes aéreos monofásicos tendrán las características indicadas en la tabla 4-1.

Tabla 4-1: Capacidad nominal del empalme (fuente: NCh Elec 12/87)

Designación del Empalme [kVA]	Capacidad nominal máxima del interruptor automático [A]	Capacidad nominal del empalme
A – 6	25	5.5
A – 9	40	8.8

Se destaca este apartado debido a que la mayoría de las viviendas consultadas cuentan con este tipo de empalme, lo cual genera una barrera importante al momento de proyectar un sistema de calefacción basado en energía eléctrica. Por otro lado, la norma chilena de electricidad NCh Elec.

4/2003 “instalaciones de consumo en baja tensión” en su apartado 13 “Instalaciones de calefacción”, establece Las exigencias generales para los equipos, circuitos, protecciones, instalaciones con este fin, lo cual repercute económicamente en la implementación de estos sistemas [30].

4.2 Potencia instalada total.

La potencia instalada total de cada tipología de tecnología adquiere importancia, primeramente, por el costo que este representa al momento de la operación de los equipos, además de ser un parámetro técnico que nos genera una limitación inmediata debido al empalme existente en las viviendas que representan la totalidad de las casas en la ciudad de Coyhaique.

4.2.1 Potencia instalada total piso radiante eléctrico.

En la tabla 4-2, se resume la potencia instalada total utilizando piso radiante eléctrico, para los diferentes tipos de viviendas presentes en la ciudad de Coyhaique, esta potencia total se obtiene de manera muy sencilla, ya que este tipo de tecnología se basa en los metros cuadrados como parámetro al momento de ser proyectado [31] [32] [33] [34].

Tabla 4-2: Potencia instalada total piso radiante eléctrico (fuente: elaboración propia)

Piso Radiante Eléctrico	Tipo de vivienda	Metros cuadrados vivienda [m ²]	Potencia instalada [kW]
Malla térmica Arak 160 [W/m ²]	Aislada 1 piso	65	10.4
	Aislada 2 pisos	85	13.6
	Fila 1 piso	50	8
	Fila 2 pisos	45	7.2
	Pareada 1 piso	65	10.4
	Pareada 2 pisos	60	9.6
Lámina calefactora Ecofilm 100 [W/m ²]	Aislada 1 piso	65	6.5
	Aislada 2 pisos	85	8.5
	Fila 1 piso	50	5
	Fila 2 pisos	45	4.5
	Pareada 1 piso	65	6.5
	Pareada 2 pisos	60	6
Manta calefactora Alumet 140 [W/m ²]	Aislada 1 piso	65	9.1
	Aislada 2 pisos	85	11.9
	Fila 1 piso	50	7
	Fila 2 pisos	45	6.3
	Pareada 1 piso	65	9.1
	Pareada 2 pisos	60	8.4
Caleo Heating Film 130 [W/m ²]	Aislada 1 piso	65	8.45
	Aislada 2 pisos	85	11.05

	Fila 1 piso	50	6.5
Caleo Heating Film 130 [W/m ²]	Fila 2 pisos	45	5.85
	Pareada 1 piso	65	8.45
	Pareada 2 pisos	60	7.8

La potencia instalada desarrollada por este tipo de tecnología en algunos casos, supera la establecida en el párrafo anterior, en los casos que esta no supera dicha indicación, esta no es compatible ya que no da lugar a la instalación de alumbrado, siendo esta, la que se encuentra presente en todas las viviendas domiciliarias, en resumidas cuentas, el piso radiante eléctrico no cuenta con las prestaciones necesarias para ser una alternativa viable para este proyecto.

4.2.2 Potencia instalada total paneles radiantes eléctricos de onda larga.

En la tabla 4-3, se resume la potencia instalada total utilizando paneles radiantes eléctricos de onda larga, para los diferentes tipos de viviendas, esta potencia total se obtiene en base al número de habitaciones junto con la capacidad térmica en metros cuadrados de cada tipo de panel radiante de onda larga [35] [36] [37] [38].

Tabla 4-3: Potencia instalada total paneles radiantes eléctricos de onda larga (fuente: elaboración propia)

Piso radiante eléctrico	Tipo de vivienda	Número habitaciones	Potencia instalada [kW]
Panel Pro Heating PE [700 W]	Aislada 1 piso	5	3.5
	Aislada 2 pisos	7	4.9
	Fila 1 piso	4	2.8
	Fila 2 pisos	5	3.5
	Pareada 1 piso	5	3.5
	Pareada 2 pisos	5	3.5
Panel Glass Heating GD [500 W]	Aislada 1 piso	5	6
	Aislada 2 pisos	7	4
	Fila 1 piso	4	2.5
	Fila 2 pisos	5	2.5
	Pareada 1 piso	5	3.5
	Pareada 2 pisos	5	3
Panel TermoIQ THHP 12060 [1300 W]	Aislada 1 piso	5	6.5
	Aislada 2 pisos	7	9.1
	Fila 1 piso	4	5.2
	Fila 2 pisos	5	6.5
	Pareada 1 piso	5	6.5
	Pareada 2 pisos	5	6.5
	Aislada 1 piso	5	3.2

Panel BVF 800 [800 W]	Aislada 2 pisos	7	4.8
	Fila 1 piso	4	3.2
	Fila 2 pisos	5	3.2
	Pareada 1 piso	5	4
	Pareada 2 pisos	5	3.2

Los paneles radiantes eléctricos de onda larga, presentan un alto grado de compatibilidad con las instalaciones de alumbrado presentes en las viviendas, debido a su baja potencia instalada, dentro esta categoría destaca la fácil controlabilidad que existe ya que individualiza cada habitación.

4.2.3 Potencia instalada total bomba de calor.

En la tabla 4-4, se resume la potencia instalada total utilizando bombas de calor, para los diferentes tipos de viviendas, esta potencia total se obtiene de manera más compleja ya que se basa la unidad térmica de energía BTU, la cual presenta una dinámica diferenciada con respecto al funcionamiento como bomba de frío o bomba de calor, para simplificar esta dinámica se utiliza las características técnicas en modo bomba de calor, utilizando las aproximaciones del fabricante sobre metros cuadrados[39][40][41][42][43].

Tabla 4-4: Potencia instalada bomba de calor (fuente: Elaboración propia)

Bomba de calor	Tipo de vivienda	Potencia térmica [BTU]	Potencia instalada [kW]
Split muro ecológico R-410	Aislada 1 piso	42000	3.746
	Aislada 2 pisos	47000	4.252
	Fila 1 piso	30300	2.593
	Fila 2 pisos	27000	2.399
	Pareada 1 piso	36000	3.099
	Pareada 2 pisos	36000	3.24
Split muro cool Design	Aislada 1 piso	30000	2.53
	Aislada 2 pisos	36000	3.08
	Fila 1 piso	24000	1.98
	Fila 2 pisos	21000	1.805
	Pareada 1 piso	30000	2.53
	Pareada 2 pisos	27000	2.355
Split muro Inverter Ecológico	Aislada 1 piso	36000	2.92
	Aislada 2 pisos	48000	3.74
	Fila 1 piso	33000	2.645
	Fila 2 pisos	24000	2.1
	Pareada 1 piso	36000	2.92

	Pareada 2 pisos	33000	2.645
	Aislada 1 piso	27000	2.67
	Aislada 2 pisos	36000	3.19
Split muro HVAC midea CS 24H	Fila 1 piso	24000	2.2
	Fila 2 pisos	21000	1.92
	Pareada 1 piso	30000	2.95
	Pareada 2 pisos	24000	2.2
	Aislada 1 piso	30000	2.593
	Aislada 2 pisos	36000	3.24
Split muro ecológico ANWO	Fila 1 piso	24000	1.946
	Fila 2 pisos	24000	1.946
Split muro ecológico ANWO	Pareada 1 piso	30000	2.593
	Pareada 2 pisos	24000	1.946

Las bombas de calor desde el punto de vista de la potencia instalada es la mejor alternativa, debido a su alta conversión de energía eléctrica a energía térmica obteniendo así en promedio los valores más bajos de potencia instalada de las tecnologías en comparación.

4.2.4 Comparativa potencia instalada total por tipo de vivienda.

La comparativa más adecuada entre los distintos tipos de tecnología es en base al tipo de vivienda, para así visualizar desde el punto de vista de la potencia instalada, el sistema de calefacción eléctrica más adecuado, las tablas desde 4-5, hasta la tabla 4-10 contienen comparativas en base al tipo de vivienda y el equipo analizado.

4.2.4.1 Potencia instalada total casa aislada 1 piso.

Tabla 4-5: Potencia instalada total casa aislada 1 piso (fuente: elaboración propia)

Tipo de vivienda	Tipo de tecnología	Equipo	Potencia instalada [kW]
Casa aislada 1 piso	Piso radiante eléctrico	Malla térmica Arak	10.4
		Lámina calefactora Ecofilm	6.5
		Manta calefactora Alumat	9.1
		Caleo Heating film	8.45
	Panel eléctrico infrarrojo de onda larga	Panel Pro Heating PE	3.5
		Panel Glass Heating GD	6
		Panel TermoIQ THHP 12060	6.5
		Panel BVF 800	3.2
	Bomba de calor	Split muro ecológico R-410	3.746
		Split muro cool Design	2.53

Casa aislada 1 piso	Split muro Inverter Ecológico	2.92
	Split muro HVAC midea CS	2.67
	Split muro Ecológico ANWO	2.593

Siendo el principal aspecto la potencia instalada, las bombas de calor en todas sus variedades planteadas, manifiestan una menor potencia instalada total, por otro lado, como fue mencionado el piso radiante eléctrico no es viable.

4.2.4.2 Potencia instalada total casa aislada 2 pisos.

Tabla 4-6: Potencia instalada total casa aislada 2 pisos (fuente: Elaboración propia)

Tipo de vivienda	Tipo de tecnología	Equipo	Potencia instalada [kW]
Casa aislada 2 pisos	Piso radiante eléctrico	Malla térmica Arak	13.6
		Lámina calefactora Ecofilm	8.5
		Manta calefactora Alumat	11.9
		Caleo Heating film	11.05
	Panel eléctrico infrarrojo de onda larga	Panel Pro Heating PE	4.9
		Panel Glass Heating GD	4
		Panel TermoIQ THHP 12060	9.1
		Panel BVF 800	4.8
	Bomba de calor	Split muro ecológico R-410	4.252
		Split muro cool Design	3.08
		Split muro Inverter Ecológico	3.74
		Split muro HVAC midea CS	3.19
		Split muro Ecológico ANWO	3.24

Para este tipo de vivienda, se mantiene la tendencia de las bombas de calor como la mejor alternativa, cabe destacar que en algunos casos los paneles eléctricos infrarrojos de onda larga alcanzan niveles muy cercanos a los de las bombas de calor.

4.2.4.3 Potencia instalada total casa fila 1 piso.

Tabla 4-7: Potencia instalada total casa fila 1 piso (fuente: Elaboración propia)

Tipo de vivienda	Tipo de tecnología	Equipo	Potencia instalada [kW]	
Casa fila 1 piso	Piso radiante eléctrico	Malla térmica Arak	8	
		Lámina calefactora Ecofilm	5	
		Manta calefactora Alumat	7	
		Caleo Heating film	6.5	
	Panel eléctrico infrarrojo de onda larga	Panel Pro Heating PE	2.8	
		Panel Glass Heating GD	2.5	
		Panel TermoIQ THHP 12060	5.2	
		Panel BVF 800	3.2	
	Casa fila 1 piso	Bomba de calor	Split muro ecológico R-410	2.593
			Split muro cool Design	1.98
Split muro Inverter Ecológico			2.645	
Split muro HVAC midea CS 24H			2.2	
Split muro Ecológico ANWO			1.946	

En las casas fila de 1 piso se destaca la potencia instalada total de los paneles eléctricos infrarrojos de onda larga, que en algunos casos se igualan a la potencia instalada total de las diferentes bombas de calor.

4.2.4.4 Potencia instalada total casa fila 2 pisos.

Tabla 4-8: Potencia instalada total casa fila 2 pisos (fuente: Elaboración propia)

Tipo de vivienda	Tipo de tecnología	Equipo	Potencia instalada [kW]
Casa fila 2 pisos	Piso radiante eléctrico	Malla térmica Arak	7.2
		Lámina calefactora Ecofilm	4.5
		Manta calefactora Alumat	6.3
		Caleo Heating film	5.85
	Panel eléctrico infrarrojo de onda larga	Panel Pro Heating PE	3.5
		Panel Glass Heating GD	2.5
		Panel TermoIQ THHP 12060	6.5
		Panel BVF 800	3.2
	Bomba de calor	Split muro ecológico R-410	2.399

Casa fila 2 pisos	Bomba de calor	Split muro cool Design	1.805
		Split muro Inverter Ecológico	2.1
		Split muro HVAC midea CS 24H	1.92
		Split muro Ecológico ANWO	1.946

Para las viviendas fila de 2 pisos, al igual que en los casos anteriores los equipos basados en la bomba de calor alcanzan una mejor adaptación, cabe mencionar que la lámina calefactora ecofilm puede ser compatible, a pesar de poseer un alto impacto sobre la instalación eléctrica de la vivienda.

4.2.4.5 Potencia instalada total casa pareada 1 piso.

Tabla 4-9: Potencia instalada total casa pareada 1 piso (fuente: Elaboración propia)

Tipo de vivienda	Tipo de tecnología	Equipo	Potencia instalada [kW]
Casa pareada 1 piso	Piso radiante eléctrico	Malla térmica Arak	10.4
		Lámina calefactora Ecofilm	6.5
		Manta calefactora Alummat	9.1
		Caleo Heating film	8.45
	Panel eléctrico infrarrojo de onda larga	Panel Pro Heating PE	3.5
		Panel Glass Heating GD	3.5
		Panel TermoIQ THHP 12060	6.5
		Panel BVF 800	4
	Bomba de calor	Split muro ecológico R-410	3.099
		Split muro cool Design	2.53
		Split muro Inverter Ecológico	2.92
		Split muro HVAC midea CS 24	2.95
		Split muro Ecológico ANWO	2.593

En estas viviendas, la bomba de calor logra un menor impacto en cuanto a potencia instalada.

4.2.4.6 Potencia instalada total casa pareada 2 pisos.

Tabla 4-10: Potencia instalada total casa pareada 2 pisos (fuente: Elaboración propia)

Tipo de vivienda	Tipo de tecnología	Equipo	Potencia instalada [kW]
Casa pareada 2 pisos	Piso radiante eléctrico	Malla térmica Arak	9.6
		Lámina calefactora Ecofilm	6
		Manta calefactora Alumat	8.4
		Caleo Heating film	7.8
	Panel eléctrico infrarrojo de onda larga	Panel Pro Heating PE	3.5
		Panel Glass Heating GD	3
		Panel TermoIQ THHP 12060	6.5
		Panel BVF 800	3.2
	Bomba de calor	Split muro ecológico R-410	3.24
		Split muro cool Design	2.355
Split muro Inverter Ecológico		2.645	
Split muro HVAC midea CS		2.2	
Split muro Ecológico ANWO		1.946	

Para las viviendas pareadas de 2 pisos se mantiene la tendencia sobre las bombas de calor como la opción menos invasiva tomando como arista la potencia instalada. Desde el punto de vista de la potencia instalada, en cada una de los tipos de viviendas existentes en la ciudad de Coyhaique, los equipos que se basan en la bomba de calor como principio de funcionamiento logran una mayor adaptabilidad debido a la baja potencia nominal de los artefactos, cabe destacar que en la mayoría de los casos los paneles eléctricos infrarrojos de onda larga logran un estado similar al de las bombas de calor.

4.3 Inversión inicial.

Un aspecto preponderante al momento de evaluar el sistema más adecuado a implementar es el costo inicial que se debe asumir al escoger una alternativa, dentro del abanico de opciones existentes. Dado que las tecnologías de piso radiante eléctrico la potencia a instalar sobrepasa los niveles aceptados por la norma, se descarta de manera inmediata de los siguientes procesos de selección.

La inversión inicial se basa en dos aspectos, los cuales son costo de compra y envío, estos en base a cotizaciones y portales web de las empresas respectivas, junto con la mano de obra la cual corresponde a personal autorizado perteneciente a la zona, el hecho de incluir mano de obra calificada foránea repercute en un aumento importante de este ítem.

4.3.1 Inversión inicial paneles eléctricos infrarrojos de onda larga.

La tabla 4-11, resume los costos asociados a la implementación del sistema de calefacción en base a paneles radiantes infrarrojos de onda larga, aplicado a diferentes aparatos y marcas, sobre los tipos de viviendas existentes en la zona.

Tabla 4-11: Inversión inicial paneles eléctricos infrarrojos de onda larga (fuente: Elaboración propia)

Paneles radiantes eléctricos	Tipo de vivienda	Número equipos	Precio unitario equipo [\$ CLP]	Mano de obra [\$ CLP]	Inversión inicial total [\$ CLP]
Panel Pro Heating PE [700 W]	Aislada 1 piso	5	192.520	175.000	1.137.600
	Aislada 2 pisos	7	192.520	245.000	1.592.640
	Fila 1 piso	4	192.520	140.000	910.080
	Fila 2 pisos	5	192.520	175.000	1.137.600
	Pareada 1 piso	5	192.520	175.000	1.137.600
	Pareada 2 pisos	5	192.520	175.000	1.137.600
Panel Glass Heating GD [500 W]	Aislada 1 piso	6	224.491	210.000	1.556.946
	Aislada 2 pisos	8	224.491	280.000	2.075.928
	Fila 1 piso	5	224.491	175.000	1.297.455
	Fila 2 pisos	5	224.491	175.000	1.297.455
	Pareada 1 piso	7	224.491	245.000	1.816.437
	Pareada 2 pisos	6	224.491	210.000	1.556.946
Panel TermoIQ THHP 12060 [1300 W]	Aislada 1 piso	5	426.047	175.000	2.305.235
	Aislada 2 pisos	7	426.047	245.000	3.227.329
	Fila 1 piso	4	426.047	140.000	1.844.188
	Fila 2 pisos	5	426.047	175.000	2.305.235
	Pareada 1 piso	5	426.047	175.000	2.305.235
	Pareada 2 pisos	5	426.047	175.000	2.305.235
Panel BVF 800 [800 W]	Aislada 1 piso	4	270.130	140.000	1.220.520
	Aislada 2 pisos	6	270.130	210.000	1.830.780
	Fila 1 piso	4	270.130	140.000	1.220.520
	Fila 2 pisos	4	270.130	140.000	1.220.520
	Pareada 1 piso	5	270.130	175.000	1.525.650
	Pareada 2 pisos	4	270.130	140.000	1.220.520

Los equipos que presentan un menor costo sobre la adquisición de los mismos, en todos los tipos de viviendas proyectadas, es el panel Pro Heating PE de 700 W, por otra parte, sobre la mano de obra el costo de instalación de los mismos corresponde a un precio único no importando la marca y modelo de los mismos, lo anterior por la fácil implementación de este tipo de artefactos.

4.3.2 Inversión inicial bombas de calor.

La tabla 4-12, resume los costos de adquisición y mano de obra los cuales conforman la inversión inicial para la implantación de las bombas de calor como sistema de calefacción en base a energía eléctrica como combustible primario.

Tabla 4-12: Inversión inicial bombas de calor (fuente: Elaboración propia)

Bombas de calor	Tipo de vivienda	Número equipos	Precio unitario equipo [\$ CLP]	Mano de obra [\$ CLP]	Inversión inicial total [\$ CLP]
Split muro ecológico R-410	Aislada 1 piso	1	560.000	418.000	1.698.000
		1	720.000		
	Aislada 2 pisos	2	720.000	418.000	1.858.000
		1	560.000		
	Fila 1 piso	1	380.000	369.000	1.309.000
		1	560.000		
	Fila 2 pisos	1	330.000	369.000	1.259.000
		1	720.000		
	Pareada 1 piso	1	380.000	369.000	1.469.000
		2	560.000		
Split muro cool Design	Aislada 1 piso	1	666.000	369.000	1.518.000
		1	483.000		
	Aislada 2 pisos	1	666.000	418.000	1.750.000
		1	666.000		
	Fila 1 piso	2	483.000	320.000	1.286.000
		1	483.000		
	Fila 2 pisos	1	443.000	320.000	1.246.000
		1	666.000		
	Pareada 1 piso	1	483.000	369.000	1.518.000
		1	666.000		
Split muro ecológico	Aislada 1 piso	1	870.000	369.000	1.749.000
		1	510.000		
	Aislada 2 pisos	2	870.000	418.000	2.158.000
		1	870.000		
	Fila 1 piso	1	460.000	369.000	1.699.000
		2	510.000		
	Fila 2 pisos	2	510.000	320.000	1.340.000
		1	870.000		
	Pareada 1 piso	1	510.000	369.000	1.749.000
		1	510.000		

	Pareada 2 pisos	1	870.000	369.000	1.699.000
		1	460.000		
Split muro HVAC midea CS 24H	Aislada 1 piso	1	545.000	369.000	1.266.000
		1	352.000		
	Aislada 2 pisos	1	612.000	369.000	2.659.000
		1	412.000		
	Fila 1 piso	2	412.000	320.000	1.114.000
	Fila 2 pisos	1	412.000	320.000	1.084.000
		1	352.000		
	Pareada 1 piso	1	545.000	320.000	1.277.000
		1	412.000		
	Pareada 2 pisos	2	412.000	320.000	1.144.000
Split muro ecológico ANWO	Aislada 1 piso	1	788.351	369.000	1.656.769
		1	499.418		
	Aislada 2 pisos	2	788.351	418.000	1.994.702
		2	499.418		
	Fila 1 piso	2	499.418	320.000	1.318.836
	Fila 2 pisos	2	499.418	320.000	1.318.836
		1	788.351		
	Pareada 1 piso	1	788.351	369.000	1.656.769
		1	499.418		
	Pareada 2 pisos	2	499.418	320.000	1.318.836

Dentro de esta categoría destaca el split muro HVAC midea CS 24H, el cual presenta el menor costo en todos los tipos de viviendas supuestas, por otro parte, con respecto a la mano de obra sobre estos equipos, se distinguen 2 tramos diferenciados los cuales comprenden un valor para los equipos de 9.000 BTU y 12.000 BTU, estos presentan un mismo valor de instalación y el segundo tramo los equipos de 18.000 BTU y 24.000 BTU, los cuales presentan un valor mayor al de los anteriormente mencionados.

4.3.3 Resumen inversión inicial por tipo de vivienda.

La forma más adecuada de comparar los distintos tipos de tecnología es en base al tipo de vivienda, para así visualizar desde la arista de la inversión inicial, el sistema de calefacción eléctrica de menor costo, las tablas desde 4-13, hasta la tabla 4-18 comparan los costos en base al tipo de vivienda y el equipo analizado.

4.3.3.1 Inversión inicial casa aislada 1 piso.

Tabla 4-13: Inversión casa aislada 1 piso (fuente: Elaboración propia)

Tipo de vivienda	Tipo de tecnología	Equipo	Inversión inicial [\$CLP]
Casa aislada 1 piso	Panel eléctrico infrarrojo de onda larga	Panel Pro Heating PE	1.137.600
		Panel Glass Heating GD	1.556.946
		Panel TermoIQ THHP 12060	2.305.235
		Panel BVF 800	1.220.520
	Bomba de calor	Split muro ecológico R-410	1.698.000
		Split muro cool Design	1.518.000
		Split muro Inverter Ecológico	1.749.000
		Split muro HVAC midea CS 24	1.266.000
		Split muro Ecológico ANWO	1.656.769

Para las viviendas aisladas de 1 piso, ambos tipos de tecnología presentan costos similares de adquisición e implementación, aun así, los paneles radiantes conservan un menor costo en cuanto a inversión inicial se refiere.

4.3.3.2 Inversión inicial casa aislada 2 pisos.

Tabla 4-14: Inversión inicial casa aislada 2 pisos (fuente: Elaboración propia)

Tipo de vivienda	Tipo de tecnología	Equipo	Inversión inicial [\$CLP]
Casa aislada 2 pisos	Panel eléctrico infrarrojo de onda larga	Panel Pro Heating PE	1.592.640
		Panel Glass Heating GD	2.075.928
		Panel TermoIQ THHP 12060	3.227.329
		Panel BVF 800	1.830.780
	Bomba de calor	Split muro ecológico R-410	1.858.000
		Split muro cool Design	1.750.000
		Split muro Inverter Ecológico	2.158.000
		Split muro HVAC midea CS 24	2.659.000
		Split muro Ecológico ANWO	1.994.702

Si bien para este tipo de vivienda los paneles radiantes manifiestan un costo menor en algunos casos, presentan además el costo más elevado, mientras que las bombas de calor presentan variaciones menores entre las mismas en cuanto al costo de las mismas.

4.3.3.3 Inversión inicial casa fila 1 piso.

Tabla 4-15: Inversión inicial casa fila 1 piso (fuente: Elaboración propia)

Tipo de vivienda	Tipo de tecnología	Equipo	Inversión inicial [\$CLP]
Casa fila 1 piso	Panel eléctrico infrarrojo de onda larga	Panel Pro Heating PE	910.080
		Panel Glass Heating GD	1.297.455
		Panel TermoIQ THHP 12060	1.844.188
		Panel BVF 800	1.220.520
	Bomba de calor	Split muro ecológico R-410	1.309.000
		Split muro cool Design	1.286.000
		Split muro Inverter Ecológico	1.699.000
		Split muro HVAC midea CS 24	1.144.000
		Split muro Ecológico ANWO	1.318.836

Como es de esperar la tendencia se mantiene como en caso anteriores, cabe destacar que este tipo de vivienda es la de menor costo de implementación, debido a que se trata de una casa muy compacta.

4.3.3.4 Inversión inicial casa fila 2 pisos.

Tabla 4-16: Inversión inicial casa fila 2 pisos (fuente: Elaboración propia)

Tipo de vivienda	Tipo de tecnología	Equipo	Inversión inicial [\$CLP]
Casa fila 2 pisos	Panel eléctrico infrarrojo de onda larga	Panel Pro Heating PE	1.137.600
		Panel Glass Heating GD	1.297.455
		Panel TermoIQ THHP 12060	2.305.235
		Panel BVF 800	1.220.520
	Bomba de calor	Split muro ecológico R-410	1.259.000
		Split muro cool Design	1.246.000
		Split muro Inverter Ecológico	1.340.000
		Split muro HVAC midea CS 24	1.084.000
		Split muro Ecológico ANWO	1.318.836

Para este tipo de vivienda, a diferencia de los casos anteriores los sistemas basados en bomba de calor, registran costos menores al momento de implementarlos.

4.3.3.5 Inversión inicial casa pareada 1 piso.

Tabla 4-17: Inversión inicial casa pareada 1 piso (fuente. Elaboración propia)

Tipo de vivienda	Tipo de tecnología	Equipo	Inversión inicial [\$CLP]
Casa pareada 1 piso	Panel eléctrico infrarrojo de onda larga	Panel Pro Heating PE	1.137.600
		Panel Glass Heating GD	1.816.437
		Panel TermoIQ THHP 12060	2.305.235
		Panel BVF 800	1.525.650
	Bomba de calor	Split muro ecológico R-410	1.469.000
		Split muro cool Design	1.518.000
		Split muro Inverter Ecológico	1.749.000
		Split muro HVAC midea CS 24	1.277.000
		Split muro Ecológico ANWO	1.656.769

Las viviendas pareadas de 1 piso, presentan una inversión inicial menor utilizando paneles eléctricos infrarrojos de onda larga como sistemas de calefacción.

4.3.3.6 Inversión inicial casa pareada 2 pisos.

Tabla 4-18: Inversión inicial casa pareada 2 pisos (fuente: elaboración propia)

Tipo de vivienda	Tipo de tecnología	Equipo	Inversión inicial [\$CLP]
Casa pareada 2 pisos	Panel eléctrico infrarrojo de onda larga	Panel Pro Heating PE	1.137.600
		Panel Glass Heating GD	1.556.946
		Panel TermoIQ THHP 12060	2.305.235
		Panel BVF 800	1.220.520
	Bomba de calor	Split muro ecológico R-410	1.538.000
		Split muro cool Design	1.538.000
		Split muro Inverter Ecológico	1.478.000
		Split muro HVAC midea CS 24	1.699.000
		Split muro Ecológico ANWO	1.318.836

Finalmente, en las casas pareadas de 2 pisos no existen gran diferencia de valores en los distintos tipos de tecnologías propuestos, claro está que lo paneles presentan una leve ventaja en este aspecto.

Si bien la inversión inicial de los sistemas a implementar, son importantes al momento de seleccionar una de las alternativas propuestas, no existe una tendencia importante con respecto a esta arista, ya que no se presentan diferencias abismantes entre ambos tipos de tecnologías.

4.4 Consumo de energía al día.

La arista más importante de todo nuevo sistema a implementar es sin dudas, los costos operacionales, el consumo de energía diario debe tratarse de manera minuciosa para así alcanzar un ajuste lo más cercano a la realidad, con el fin de demostrar la competencia de los nuevos sistemas de calefacción eléctrica y por ende ser una alternativa viable en desmedro del uso de la leña.

Si bien en una primera instancia los periodos de utilización de los sistemas de calefacción en base a electricidad coincidirían con los niveles de contaminación del aire en los periodos de 24 horas, con el fin de disminuir los mismos de manera directa, esto no representa en su totalidad los tiempos de utilización de cada habitación en cada tipo de vivienda presente en la ciudad de Coyhaique.

4.4.1 Consumo de energía al día panel radiante eléctrico infrarrojo.

Las bases para la aproximación de las horas de utilización se desprenden de encuestas realizadas en la región durante el mes de diciembre de 2015, en la cual se caracteriza el tiempo de encendido y apagado de las estufas a leña utilizadas en la zona. Junto con la utilización de las diferentes dependencias del hogar, con aquello se consigue una aproximación adecuada [44].

Desde las tablas 4-19 hasta la 4-22 se describen las horas de calefacción por habitación, para los distintos tipos de viviendas presentes en la ciudad de Coyhaique, además de la energía utilizada en un día de invierno promedio, lo anterior con el objeto de estimar el costo diario por conceptos de calefacción utilizando este tipo de tecnología.

4.4.1.1 Consumo energía día panel Pro Heating PE 700 W.

Tabla 4-19: Consumo energía día Panel Pro Heating PE (fuente: Elaboración propia)

Paneles eléctricos	Tipo de vivienda	Habitación	Horas estimadas de uso	Consumo energía por habitación [kWh]	Consumo energía día [kWh]
Panel Pro Heating PE 700 W	Aislada 1 piso	Living comedor	15	10.5	22.4
		Baño	3	2.1	
		Cocina	4	2.8	
		Habitación principal	5	3.5	
		Habitación 1	5	3.5	
	Aislada 2 pisos	Comedor	10	7	28.7
		Living	10	7	

Panel Pro Heating PE 700 W	Aislada 2 pisos	Baño	4	2.8	17.5
		Cocina	4	2.8	
		Habitación principal	5	3.5	
		Habitación 1	5	3.5	
		Habitación 2	3	2.1	
	Fila 1 piso	Living Comedor	12	8.4	
		Cocina	5	3.5	
		Baño	3	2.1	
		Habitación principal	5	3.5	
	Fila 2 pisos	Living Comedor	15	10.5	
		Baño	3	2.1	
		Cocina	8	5.6	
		Habitación principal	5	3.5	
		Habitación 1	5	3.5	
	Pareada 1 piso	Living Comedor	15	10.5	
		Baño	3	2.1	
		Cocina	8	5.6	
		Habitación Principal	5	3.5	
		Habitación 1	5	3.5	
	Pareada 2 pisos	Living Comedor	15	10.5	
		Baño	3	2.1	
		Cocina	8	5.6	
		Habitación principal	5	3.5	
		Habitación 1	5	3.5	

En la tabla se observa el consumo de energía de los paneles Pro Heating PE de 700 W, los cuales describen un comportamiento proporcional a la cantidad de metros cuadrados de los diferentes tipos de viviendas.

4.4.1.2 Consumo energía día panel glass Heatig GD 500 W.

Tabla 4-20: Consumo energía día panel radiante Glass Heating GD (fuente: Elaboración propia)

Paneles eléctricos	Tipo de vivienda	Habitación	Horas estimas de uso	Consumo energía por habitación [kWh]	Consumo energía día [kWh]
Glass Heating PE 500 W	Aislada 1 piso	Living comedor	15	7.5	18
		Baño	3	1.5	
		Cocina	4	4	

Panel Glass Heating PE 500 W	Aislada 1 piso	Habitación principal	5	2.5	
		Habitación 1	5	2.5	
	Aislada 2 pisos	Comedor	10	5	20.5
		Living	10	5	
		Baño	4	2	
		Cocina	4	2	
		Habitación principal	5	2.5	
		Habitación 1	5	2.5	
		Habitación 2	3	1.5	
	Fila 1 piso	Living Comedor	12	7	15
		Cocina	5	2.5	
		Baño	3	1.5	
		Habitación principal	5	4	
	Fila 2 pisos	Living Comedor	15	7.5	18
		Baño	3	1.5	
		Cocina	8	4	
		Habitación principal	5	3	
		Habitación 1	5	2.5	
	Pareada 1 piso	Living Comedor	15	7.5	18
		Baño	3	1.5	
		Cocina	8	4	
		Habitación Principal	5	2.5	
		Habitación 1	5	2.5	
	Pareada 2 pisos	Living Comedor	15	7.5	18
		Baño	3	1.5	
		Cocina	8	4	
		Habitación principal	5	2.5	
		Habitación 1	5	2.5	

Los paneles Glass Heating involucran una menor cantidad de energía para lograr calefaccionar una vivienda durante los días de invierno.

4.4.1.3 Consumo energía día panel TermoIQ THHP 1300 W.

Tabla 4-21: Consumo energía día panel TermoIQ (fuente: Elaboración propia)

Paneles eléctricos	Tipo de vivienda	Habitación	Horas estimas de uso	Consumo energía por habitación [kWh]	Consumo energía día [kWh]
Panel TermoIQ THHP 1300W	Aislada 1 piso	Living comedor	15	19.5	46.8
		Baño	3	3.9	
		Cocina	4	10.4	
		Habitación principal	5	6.5	
		Habitación 1	5	6.5	
	Aislada 2 pisos	Comedor	10	13	53.3
		Living	10	13	
		Baño	4	5.2	
		Cocina	4	5.2	
		Habitación principal	5	6.5	
		Habitación 1	5	6.5	
		Habitación 2	3	3.9	
	Fila 1 piso	Living Comedor	12	18.2	39
		Cocina	5	6.5	
		Baño	3	3.9	
		Habitación principal	5	10.4	
	Fila 2 pisos	Living Comedor	15	19.5	46.8
		Baño	3	3.9	
		Cocina	8	10.4	
		Habitación principal	5	6.5	
		Habitación 1	5	6.5	
	Pareada 1 piso	Living Comedor	15	19.5	46.8
		Baño	3	3.9	
		Cocina	8	10.4	
		Habitación Principal	5	6.5	
		Habitación 1	5	6.5	
	Pareada 2 pisos	Living Comedor	15	19.5	46.8
		Baño	3	3.9	
		Cocina	8	10.4	
		Habitación principal	5	6.5	
		Habitación 1	5	6.5	

Dentro de esta tecnología de calefacción este tipo de panel radiante infrarrojo de onda larga presenta los mayores costos asociados, mayor potencia instalada y finalmente un mayor consumo de energía día.

4.4.1.4 Consumo energía día Panel BVF 800.

Tabla 4-22: Consumo energía día panel BVF 800 (fuente: Elaboración propia)

Paneles eléctricos	Tipo de vivienda	Habitación	Horas estimas de uso	Consumo energía por habitación [kWh]	Consumo energía día [kWh]
Panel BVF 800 800 W	Aislada 1 piso	Living comedor	15	12	28.8
		Baño	3	2.4	
		Cocina	4	6.4	
		Habitación principal	5	4	
		Habitación 1	5	4	
	Aislada 2 pisos	Comedor	10	8	32.8
		Living	10	8	
		Baño	4	3.2	
		Cocina	4	3.2	
		Habitación principal	5	4	
		Habitación 1	5	4	
		Habitación 2	3	2.4	
	Fila 1 piso	Living Comedor	12	11.2	24
		Cocina	5	4	
		Baño	3	2.4	
		Habitación principal	5	6.4	
	Fila 2 pisos	Living Comedor	15	12	28.8
		Baño	3	2.4	
		Cocina	8	6.4	
		Habitación principal	5	4	
		Habitación 1	5	4	
	Pareada 1 piso	Living Comedor	15	12	28.8
		Baño	3	2.4	
		Cocina	8	6.4	
		Habitación Principal	5	4	
		Habitación 1	5	4	
	Pareada 2 pisos	Living Comedor	15	12	28.8
		Baño	3	2.4	

Panel BVF 800 800 W	Pareada 2 pisos	Cocina	8	6.4
		Habitación principal	5	4
		Habitación 1	5	4

Los paneles radiantes BVF 800, requieren de un mayor nivel de energía para lograr una temperatura confort de las viviendas tipo, en comparación a los paneles Pro Heating y los paneles Glass Heating.

4.4.2 Consumo de energía al día bomba de calor.

Este tipo de tecnología posee un grado mayor de complejidad al momento de obtener una aproximación de la energía necesaria para alcanzar una temperatura de confort, a diferencia de los paneles radiantes los cuales poseen la virtud de ser distribuidos en los diferentes espacios de un hogar, la bomba de calor no posee tal propiedad, con lo anterior se dispondrán en base a una agrupación de espacios que son contiguos y de mayor preponderancia [29].

Desde la tabla 4-23 a la 4-27 contienen las horas de utilización de los distintos grupos de espacios definidos, con el fin de obtener la demanda de energía día en invierno, para luego determinar el costo asociado a calefacción de la vivienda en un día de invierno

4.4.2.1 Consumo energía día split muro ecológico R-410.

Tabla 4-23: Consumo energía día split muro ecológico R-410 (fuente: elaboración propia)

Bomba de calor	Tipo de vivienda	Habitación	Horas estimas de uso	Consumo energía por habitación [kWh]	Consumo energía total día [kWh]
Split muro ecológico R-410	Aislada 1 piso	Living-comedor, cocina, baño	12	19.44	27.944
		Dormitorios (2)	4	8.504	
	Aislada 2 pisos	Living, Comedor, Cocina, Baño	12	25.512	36.142
		Dormitorios (3)	5	10.63	
	Fila 1 piso	Living-comedor, Cocina, Baño	13	21.06	23.006
		Dormitorio	2	1.946	
	Fila 2 pisos	Living-comedor, Cocina, Baño	13	21.06	22.618
		Dormitorios	2	1.558	
	Pareada 1 piso	Living-comedor, Cocina, Baño	14	29.764	32.683

Split muro ecológico R-410	Pareada 2 pisos	Dormitorios (2)	3	2.919	25.92
		Living-comedor, Cocina, Cocina	12	19.44	
		Dormitorios (2)	4	6.48	

El consumo de energía en un día de invierno, del Split muro ecológico R-410, para algunas viviendas es muy parecido al de los paneles radiantes infrarrojos.

4.4.2.2 Consumo de energía día split muro Cool Design.

Tabla 4-24: Consumo energía día Split muro Cool Design (fuente: Elaboración propia)

Bomba de calor	Tipo de vivienda	Habitación	Horas estimas de uso	Consumo energía por habitación [kWh]	Consumo energía total día [kWh]
Split muro Cool Design	Aislada 1 piso	Living-comedor, cocina, baño	12	18.48	22.44
		Dormitorios (2)	4	3.96	
	Aislada 2 pisos	Living, Comedor, Cocina, Baño	12	18.48	26.18
		Dormitorios (3)	5	7.7	
	Fila 1 piso	Living-comedor, Cocina, Baño	13	12.87	14.85
		Dormitorio	2	1.98	
	Fila 2 pisos	Living-comedor, Cocina, Baño	13	12.87	15.315
		Dormitorios	2	2.445	
	Pareada 1 piso	Living-comedor, Cocina, Baño	14	21.56	24.53
		Dormitorios (2)	3	2.97	
	Pareada 2 pisos	Living-comedor, Cocina, Cocina	12	18.48	21.74
		Dormitorios (2)	4	3.26	

El Split muro Cool Design desarrolla una alternativa interesante al momento de escoger un sistema de calefacción eléctrico para una vivienda pareada de 2 pisos.

4.4.2.3 Consumo de energía día split muro inverter Ecológico.

Tabla 4-25: Consumo energía día Split muro inverter ecológico (fuente: Elaboración propia)

Bomba de calor	Tipo de vivienda	Habitación	Horas estimas de uso	Consumo energía por habitación [kWh]	Consumo energía total día [kWh]
Split muro Inverter ecológico	Aislada 1 piso	Living-comedor, cocina, baño	12	22.64	26.64
		Dormitorios (2)	4	4.2	
	Aislada 2 pisos	Living, Comedor, Cocina, Baño	12	22.44	31.79
		Dormitorios (3)	5	9.35	
	Fila 1 piso	Living-comedor, Cocina, Baño	13	24.31	25.86
		Dormitorio	2	1.55	
	Fila 2 pisos	Living-comedor, Cocina, Baño	13	13.65	16.8
		Dormitorios	2	3.15	
	Pareada 1 piso	Living-comedor, Cocina, Baño	14	26.18	29.33
		Dormitorios (2)	3	3.15	
	Pareada 2 pisos	Living-comedor, Cocina, Cocina	12	22.44	25.54
		Dormitorios (2)	4	3.1	

Este tipo de artefacto alcanza niveles altos de consumo de energía a diferencia de sus pares que utilizan el principio de bomba de calor como principio de funcionamiento.

4.4.2.4 Consumo de energía día split muro HVAC midea CS 24H.

Tabla 4-26: Consumo energía día Split muro HVAC midea CS 24H (fuente: Elaboración propia)

Bomba de calor	Tipo de vivienda	Habitación	Horas estimas de uso	Consumo energía por habitación [kWh]	Consumo energía total día [kWh]
Split muro HVAC midea CS 24H	Aislada 1 piso	Living-comedor, cocina, baño	12	22.2	25.48
		Dormitorios (2)	4	3.28	
	Aislada 2 pisos	Living, Comedor, Cocina, Baño	12	26.28	31.78
		Dormitorios (3)	5	5.5	

Split muro HVAC midea CS 24H	Fila 1 piso	Living-comedor, Cocina, Baño	13	14.3	16.5
		Dormitorio	2	2.2	
	Fila 2 pisos	Living-comedor, Cocina, Baño	13	14.3	16.76
		Dormitorios	2	2.46	
	Pareada 1 piso	Living-comedor, Cocina, Baño	14	25.9	29.2
		Dormitorios (2)	3	3.3	
	Pareada 2 pisos	Living-comedor, Cocina, Cocina	12	13.2	17.6
		Dormitorios (2)	4	4.4	

El Split muro HVAC midea CS 24H, manifiesta buen comportamiento desde el punto de vista del consumo de energía, sobre todo cuando se trata de viviendas que contienen pocos metros cuadrados de construcción.

4.4.2.5 Consumo de energía día split ecológico ANWO.

Tabla 4-27: Consumo energía día Split ecológico ANWO (fuente: Elaboración propia)

Bomba de calor	Tipo de vivienda	Habitación	Horas estimas de uso	Consumo energía por habitación [kWh]	Consumo energía total día [kWh]
Split muro ecológico ANWO	Aislada 1 piso	Living-comedor, cocina, baño	12	19.44	23.332
		Dormitorios (2)	4	3.892	
	Aislada 2 pisos	Living, Comedor, Cocina, Baño	12	19.44	27.54
		Dormitorios (3)	5	8.1	
	Fila 1 piso	Living-comedor, Cocina, Baño	13	12.649	14.595
		Dormitorio	2	1.946	
	Fila 2 pisos	Living-comedor, Cocina, Baño	13	12.649	15.568
		Dormitorios	2	2.919	
	Pareada 1 piso	Living-comedor, Cocina, Baño	14	22.68	25.599
		Dormitorios (2)	3	2.919	

ecológico ANWO	Pareada 2 pisos	Living-comedor, Cocina, Cocina	12	11.676	15.568
		Dormitorios (2)	4	3.892	

De todos los equipos que comparten el principio de funcionamiento de bomba de calor, el Split muro ecológico ANWO, es el que menor energía suministrada por la red necesita para calefaccionar una vivienda en sus diferentes tipos presentes, durante un día de invierno.

La energía requerida por estos equipos para lograr una temperatura de confort en las viviendas, para los días de invierno, para algunos modelos es digna de análisis, la conversión de energía eléctrica a energía térmica a través de esta tecnología es bastante alto, lo cual es de suma importancia ya que el nivel de energía requerido es directamente proporcional al costo operativo del sistema.

4.4.3 Resumen energía requerida al día por tipo de vivienda.

Para visualizar la alternativa más económica desde el punto de los gastos operaciones, se agruparán los diferentes tipos de tecnologías propuestos en torno al tipo de vivienda logrando así una fácil discriminación del sistema de calefacción que demande menor energía.

Desde la tabla 4-28 hasta la tabla 4-33 se individualiza el consumo de energía eléctrica por día de cada tipo de calefacción propuesta para los diferentes tipos de viviendas.

4.4.3.1 Consumo energía día casa aislada 1 piso.

Tabla 4-28: Consumo energía día casa aislada 1 piso (fuente: Elaboración propia)

Tipo de vivienda	Tipo de tecnología	Equipo	Consumo energía día [kWh]
Casa aislada 1 piso	Panel eléctrico infrarrojo de onda larga	Panel Pro Heating PE	22.4
		Panel Glass Heating GD	18
		Panel TermoIQ THHP 12060	46.8
		Panel BVF 800	28.8
	Bomba de calor	Split muro ecológico R-410	27.944
		Split muro cool Design	22.44
		Split muro Inverter Ecológico	26.64
		Split muro HVAC midea CS	25.48
		Split muro Ecológico ANWO	23.332

El sistema que menos energía requiere para calefaccionar una vivienda aislada de 1 piso, corresponde al panel eléctrico infrarrojo de onda larga Glass Heating GD, además cabe destacar la bomba de calor Split muro cool design.

4.4.3.2 Consumo energía día casa aislada 2 pisos.

Tabla 4-29: Consumo energía día casa aislada 2 pisos (fuente: Elaboración propia)

Tipo de vivienda	Tipo de tecnología	Equipo	Consumo energía día [kWh]
Casa aislada 2 pisos	Panel eléctrico infrarrojo de onda larga	Panel Pro Heating PE	28.7
		Panel Glass Heating GD	20.5
		Panel TermoIQ THHP 12060	53.3
		Panel BVF 800	32.8
	Bomba de calor	Split muro ecológico R-410	36.142
		Split muro cool Design	26.18
		Split muro Inverter Ecológico	31.79
		Split muro HVAC midea CS	31.78
		Split muro Ecológico ANWO	27.54

Para las casas aisladas de 2 pisos se mantiene la misma tendencia en cuanto al consumo de energía, destaca el panel Glass Heating GD, junto con el Split muro Cool Design, evidentemente el consumo de energía eléctrica es mayor en comparación a la casa aislada de 1 piso debido básicamente a que las viviendas aisladas de 2 pisos poseen una mayor cantidad de metros cuadrados construidos.

4.4.3.3 Consumo energía día casa fila 1 piso.

Tabla 4-30: Consumo energía día casa fila 1 piso (fuente: Elaboración propia)

Tipo de vivienda	Tipo de tecnología	Equipo	Consumo energía día [kWh]
Casa fila 1 piso	Panel eléctrico infrarrojo de onda larga	Panel Pro Heating PE	17.5
		Panel Glass Heating GD	15
		Panel TermoIQ THHP 12060	39
		Panel BVF 800	24
	Bomba de calor	Split muro ecológico R-410	23.006
		Split muro cool Design	14.85
		Split muro Inverter Ecológico	25.86
		Split muro HVAC midea CS	16.5
		Split muro Ecológico ANWO	14.595

Para las viviendas fila de 1 piso, destaca el Split muro cool design el cual requiere una menor cantidad de energía junto con el panel infrarrojo de onda larga Glass Heating GD.

4.4.3.4 Consumo energía día casa fila 2 pisos.

Tabla 4-31: Consumo de energía día casa fila de 2 pisos (fuente: Elaboración propia)

Tipo de vivienda	Tipo de tecnología	Equipo	Consumo energía día [kWh]
Casa fila 2 pisos	Panel eléctrico infrarrojo de onda larga	Panel Pro Heating PE	25.2
		Panel Glass Heating GD	18
		Panel TermoIQ THHP 12060	46.8
		Panel BVF 800	28.8
	Bomba de calor	Split muro ecológico R-410	22.618
		Split muro cool Design	15.315
		Split muro Inverter Ecológico	16.8
		Split muro HVAC midea CS	16.76
		Split muro Ecológico ANWO	15.568

Para las viviendas fila de 2 pisos, los equipos basados en la tecnología bomba de calor, requieren de menor energía por día en comparación a los paneles radiantes, destacando Split muro Cool Design y Split muro ecológico ANWO, los paneles radiantes a diferencia de los anteriores tipos de viviendas requieren de un alto consumo de energía al día para alcanzar la temperatura de confort en un día de invierno en la ciudad de Coyhaique.

4.4.3.5 Consumo energía día casa pareada 1 piso.

Tabla 4-32: Consumo energía día casa pareada 1 piso (fuente: Elaboración propia)

Tipo de vivienda	Tipo de tecnología	Equipo	Consumo energía día [kWh]
Casa pareada 1 piso	Panel eléctrico infrarrojo de onda larga	Panel Pro Heating PE	25.2
		Panel Glass Heating GD	18
		Panel TermoIQ THHP 12060	46.8
		Panel BVF 800	28.8
	Bomba de calor	Split muro ecológico R-410	32.683
		Split muro cool Design	24.53
		Split muro Inverter Ecológico	29.33
		Split muro HVAC midea CS	29.2
		Split muro Ecológico ANWO	25.599

Siguiendo la tendencia de los casos anteriores, para las viviendas pareadas de 1 piso, el artefacto que requiere menos energía es el panel Glass Heating GD, junto con el Split muro cool Design.

4.4.3.6 Consumo energía día casa pareada 2 pisos.

Tabla 4-33: Consumo energía día casa pareada 2 pisos (fuente: Elaboración propia)

Tipo de vivienda	Tipo de tecnología	Equipo	Consumo energía día [kWh]
Casa pareada 2 pisos	Panel eléctrico infrarrojo de onda larga	Panel Pro Heating PE	25.2
		Panel Glass Heating GD	18
		Panel TermoIQ THHP 12060	46.8
		Panel BVF 800	28.8
	Bomba de calor	Split muro ecológico R-410	25.92
		Split muro cool Design	21.74
		Split muro Inverter Ecológico	25.54
		Split muro HVAC midea CS 24	17.6
		Split muro Ecológico ANWO	15.568

Para las viviendas pareadas de 2 pisos, destaca el bajo consumo de energía al día, por el lado de las bombas de calor destaca split muro ecológico ANWO, junto con Split muro HVAC midea CS 24H. La proyección de energía necesaria es un tópico importante al momento de escoger una alternativa, debido a que el uso de energía es directamente proporcional a los costos de operación que tendrá el sistema en cuestión, es decir mientras mayor sea el consumo de energía, mayor será el costo operacional que manifestara el sistema eléctrico de calefacción seleccionado.

4.5 Selección de alternativas.

Para lograr una selección adecuada de las alternativas, es esencial considerar el efecto del tiempo sobre el capital, si no se considera de forma adecuada las relaciones dinero-tiempo, los resultados de los estudios económicos serán inexactos lo cual conduce a decisiones equivocadas. Si bien la experiencia, intuición y juicio son aún predominantes en la toma de decisiones, existe un progreso significativo en el empleo de técnicas cuantitativas, las cuales ayudan al proceso de la toma de decisiones, mediante el uso de modelos económicos [44].

4.5.1 Análisis valor presente.

Debido a que existen múltiples alternativas las cuales pueden implementarse, se seleccionarán las 2 mejores alternativas por ítem considerado en el capítulo, es decir se seleccionaran las 2 mejores opciones en base a la potencia instalada, las 2 siguientes serán las que impliquen un menor costo de inversión inicial y finalmente 2 alternativas las cuales representan el menor uso

de energía día, en base a esto aseguramos que en análisis matemático de valor presente nos permita determinar la mejor alternativa.

4.5.1.1 Valor presente vivienda aislada 1 piso.

La tabla 4-34 contiene los datos utilizados y el resultado del análisis económico del valor presente, utilizando una tasa de reajuste del 10%.

Tabla 4-34: Valor presente sistemas destacados, casa aislada 1 piso (fuente: Elaboración propia)

Casa aislada 1 piso	Split Cool Design	Split HVAC midea	Panel Pro Heating PE	Panel BVF 800	Panel Glass Heating GD
Inversión inicial [\$CLP]	1.518.000	2.166.000	1.137.600	1.220.520	1.556.946
Consumo energía año [\$/año]	852.801	971.236	807.239	1.014.960	634.350
Mantenimiento anual [\$ /año]	35.000	35000	0	0	0
Vida útil [años]	12	12	10	10	10
VAN [\$ CLP]	6.049.209	6.856.190	6.097.760	7.457.043	5.454.773

Para una vivienda aislada de 1 piso, la mejor alternativa desde el punto de vista del valor presente, es la implantación de paneles radiantes Glass Heting GD.

4.5.1.2 Valor presente vivienda aislada 2 pisos.

La tabla La tabla 4-35 contiene los datos utilizados y el resultado del análisis económico del valor presente, utilizando una tasa de reajuste del 10 %.

Tabla 4-35: Valor presente sistemas destacados, casa aislada 2 pisos (fuente. Elaboración propia)

Casa aislada 2 pisos	Split Cool Design	Split HVAC midea	Panel Pro Heating PE	Panel Glass Heating GD
Inversión inicial [\$CLP]	1.750.000	2.659.000	1.592.640	2.075.928
Consumo energía año [\$/año]	1.020.671	1.231.648	1.009.208	720.862
Mantenimiento anual [\$ /año]	35.000	35.000	0	0
Vida útil [años]	12	12	10	10
VAN [\$ CLP]	10.380.559	11.289.559	7.793.819	6.505.336

Para este tipo de vivienda, el sistema basado en paneles radiantes Glass heating GD, alcanza un mejor desempeño desde el punto de vista del valor presente, siendo esta la opción mejor posicionada.

4.5.1.3 Valor presente vivienda fila 1 piso.

La tabla La tabla 4-36 contiene los datos utilizados y el resultado del análisis económico del valor presente, utilizando una tasa de reajuste del 10 %.

Tabla 4-36: Valor presente sistemas destacados, casa fila 1 piso (fuente: Elaboración propia)

Casa fila 1 piso	Split Cool Design	Split HVAC midea	Panel Pro Heating PE	Panel Glass Heating GD
Inversión inicial [\$CLP]	1.286.000	1.144.000	910.080	1.297.455
Consumo energía año [\$/año]	485.522	539.469	645.696	533.400
Mantenimiento anual [\$ /año]	35.000	35.000	0	0
Vida útil [años]	12	12	10	10
VAN [\$ CLP]	4.832.680	5.058.259	4.877.623	4.574.984

El panel Glass Heating como en los casos anteriores en la mejor alternativa, alcanzando un menor costo en cuanto a valor presente se refiere, para una vivienda fila de 1 piso

4.5.1.4 Valor presente vivienda fila 2 pisos.

La tabla La tabla 4-37 contiene los datos utilizados y el resultado del análisis económico del valor presente, utilizando una tasa de reajuste del 10 %.

Tabla 4-37: Valor presente sistemas destacados, casa fila 2 pisos (fuente elaboración propia)

Casa fila 2 pisos	Split HVAC midea	Split ecológico ANWO	Split Cool Design	Panel Pro Heating PE
Inversión inicial [\$CLP]	1.084.000	1.318.836	1.246.000	1.137.600
Consumo energía año [\$/año]	546.976	505.280	498.949	787.818
Mantenimiento anual [\$ /año]	35.000	35.000	0	0
Vida útil [años]	12	12	10	10
VAN [\$ CLP]	5.049.409	5.000.141	4.546.536	5.978.426

A diferencia de los casos anteriores, en este tipo de vivienda el artefacto que logra el mejor desempeño bajo el principio de valor presente es la bomba de calor Split muro Cool Design

4.5.1.5 Valor presente vivienda pareada 1 piso.

La tabla La tabla 4-38 contiene los datos utilizados y el resultado del análisis económico del valor presente, utilizando una tasa de reajuste del 10 %.

Tabla 4-38: Valor presente sistemas destacados, casa pareada 1 piso (fuente: Elaboración propia)

Casa pareada 1 piso	Split ecológico ANWO	Split HVAC midea	Panel Pro Heating PE	Panel Glass Heating GD
Inversión inicial [\$CLP]	1.318.836	1.699.000	1.137.600	1.220.520
Consumo energía año [\$ /año]	561.031	634.259	807.872	923.283
Mantenimiento anual [\$ /año]	35.000	35.000	0	0
Vida útil [años]	12	12	10	10
VAN [\$ CLP]	5.380.012	6.259.130	6.101.650	6.893.724

El Split muro ecológico ANWO se posiciona como la mejor opción al momento de calefaccionar una vivienda durante el año, bajo el criterio del valor presente para una vivienda pareada de 1 piso.

4.5.1.6 Valor presente vivienda pareada 2 pisos.

La tabla La tabla 4-39 contiene los datos utilizados y el resultado del análisis económico del valor presente, utilizando una tasa de reajuste del 10 %.

Tabla 4-39: Valor presente sistemas destacados, vivienda pareada 2 pisos (fuente: Elaboración propia)

Casa pareada 1 piso	Split ecológico ANWO	Split HVAC midea	Panel Pro Heating PE	Panel BVF 800
Inversión inicial [\$CLP]	1.318.836	1.699.000	1.137.600	1.220.520
Consumo energía año [\$ /año]	561.031	634.259	807.872	923.283
Mantenimiento anual [\$ /año]	35.000	35.000	0	0
Vida útil [años]	12	12	10	10
VAN [\$ CLP]	5.380.012	6.259.130	6.101.650	6.893.724

Cuando se trata de una vivienda pareada de 2 pisos, el sistema adecuado a implementar es el Split muro ecológico ANWO, basado en el principio de la bomba de calor.

La evaluación del valor presente, se basa en el análisis del comportamiento de todas las alternativas sometidas a las mismas condiciones de operación, obteniendo así una comparación

adecuada entre los diferentes tipos de tecnología propuestos, la tabla 4-40 contiene los equipos más adecuados para implementar en el proyecto.

Tabla 4-40: Sistemas a implementar en las diferentes topologías de viviendas (fuente: elaboración propia)

Tipo de vivienda	Tipo de Tecnología
Vivienda aislada 1 piso	Panel radiante Glass Heating GD
Vivienda aislada 2 pisos	Panel radiante Glass Heating GD
Vivienda fila 1 piso	Panel radiante Glass Heating GD
Vivienda fila 2 pisos	Split muro Cool Design
Vivienda pareada 1 piso	Split ecológico ANWO
Vivienda pareada 2 pisos	Split ecológico ANWO

Finalmente, en la siguiente etapa del proyecto se estimará la demanda de energía eléctrica, en base a estas tecnologías las cuales reúnen las mejores condiciones, para dar una solución al problema de contaminación a la ciudad de Coyhaique durante el periodo de invierno, en los cuales se presentan episodios de emergencia debido a los altos niveles de concentración de material particulado MP_{10} .

4.6 Consumo de leña en calefactores.

Para alcanzar un análisis económico de las tecnologías propuestas, se debe contar con un punto de comparación apropiado, es por esto que se analizará los costos asociados a la utilización de los artefactos los cuales dependen de la leña como su principal combustible, si bien existe una diversa gama de estos, el estudio utilizara los equipos con una alta tasa de conversión energética con el fin de comparar las tecnologías basadas en electricidad, con las mejores opciones disponibles basadas en el consumo de leña.

4.6.1 Potencia instalada en calefactores basados en leña.

Inicialmente se debe calcular la potencia térmica de los artefactos, los cuales deben satisfacer la demanda de cada tipo de vivienda, para así lograr un desempeño adecuado de estos. Las variables involucradas en este proceso de manera simplificada son, volumen del área a calefaccionar, coeficiente de dispersión [K] y la diferencia entre la temperatura exterior y la interior en °C [45], siendo esta última variable en el tiempo, con fines de simplificar este parámetro se utilizará una temperatura promedio exterior, junto con la temperatura de confort en el interior de la vivienda.

La relación matemática que involucra los factores anteriormente mencionados es la siguiente:

$$V \times \Delta t \times K = \text{Potencia Termica [Kcal]} \quad (4-1)$$

La temperatura exterior para los meses de invierno, se considerarán en base a los promedios diarios mensuales de cada uno de los meses que la componen, es decir el periodo abril-septiembre. Por otra parte, con el fin de obtener el volumen de las viviendas se considerará una altura promedio de 2.5 metros para cada una de los diferentes tipos de viviendas [4], finalmente

el coeficiente de dispersión a utilizar será el que corresponde a una vivienda la cual cuenta con un buen nivel de aislación térmica, con el fin de seguir la misma línea del proyecto, evitando casos en los cuales las viviendas se conviertan prácticamente en un sumidero de energía.

Los valores de las temperaturas se obtienen de la figura 1-3 la cuál ilustra los promedios mensuales de temperaturas del año 2014, la tabla 4-41 contiene la temperatura de los meses de interés, correspondientes al periodo abril-setiembre [5].

Tabla 4-41: Temperaturas periodo Abril-Setiembre (fuente: Elaboración propia)

Mes	Temperatura Promedio [°C]
Abril	8.2
Mayo	5.3
Junio	3.9
Julio	2.5
Agosto	5.9
Setiembre	6.3

El sistema debe ser adecuado para desarrollar la temperatura de confort durante los casos más adversos, es decir para obtener la potencia térmica del artefacto se utilizará la temperatura promedio más baja de los datos obtenidos, en otras palabras, la temperatura exterior será igual a 2.5 °C, siendo esta temperatura no correspondiente con la mínima absoluta del mes de julio.

Por otro lado, los valores del coeficiente de dispersión K, se describen en la tabla 4-42, en la cual se asigna un valor y describe las propiedades constructivas de las viviendas [46].

Tabla 4-42: Valores de K según tipo aislación (fuente: cálculo de cargas térmicas)

Tipo Aislación	Valor K [-]	Características
No aislada	3.0 – 4.0	Edificio sencillo en madera o metal coarrugado.
Mal aislada	2.0 – 2.9	Edificio Pobrementemente aislado en techos, paredes y ventanas simples con un cristal.
Bastante aislada	1.0 – 1.9	Edificio que consta con paredes gruesas, techo aislado y ventanas simples con un cristal.
Bien aislada	0.6 – 0.9	Ventanas doble cristal, paredes gruesas aisladas, suelo, techo y puertas bien aisladas.

La tabla 4-43 resume los valores de potencia instalada de calefactores en base a leña, para los distintos tipos de viviendas presentes en la ciudad de Coyhaique.

Tabla 4-43: Potencia instalada artefactos a leña (fuente: elaboración propia)

Tipo de vivienda	Potencia instalada [Kcal]
Aislada 1 piso	4.133
Aislada 2 pisos	5.510
Fila 1 piso	3.100
Fila 2 pisos	2.755
Pareada 1 piso	4.133
Pareada 2 pisos	3.789

4.6.2 Consumo de leña de los calefactores.

La cantidad de leña utilizada en cada tipo de vivienda, se basa en la potencia del artefacto a utilizar en conjunción con el ciclo de combustión propio de cada calefactor, la potencia instalada para cada tipo de vivienda. Las consideraciones en esta etapa son principalmente:

- **Ciclo de combustión del artefacto:** Para el calefactor analizado, el ciclo de renovación de combustible consta de una carga de 3 astillas de 30 centímetros de largo y de un diámetro de 15 centímetros como máximo, cada 2.5 horas como promedio [47].
- **Cantidad de Astillas por metro cúbico:** se considera que un metro cúbico de leña contiene 240 astillas de 30 cm de largo con 15 cm de diámetro [48].
- **Cantidad de horas a utilizar:** Finalmente el tiempo el cuál se utilizará el calefactor en las viviendas es directamente proporcional a la cantidad de combustible a utilizar, en este caso leña [44].

El consumo del combustible, es directamente proporcional al artefacto a utilizar, en este caso se basará en las características de la estufa Bosca ECO 350, la cual desarrolla una potencia de 7.500 [kcal/h], la cual posee un rango de calefacción de hasta 130 m², siendo suficiente para cubrir las necesidades térmicas de todos los tipos de viviendas expuestas [47].

La tabla 4-44, resume la cantidad de ciclos de carga de leña, basados en su tiempo de operación, para así determinar el número de astillas a utilizar.

Tabla 4-44: Consumo de leña en astillas diarias (fuente: Elaboración propia)

Tipo de vivienda	Tiempo de uso [horas]	Nº ciclos de carga	Nº de Astillas
Aislada 1 piso	14	5.6	17
Aislada 2 pisos	14	5.6	17
Fila 1 piso	14	5.6	17
Fila 2 pisos	14	5.6	17
Pareada 1 piso	15	6	18
Pareada 2 pisos	13	5.2	16

4.6.3 Costo diario calefacción a leña.

El costo asociado a la utilización de los calefactores a leña, se basa en el número de astillas utilizadas diariamente, siendo las dimensiones de estas astillas definidas, si bien este formato de venta no se encuentra disponible en la ciudad de Coyhaique, y siendo más precisos en toda la región, se debe realizar un ajuste adecuado, el cual fue descrito en el apartado anterior. Considerando un precio de \$ 30.000 pesos por un metro cúbico de leña seca, en el mejor de los casos con un contenido de humedad no superior al 20%. Con los antecedentes anteriores el valor unitario de astillas es descrito por la siguiente expresión:

$$\text{Valor Astilla} = \frac{\text{Valor } m^3}{N^{\circ} \text{ Astillas}} = \frac{\$30.000}{240} = 125 \quad (4-2)$$

Es decir, cada astilla de 30 cm de largo y un diámetro de 15 cm, alcanza un valor de \$ 125 pesos.

La tabla 4-45 resume en valor diario en pesos, para cada tipo de viviendas utilizando la leña como combustible, para un día promedio de invierno.

Tabla 4-45: Costo diario calefacción en base a leña (fuente: Elaboración propia)

Tipo de Vivienda	N° ciclos de carga	N° de Astillas	Costo diario calefacción [\$CLP]
Aislada 1 piso	5.6	17	2.125
Aislada 2 pisos	5.6	17	2.125
Fila 1 piso	5.6	17	2.125
Fila 2 pisos	5.6	17	2.125
Pareada 1 piso	6	18	2.250
Pareada 2 pisos	5.2	16	2.000

4.7 Comparación costos por tipo de tecnología.

Finalmente, el parámetro más adecuado para la comparación entre las tecnologías basadas en leña y electricidad es el dinero el cual se debe invertir y así alcanzar la temperatura de confort para las distintas clases de viviendas presentes en la ciudad de Coyhaique. La tabla 4-46 contiene los costos asociados a calefacción de un día promedio de invierno para las diferentes tecnologías.

Tabla 4-46: Comparación costo leña v/s electricidad (fuente: elaboración propia)

Tipo de vivienda	Costo leña [\$CLP]	Costo electricidad [\$CLP]
Aislada 1 piso	2.125	2.840
Aislada 2 pisos	2.125	3.234
Fila 1 piso	2.125	2.366
Fila 2 pisos	2.125	2.416
Pareada 1 piso	2.250	4.039
Pareada 2 pisos	2.000	2.456

Si bien existe una tendencia clara hacia los sistemas de calefacción en base a leña, la brecha en la mayoría de los casos no es muy grande, teniendo presente que para el análisis de la calefacción a leña se utilizó tecnología de vanguardia. Finalizando este capítulo se infiere la principal diferencia entre ambas tecnologías es básicamente el valor de la inversión inicial, el cual para el caso de calefactores cuyo funcionamiento utiliza electricidad es mucho mayor que los basados en leña, por otro lado, los gastos operacionales de ambas tecnologías no presentan una diferencia abismante entre ellas, en cuanto a costo monetario se refiere.

5 Proyección energética.

Uno de los ejes fundamentales del PDA, se basa en el recambio de 10.000 calefactores en un plazo de 10 años, de los cuales al menos 5.000 deben ser sistemas de calefacción que utilicen un combustible distinto a la leña [8], siendo este eje de suma importancia al momento de implantar los sistemas eléctricos de calefacción en base a electricidad como combustible principal ya que son una alternativa dentro de las propuestas por el PDA.

Considerando estos 5.000 calefactores como el universo a insertarse, se considerarán 3 escenarios de penetración para las alternativas propuestas, un escenario base, pesimista y optimista, los cuales, consideran un periodo de 8 años, para su implantación divididos en 8 etapas para su ejecución, a su vez cada una de estas posibles situaciones, deben considerar las proyecciones de viviendas para la ciudad. La tabla 5-1 ilustra la cantidad de equipos propuestos a insertar en un periodo de 8 años para los distintos escenarios.

Tabla 5-1: Cantidad de calefactores a implementar según escenario y por etapa (fuente: elaboración propia)

Escenario	N° calefactores	N° calefactores por etapa
Pesimista	1.000	125
Base	2.000	250
Optimista	3.000	375

La demanda de energía eléctrica es directamente proporcional al artefacto a utilizar, el tipo de artefacto a su vez es correspondiente al tipo de vivienda, para asegurar una diversificación adecuada de los sistemas de calefacción se establecerá a razón de los tipos de hogares existentes [4]. La proporción de los tipos de domicilios, proyectadas para la ciudad son resumidos en la tabla 5-2.

Tabla 5-2: Proyección porcentual de viviendas según topología (fuente: elaboración propia)

Año	Casa Aislada		Casa Fila		Casa Pareada		Total
	1 piso	2 pisos	1 piso	2 pisos	1 Piso	2 pisos	
2018	46 %	18.5 %	3 %	3 %	13 %	16.5 %	19.769
2019	46 %	18.5 %	3 %	3 %	13 %	16.5 %	19.972
2020	46 %	18.5 %	3 %	3 %	13 %	16.5 %	20.153
2021	46 %	18.5 %	3 %	3 %	13 %	16.5 %	20.411
2022	46 %	18.5 %	3 %	3 %	13 %	16.5 %	20.683
2023	46 %	18.5 %	3 %	3 %	13 %	16.5 %	20.970
2024	46 %	18.5 %	3 %	3 %	13 %	16.5 %	21.273
2025	46 %	18.5 %	3 %	3 %	13 %	16.5 %	21.591

La proyección de los hogares en la ciudad de Coyhaique mantiene la misma razón de crecimiento para los diferentes tipos de edificios presentes, estos datos se obtienen del estudio “análisis energético de viviendas para ciudades del centro y sur de Chile”.

5.1 Caracterización escenario pesimista.

Siendo el peor de los casos propuestos, la penetración representa un 20% del universo de hogares sujetos a esta reforma de recambio de tecnologías para calefactores, este escenario cuenta con 8 etapas las cuales consideran la implementación de 125 sistemas de calefacción en un periodo de un año, la dispersión de los sistemas de calefacción corresponde a la presente en las viviendas para el periodo determinado.

Tabla 5-3: Proyección sistemas de calefacción a razón de las viviendas presentes, escenario pesimista (fuente: elaboración propia)

Año	Casa Aislada		Casa Fila		Casa Pareada		Total
	1 piso	2 pisos	1 piso	2 pisos	1 Piso	2 pisos	
2018	55	24	4	4	17	21	125
2019	55	24	4	4	17	21	250
2020	55	24	4	4	17	21	375
2021	55	24	4	4	17	21	500
2022	55	24	4	4	17	21	625
2023	55	24	4	4	17	21	750
2024	55	24	4	4	17	21	875
2025	55	24	4	4	17	21	1000

Junto con los datos tabulados, sobre los sistemas de calefacción a implantar en sus diferentes etapas de desarrollo, se alcanza una aproximación adecuada de la demanda energética, ya que

para cada tipo de domicilio existe un sistema de calefacción eléctrica óptimo, los cuales desde el punto de vista energético poseen características únicas.

5.2 Caracterización escenario base.

Siendo la base de los casos propuestos, la penetración representa un 40% del universo de hogares sujetos a esta reforma de recambio de tecnologías para calefactores, este escenario cuenta con 8 etapas las cuales consideran la implementación de 250 sistemas de calefacción en un periodo de un año, la dispersión de los sistemas de calefacción corresponde a la presente en las viviendas para el periodo determinado.

Tabla 5-4: Proyección sistemas de calefacción a razón de las viviendas presentes, escenario base (fuente: elaboración propia)

Año	Casa Aislada		Casa Fila		Casa Pareada		Total
	1 piso	2 pisos	1 piso	2 pisos	1 Piso	2 pisos	
2018	110	48	8	8	34	42	250
2019	110	48	8	8	34	42	500
2020	110	48	8	8	34	42	750
2021	110	48	8	8	34	42	1000
2022	110	48	8	8	34	42	1250
2023	110	48	8	8	34	42	1500
2024	110	48	8	8	34	42	1750
2025	110	48	8	8	34	42	2000

La tabla anterior, caracteriza los sistemas de calefacción eléctrica, los cuales serán implementados respetando la proporcionalidad de los tipos de vivienda presentes en la ciudad, alcanzando una muestra energética diversificada.

5.3 Caracterización escenario optimista.

Este escenario alcanza el 60% del universo de hogares que componen esta reforma de descontaminación, si bien es un planteamiento ambicioso, esta propuesta consta de 8 etapas de 375 sistemas de calefacción a implantar por año, la tabla 5-5 resume la cantidad de sistemas de calefacción, respetando la razón de crecimiento que existe entre las diversas viviendas dispuestas en la ciudad.

Tabla 5-5: Proyección sistemas de calefacción a razón de las viviendas presentes, escenario optimista
(fuente: elaboración propia)

Año	Casa Aislada		Casa Fila		Casa Pareada		Total
	1 piso	2 pisos	1 piso	2 pisos	1 Piso	2 pisos	
2018	165	72	12	12	51	63	375
2019	165	72	12	12	51	63	750
2020	165	72	12	12	51	63	1125
2021	165	72	12	12	51	63	1500
2022	165	72	12	12	51	63	1875
2023	165	72	12	12	51	63	2250
2024	165	72	12	12	51	63	2625
2025	165	72	12	12	51	63	3000

Una vez proyectada la cantidad de hogares en los cuales se ejecutará un recambio de sistemas de calefacción tradicional por los sistemas propuestos, se puede estimar la demanda de energía necesaria por los mismos para su funcionamiento y como estos evolucionarán a través de los años en los cuales se pretende ejecutar.

5.4 Estimación demanda de energía.

Una vez determinada la cantidad y tipos de viviendas las cuales serán sujetas al recambio de sistemas de calefacción bajo el PDA, es posible determinar la energía eléctrica asociada a los nuevos sistemas de calefacción eléctrica, en sus diferentes etapas proyectadas.

Es necesario identificar las diferencias que existen en cuanto a la demanda energética de los distintos tipos de viviendas, junto con los distintos tipos de escenarios existentes, y así determinar un perfil de demanda ajustado a las necesidades de la ciudad.

- Escenario Base:

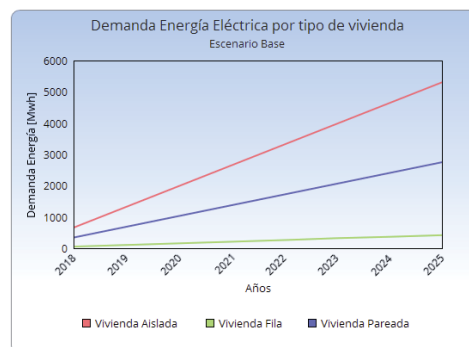


Figura 5-1: Demanda energía eléctrica por tipo de vivienda escenario base (fuente: Elaboración propia)

Queda en evidencia el aumento de la demanda en el transcurso de los años, esto se debe al avance de las etapas propuestas sobre el recambio de calefactores, por otro lado, como es de esperarse

las viviendas aisladas constituyen el grupo de hogares que precisa de más energía para mantener una temperatura agradable en los periodos de invierno.

- Escenario pesimista:

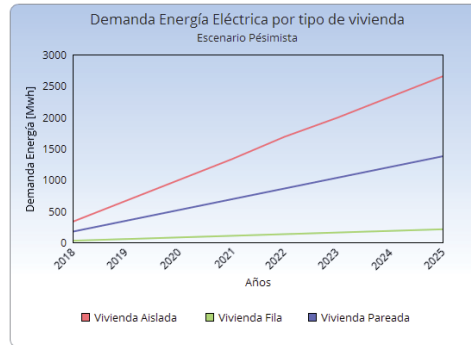


Figura 5-2: Demanda energía eléctrica por tipo de vivienda escenario pesimista (fuente: Elaboración propia)

El escenario pesimista, mantiene una clara tendencia, sobre los hogares que alcanzan una mayor demanda, por otro lado, este escenario corresponde a la mitad del escenario base, es decir en esta situación se proyecta una implementación de 1000 sistemas de calefacción que utilizan electricidad.

- Escenario optimista:

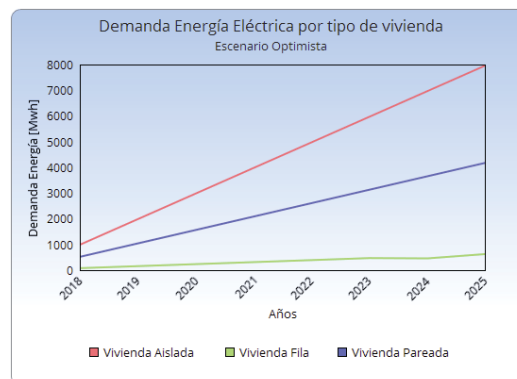


Figura 5-3: Demanda energía eléctrica por tipo de vivienda escenario optimista (fuente: Elaboración propia)

Si bien las viviendas aisladas mantienen una tendencia, como en los casos anteriores, cabe destacar la diferencia existente entre los 3 tipos de viviendas, al momento de proyectar una estimación de la demanda energética, esta depende del tipo de hogares sometidas al recambio de calefactores propuesto. Una estimación ajustada se alcanza manteniendo la razón de los tipos de hogares, con lo anterior se asegura la inclusión de las diversas construcciones en su proporción justa.

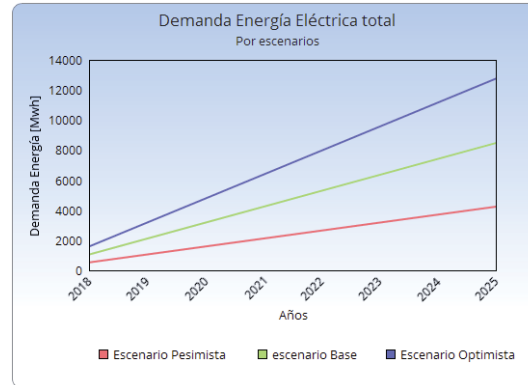


Figura 5-4: Demanda de energía total, distintos escenarios (fuente: elaboración propia)

Las estimaciones de los diferentes escenarios, refleja por un lado la razón de los diferentes hogares presentes en la ciudad, junto con la penetración energética de los diferentes sistemas de calefacción proyectados, una vez implementados los sistemas de calefacción, la demanda anual será de 4.238,24 [MWh] para el escenario pesimista, 8.476,48 [MWh] para el escenario base y de 12.762,72 [MWh] para el escenario optimista.

5.5 Costo kWh competitivo por tipo de vivienda.

En la última etapa de este proyecto se establecerá el costo de la energía en su unidad de medida comercial, siendo este el kWh, para alcanzar un nivel competitivo con el uso de leña con fines de calefacción para las diferentes viviendas presentes.

5.5.1 Determinación costo óptimo y ajustado.

El costo óptimo de la energía se estimará, con el objetivo de alcanzar un valor competitivo con el uso de leña con el fin de calefaccionar una vivienda en la ciudad de Coyhaique, esta aproximación se desarrollará en base a un día de invierno promedio, siendo esto de gran importancia debido a la tarifa diferenciada en este periodo junto con la alta demanda necesaria por las tecnologías propuestas. A continuación, en la tabla 5-6 se resume el valor del kWh por tipo de vivienda para un día promedio de invierno el cual iguala el costo de calefaccionar una vivienda utilizando leña como combustible.

Tabla 5-6: Costo óptimo kWh por tipo de vivienda (fuente: Elaboración propia)

Tipo vivienda	Costo óptimo kWh [\$CLP]	Demanda kWh día	Costo calefacción día [\$CLP]	Costo calefacción invierno [\$CLP]
Aislada 1 piso	118,055	18	2.125	382.500
Aislada 2 pisos	103,659	20,5	2.125	382.500
Fila 1 piso	141,667	15	2.125	382.500
Fila 2 pisos	138,753	15,315	2.125	382.500
Pareada 1 piso	87,894	25,599	2.250	405.000
Pareada 2 pisos	128,469	15,568	2.000	360.000

Dado que los distintos tipos de viviendas tienen diferentes requerimientos energéticos, los valores óptimos para alcanzar un nivel competitivo de precios dependen del tipo de la misma, siendo la tarifa actual en el periodo de invierno \$157,788 kWh, el valor mínimo que este debe tomar para igualar la oferta de leña se presenta en la habitación pareada de 1 piso, en este caso la tarifa debería reducirse en un 45%, lo cual es considerable. Por otro lado, si la tarifa en el mismo periodo correspondiera a la registrada en la V región \$138.514 los sistemas de calefacción eléctricos serían competitivos para las viviendas fila de 1 y 2 pisos.

Para un día de verano los costos asociados al uso de electricidad con fones de calefacción bajo el precio óptimo para un día de invierno se resume en la tabla 5-7.

Tabla 5-7: Costo calefacción eléctrica utilizando precio optimo kWh de invierno (fuente: Elaboración propia)

Tipo vivienda	Costo óptimo kWh [\$CLP]	Demanda kWh día	Costo calefacción día [\$CLP]	Costo calefacción verano [\$CLP]
Aislada 1 piso	118,055	4	472.22	85.000
Aislada 2 pisos	103,659	4.5	466.47	83.965
Fila 1 piso	141,667	3.5	495.84	89.251
Fila 2 pisos	138,753	1.98	274.73	49.451
Pareada 1 piso	87,894	5.833	512.69	92.284
Pareada 2 pisos	128,469	3.892	500.01	90.002

Es importante determinar el valor de este periodo, con la finalidad de estimar la diferencia de dinero existente entre ambos valores de la energía.

La diferencia de ingresos para la empresa de generación y distribución, en este caso Edelayesen perteneciente al grupo SAESA, producto de los valores óptimos por tipo de vivienda se resumen en la tabla 5-8.

Tabla 5-8: Diferencia ingresos entre los precios de energía (fuente: Elaboración propia)

Tipo vivienda	Costo óptimo kWh [\$CLP]	Costo actual kWh [\$CLP]	Costo anual óptimo [\$CLP]	Costo anual actual [\$CLP]	Diferencia [\$CLP]
Aislada 1 piso	118,055	157,788	467.500	634.350	166.850
Aislada 2 pisos	103,659	157,788	466.465	720.862	254.397
Fila 1 piso	141,667	157,788	471.751	533.400	61.649
Fila 2 pisos	138,753	157,788	431.951	498.949	66.998
Pareada 1 piso	87,894	157,788	497.284	906.286	427.002
Pareada 2 pisos	128,469	157,788	450.002	561.032	111.030

La diferencia de ingresos es importante para el caso de las viviendas aisladas de 1 y 2 pisos junto con la vivienda pareada de 1 piso, por otro lado, el impacto es mínimo para las viviendas cuya construcción es fila de uno y 2 pisos. Evidentemente es imposible establecer tarifas diferenciadas según sea la vivienda, la obtención de una tarifa adecuada única, se basa en la ponderación de las viviendas presentes en la ciudad de Coyhaique junto con sus tarifas, dado que la proyección habitacional de las viviendas es lineal esta razón de crecimiento se mantiene en el tiempo, con lo anterior el valor de la tarifa es de \$125,098, con esto los costos de calefacción utilizando en electricidad para un día de invierno se resumen en la tabla 5-9.

Tabla 5-9: Costo calefacción verano diferentes viviendas, tarifa única óptima (fuente: Elaboración propia)

Tipo vivienda	Costo óptimo kWh [\$CLP]	Demanda kWh día	Costo calefacción día [\$CLP]	Costo calefacción verano [\$CLP]
Aislada 1 piso	125,098	4	500,392	90.071
Aislada 2 pisos	125,098	4.5	562,941	101.329
Fila 1 piso	125,098	3.5	437,843	78.812
Fila 2 pisos	125,098	1.98	247,694	89.170
Pareada 1 piso	125,098	5.833	792,697	142.685
Pareada 2 pisos	125,098	3.892	486,881	87.639

Por otro lado, para el período de invierno los costos de calefaccionar los distintos tipos de vivienda se presentan en la tabla 5-10:

Tabla 5-10: Costo calefacción invierno diferentes viviendas, tarifa única óptima (fuente: Elaboración propia)

Tipo vivienda	Costo óptimo kWh [\$CLP]	Demanda kWh día	Costo calefacción día [\$CLP]	Costo calefacción invierno [\$CLP]
Aislada 1 piso	125.098	18	2.251,76	405.316,8
Aislada 2 pisos	125.098	20,5	2.564,51	461.611,8
Fila 1 piso	125.098	15	1.876,47	337.764,6
Fila 2 pisos	125.098	15,315	1.915,876	344.857,68
Pareada 1 piso	125.098	25,599	3.202,383	576.428,94
Pareada 2 pisos	125.098	15,568	1.947,526	350.554,68

La tarifa única establecida representa un término medio adecuado entre el valor presente en la actualidad y el valor mínimo capaz de igualar la oferta sobre el uso de la leña como combustible principal, los valores finales con las distintas tarifas se resumen en la tabla 5-11.

Tabla 5-11: Costo calefacción anual distintos precios de la energía (fuente: Elaboración propia)

Tipo vivienda	Costo anual óptimo [\$CLP]	Costo anual actual [\$CLP]	Costo anual reajustado [\$CLP]	Diferencia [\$CLP]
Aislada 1 piso	467.500	634.350	495.388	138.962
Aislada 2 pisos	466.465	720.862	562.941	157.921
Fila 1 piso	471.751	533.400	416.577	116.823
Fila 2 pisos	431.951	498.949	434.028	64.921
Pareada 1 piso	497.284	906.286	719.087	187.199
Pareada 2 pisos	450.002	561.032	438.194	122.838

Una vez establecida esta tarifa única ajustada, para los casos de la vivienda fila de 1 piso y pareada de 2 pisos el costo anual para calefaccionar es menor que el óptimo calculado, por otra parte, los casos de vivienda aislada de 1 piso y 2 pisos y fila de 2 pisos se alcanza un valor muy aceptable para competir con la leña como combustible para calefacción.

5.5.2 Estimación diferencia de ingresos por etapas.

En consecuencia, con el desarrollo del trabajo para estimar la diferencia de ingresos por la empresa de generación y distribución en este caso, se deben ajustar los costos de calefaccionar los diferentes tipos de viviendas para los escenarios propuestos, con esto se logra el siguiente resumen.

- Escenario pesimista

Tabla 5-12: Estimación diferencia de ingresos utilizando tarifa única establecida, escenario pesimista
(fuente: Elaboración propia)

Año	Casa Aislada		Casa Fila		Casa Pareada		Total
	1 piso	2 pisos	1 piso	2 pisos	1 Piso	2 pisos	
2018	7.642.910	3.790.104	467.292	259.684	3.182.383	2.579.598	17.921.971
2019	7.642.910	3.790.104	467.292	259.684	3.182.383	2.579.598	35.843.942
2020	7.642.910	3.790.104	467.292	259.684	3.182.383	2.579.598	53.765.913
2021	7.642.910	3.790.104	467.292	259.684	3.182.383	2.579.598	71.687.884
2022	7.642.910	3.790.104	467.292	259.684	3.182.383	2.579.598	89.609.855
2023	7.642.910	3.790.104	467.292	259.684	3.182.383	2.579.598	107.531.826
2024	7.642.910	3.790.104	467.292	259.684	3.182.383	2.579.598	125.453.797
2025	7.642.910	3.790.104	467.292	259.684	3.182.383	2.579.598	143.375.768

- Escenario Base:

Tabla 5-13: Estimación diferencia de ingresos utilizando tarifa única establecida, escenario base (fuente: Elaboración propia)

Año	Casa Aislada		Casa Fila		Casa Pareada		Total
	1 piso	2 pisos	1 piso	2 pisos	1 Piso	2 pisos	
2018	15.285.820	7.580.208	934.584	519.368	6.364.766	5.159.196	35.843.942
2019	15.285.820	7.580.208	934.584	519.368	6.364.766	5.159.196	71.687.884
2020	15.285.820	7.580.208	934.584	519.368	6.364.766	5.159.196	107.531.826
2021	15.285.820	7.580.208	934.584	519.368	6.364.766	5.159.196	143.375.768
2022	15.285.820	7.580.208	934.584	519.368	6.364.766	5.159.196	179.219.710
2023	15.285.820	7.580.208	934.584	519.368	6.364.766	5.159.196	215.063.652
2024	15.285.820	7.580.208	934.584	519.368	6.364.766	5.159.196	250.907.594
2025	15.285.820	7.580.208	934.584	519.368	6.364.766	5.159.196	286.751.536

- Escenario optimista:

Tabla 5-14: Estimación diferencia de ingresos utilizando tarifa única establecida, escenario optimista
(fuente. Elaboración propia)

Año	Casa Aislada		Casa Fila		Casa Pareada		Total
	1 piso	2 pisos	1 piso	2 pisos	1 Piso	2 pisos	
2018	22.928.730	11.370.312	1.401.876	779.052	9.547.149	7.738.794	53.765.913
2019	22.928.730	11.370.312	1.401.876	779.052	9.547.149	7.738.794	107.531.826
2020	22.928.730	11.370.312	1.401.876	779.052	9.547.149	7.738.794	161.297.739
2021	22.928.730	11.370.312	1.401.876	779.052	9.547.149	7.738.794	215.063.652
2022	22.928.730	11.370.312	1.401.876	779.052	9.547.149	7.738.794	268.829.565
2023	22.928.730	11.370.312	1.401.876	779.052	9.547.149	7.738.794	322.595.478
2024	22.928.730	11.370.312	1.401.876	779.052	9.547.149	7.738.794	376.361.391
2025	22.928.730	11.370.312	1.401.876	779.052	9.547.149	7.738.794	430.127.304

La implementación de una tarifa adecuada para competir con el precio de la leña, genera una pérdida de utilidades por parte de la empresa eléctrica encargada de generar y distribuir la energía en la región de Aysén, la cual aumenta según sea el periodo proyectado que se encuentre, finalmente una vez terminadas las etapas de implementación de los nuevos sistemas de calefacción, esta cifra alcanza los valores de \$ 143.375.768, \$ 286.751.536 y \$ 430.127.304 anuales, para los escenarios pesimista, base y optimista respectivamente.

Discusión y conclusiones.

Los altos niveles de contaminación del aire en el sur de Chile y principalmente en la ciudad de Coyhaique, son producto de la utilización de leña como principal combustible con fines de calefacción domiciliaria. Producto de la combustión de leña se produce un alto nivel de emanación de material particulado fino respirable al aire, desde los domicilios en los cuales se produce, este material particulado fino MP_{10} produce un gran número de enfermedades de tipo respiratorio, convirtiendo la calefacción a leña domiciliaria como un problema país. La ciudad de Coyhaique en el año 2016 alcanzo los mayores niveles de polución en el aire de Latinoamérica convirtiéndola en la ciudad más contaminada, con un total de 127 episodios críticos. El plan de descontaminación atmosférica para la ciudad de Coyhaique presenta una serie de medidas con el fin de mitigar esta condición, siendo la arista principal la restricción sobre la utilización de artefactos de calefacción a leña y la calidad de la misma, siendo lo anterior el detonante sobre el alza del precio de la leña, debido a la poca oferta y excesiva demanda sobre la leña seca.

Los sistemas de calefacción eléctrica se presentan como una alternativa debido a la nula emisión de material particulado, siendo esto preponderante dada las circunstancias actuales de la ciudad, si bien los sistemas de calefacción propuestos no representan mucha complejidad de funcionamiento, se debe tener presente algunas consideraciones antes de ser implantados:

El arraigo del uso de la leña en la ciudad, los habitantes de la ciudad de Coyhaique al momento de referirse a calefacción, prefieren el uso de leña debido al bajo precio de los calefactores que utilizan leña, el fácil acceso a la leña, el trabajo que esta industria genera además del poco conocimiento de otras fuentes alternativas de calefacción presentes en el mercado, si bien en los últimos años se ha progresado en educar sobre el impacto que esta produce, en cuanto a la polución del aire, deforestación y baja calidad de este combustible, la leña sigue siendo utilizada por el bajo costo que esta presenta.

En el año 2007 se promulgó la reglamentación térmica vigente, en la cual se establecen diferentes zonas térmicas en el país, lo anterior con el fin de establecer parámetros mínimos que deben cumplir las construcciones para asegurar un comportamiento térmico adecuado. La ciudad de Coyhaique como la mayoría de las ciudades del sur de Chile están conformadas por edificaciones construidas antes del año 2007, no contando con las características constructivas adecuadas. Específicamente para la ciudad de Coyhaique más de un 90% de las viviendas no fue construida bajo la reglamentación térmica vigente, siendo esto preponderante para la implantación de nuevos sistemas de calefacción. El reacondicionamiento térmico de las viviendas es fundamental para mejorar las condiciones atmosféricas de la ciudad, ya que si minimizamos la demanda térmica de los hogares se precisa una menor cantidad de energía eléctrica, con el fin de alcanzar una temperatura agradable al interior de las viviendas.

Los calefactores eléctricos se convierten en una opción popular en el comercio en los meses de invierno, ya que existe una gran variedad de modelos y principios de funcionamiento, estos son adquiridos para calefaccionar una zona a la vez dependiendo de las necesidades del usuario, ya que esta tecnología es fácil de trasladar, limpios y fáciles de operar, claro está que a su vez estos

modelos comerciales contrastan su bajo precio con su alta demanda de energía eléctrica y poca eficiencia. Por otro lado, los sistemas de calefacción no presentan gran popularidad en el país, debido al desconocimiento de estos y los defectos que los modelos comerciales presentan.

La viabilidad de los sistemas eléctricos de calefacción se alcanza en las viviendas que han sido construidas después del año 2007, es evidente que el análisis de estos sistemas en hogares que no cumplan con un comportamiento térmico adecuado para la zona en cuestión, representa grandes costos principalmente a la gran demanda de energía eléctrica que estos requieren. Estos sistemas se basan en dos principios de funcionamiento, radiación y convección representados en paneles radiantes infrarrojos de onda larga y bombas de calor respectivamente.

Los sistemas de calefacción basados en paneles infrarrojos de onda larga y bombas de calor poseen la virtud de poseer niveles bajos de potencia instalada, con esto, los sistemas propuestos no intervienen las instalaciones eléctricas presentes en las viviendas, disminuyendo el costo de la intervención al no ser necesario modificar la red ya existente, y a su vez calefaccionar los hogares a un menor costo que las demás variantes eléctricas existentes.

Si bien la leña es el principal combustible y el de menor costo, la variante eléctrica no presenta un gran aumento en el costo de operación, cercano a los veinte mil pesos mensual, lo cual para el autor no es una cifra descomunal, en cuanto a sus beneficios respecta, claramente la gran diferencia radica en el costo asociado a la inversión inicial, ya que la opción eléctrica es aproximadamente de 4 a 7 veces mayor que la calefacción basada en leña, lo cual es considerable al momento de aplicar una alternativa limpia de emisiones.

Por otra parte, el impacto energético, por causas de demanda de energía eléctrica, sobre el sistema eléctrico de potencia presente en la región de Aysén, este se compone de 3 sistemas pequeños, Palena, General Carrera y Aysén, siendo este último en el cual estará inserto lo nuevos consumos producto de diversificar la matriz de calefacción en la zona. La demanda proyectada para el mejor de los casos, no alcanza el 10% de la demanda de energía eléctrica del año anterior, es decir no es gravitante la inserción de esta alternativa desde este aspecto.

Los beneficios de ejecutar esta alternativa son múltiples, por un lado, se logra disminuir de manera eficaz y eficiente los niveles de polución del aire en la ciudad, lo que lleva consigo un menor número de atenciones médicas en los meses de invierno por causas respiratorias, junto con la realización con normalidad de actividades cotidianas, las cuales están restringidas por las medidas presentes en el plan de descontaminación atmosférica. Además, en grado menor contribuir con la deforestación de bosque nativo en la Patagonia, ya que la gran mayoría de la leña que se utiliza para calefaccionar los hogares proviene de especies nativas presentes en la ciudad y sus alrededores, finalmente, el turismo es otro aspecto beneficiado, disminuyendo los niveles de contaminación en el aire en los meses de invierno, la región de Aysén a pesar de ser un paraíso natural, no contrastará con tener la ciudad más contaminada de Latinoamérica en los meses de invierno.

Dado que el plan de descontaminación atmosférica dentro de sus medidas, destaca el recambio de un gran número calefactores y de estos la mitad debe utilizar un combustible distinto a la leña,

provoca que sea el momento preciso para promover el uso de calefacción eléctrica, ya que este reemplazo de calefactores contará con subsidios hacia los habitantes de la ciudad, disminuyendo el impacto económico de la inversión inicial de los sistemas propuestos, ya que difícilmente los habitantes de una vivienda, realizaran un cambio de calefacción por sus propios medios, más aun cuando se trata de un sistema que cuanta con un alto valor de adquisición.

Claro está que la diversificación de la matriz térmica en la ciudad no acaba con las emisiones de material particulado, solo traslada las emisiones a otros procesos, como la generación de energía eléctrica en este caso, lo anterior debido a que la matriz energética de energía eléctrica está compuesta básicamente por 3 tipos diferentes en la región de Aysén, térmica, hidráulica y eólica, siendo las 2 primeras las más importantes por una parte la generación térmica alcanza un 48% del total y la hidráulica un 47%, según lo anterior existe una gran probabilidad de que las emisiones de material particulado se traspasen desde el uso de leña a las centrales térmicas mencionadas, al contrario de lo que se intuye, ya que la región de Aysén posee una gran riqueza del recurso hidráulico, este no es explotado en su totalidad, si bien existe un rechazo a la explotación sobre del agua a través de mega centrales hidráulicas, Hidroaysen y la central de rio cuervo son claros ejemplos de lo anterior.

Una alternativa para la diversificación de la matriz energética en la región de Aysén, está en pequeños centros de generación hidráulica, dándole utilidad al recurso hidráulico disponible en las cuencas de la zona, junto con la posibilidad de vender los excedentes de energía, esto tiene el potencial de convertirse en un nicho de negocios sin explotar masivamente, debido principalmente a la poca conciencia en los dueños de estos predios, los cuales no tienen una idea definida de como explotar los recursos que poseen, si en un futuro cercano se logra implementar sistemas de generación propios en zonas rurales, esta lograría un entorno más auspicioso hacia los sistemas de calefacción eléctricos, ya que estos últimos podrían funcionar de manera autónoma dando uso aun recurso existente y muy poco explotado de manera particular.

El plan de descontaminación atmosférica básicamente contiene una serie de medidas con la finalidad de amainar los problemas de polución en el aire en la ciudad de Coyhaique, claro está que este problema se replica en todas las ciudades presentes en la región en distintos grados, no existe evidencia cuantitativa de lo anterior, ya que los demás pueblos y ciudades no cuentan con un sistema de monitoreo de la calidad del aire, existiendo lugares en los cuales esta condición podría llegar a ser incluso de mayor gravedad que en la capital regional. Si bien las medidas de descontaminación no son de carácter obligatorio en el resto de las ciudades de la región, es al menos interesante la idea de ejecutar de manera conjunta. Por un lado, implementar sistemas de generación distribuidos en zonas rurales, en los cuales se encuentran en mayor cantidad cuencas con un alto potencial hidráulico, y por otra parte los sistemas de calefacción eléctricos propuestos, logrando así de forma experimental a menor escala y de rápida la evolución de la calidad del aire en estos lugares. El fin de implementar lo anterior en una localidad pequeña, se debe a la simplicidad que en ellos existen, poco tráfico vehicular, en muchos casos no existen procesos industriales, ni grandes centros urbanos, todo esto implica que los niveles de polución en el aire son responsabilidad exclusiva del uso de leña.

La contaminación del aire es un problema país, destacando la ciudad de Coyhaique capital regional de Aysén, y además la ciudad de menor tamaño de las ciudades del sur de Chile en donde se replica el mismo problema, con idénticas causales, si la propuesta desarrollada en este trabajo logra contribuir con lo anterior, esto debe replicarse en las distintas urbes en la cuales es necesaria una alternativa, claro está que lo expuesto en este proyecto está basado en las características propias de la capital regional de la XI región, claro está que la esencia de los sistemas de calefacción eléctricos son sencilla y fácil de adaptar según sean los requerimientos presentes en la ciudad.

Bibliografía

- [1] Organización Mundial de la Salud, «Calidad del aire ambiente (exterior) y salud,» Septiembre 2016. [En línea]. Available: www.who.cl.
- [2] Ministerio del Medio Ambiente, «División calidad del aire Ministerio del Medio Ambiente,» Septiembre 2016. [En línea]. Available: portal.mma.gob.cl.
- [3] Ministerio Secretaria General de la Presidencia, Comisión Nacional del Medio Ambiente, «Decreto Supremo 59 establece norma de calidad primaria para material particulado respirable MP₁₀,» 17 de Octubre de 2015.
- [4] Creara, «Análisis energético de viviendas para ciudades del centro y sur de Chile y sistematización en la información asociada al uso de leña "Coyhaique",» 11 de Diciembre de 2013.
- [5] Instituto Nacional de Estadísticas, «Informe anual medio ambiente,» 2015.
- [6] Plan de Desarrollo Comunal, «Informe N°1 "Análisis y complementación global del diagnóstico",» 2014.
- [7] «SINCA Sistema de Información Nacional de la Calidad del Aire,» Ministerio del Medio Ambiente, [En línea]. Available: <http://sinca.mma.gob.cl/index.php/region?id=XI>. [Último acceso: 25 septiembre 2016].
- [8] Ministerio del Medio Ambiente, «Plan de decontaminación atmosférica para la ciudad de Coyhaique y su zona circundante,» 2016.
- [9] Ministerio de Vivienda y Urbanismo, «Manual de aplicación de la reglamentación térmica».
- [10] Ministerio de Vivienda y Urbanismo, «Guía de diseño para la eficiencia energética en la vivienda social».

-
- [11] Ministerio de Vivienda y Urbanismo, «NCh 2151 Madera laminada encolada estructural».
- [12] Ministerio de Vivienda y Urbanismo, «Acondicionamiento térmico-envolvente térmica de edificios cálculo de resistencias y transmitancias térmicas,» 2007.
- [13] Ministerio de Vivienda y Urbanismo, «Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones».
- [14] Ministerio de Vivienda y Urbanismo, «NCh 1079 Arquitectura y construcción- Zonificación climático habitacional para Chile y recomendaciones para el diseño arquitectónico,» 2008.
- [15] Ministerio de Energía, «Estudio de usos finales y curva de oferta de la conservación de la energía en el sector residencial».
- [16] Ministerio de Vivienda y Urbanismo, «Programa de inversión pública, para fomentar el reacondicionamiento térmico del parque de viviendas construidas».
- [17] Frank Kreith, Principios transferencia de calor séptima edición.
- [18] Negrizza, «¿Que es una bomba de calor?,» [En línea]. Available: www.nergiza.com.
- [19] El aire acondicionado, «Los diferentes tipos de bomba de calor y su funcionamiento,» [En línea]. Available: www.elaireacondicionado.com.
- [20] estufas.org, «estufas oleoelectricas,» [En línea]. Available: www.estufas.org.
- [21] Richard Watson, Manual de calentamiento y enfriamiento radiante, 2008.
- [22] Dario Camuffo, Calefacción amigable con los textiles.
- [23] Peter Kasack, Medición comparativa ejemplar entre calefacción radiante infrarrojo y calefacción de gas en edificios antiguos, 2009.
- [24] Ken Parson, Ambientes térmicos humanos, los efectos del ambiente caliente, moderado y frío en la salud humana, 2014.
- [25] Atze Buterm, Cubierta termal, 2008.
- [26] Zhou. Wang, «modelamiento confort térmico con pisos y cielos radiantes,» de 4° *internationall building physics conference*, 2008.
- [27] Warmup, «Principios básicos de funcionamiento,» [En línea]. Available: www.warmup.cl.
- [28] logismarketes, «suelo radiante eléctrico el calor que no se ve».

-
- [29] Mori Market Opinion Research. «Caracterización de artefactos de calefacción residencial,» 2015.
- [30] Superintendencia de Electricidad y Combustible, «Norma Chilena Eléctrica 12/87».
- [31] Superintendencia de Electricidad y Combustibles, «Norma Chilena Eléctrica 4/2003».
- [32] Arak, «Manual del usuario malla térmica Arak,» 2015.
- [33] Ecofilm, «Manual del usuario lámina calefactora Ecofilm,» 2016.
- [34] Alumat, «Manual del usuario manta calefactora Alumat 140,» 2016.
- [35] Ecofilm, «Manual del usuario piso radiante Caleo Heating Film 130,» 2016.
- [36] Heating series, «Manual del usuario panel Pro Heating PE 700,» 2016.
- [37] Heating Series, «Manual del usuario panel Glass Heating GD 500,» 2016.
- [38] TermoIQ, «Manual del usuario panel TermoIQ THHP 12060,» 2016.
- [39] BVF series, «Manual del usuario panel BVF 800,» 2016.
- [40] Split R-410 series, «Manual del usuario split muro ecológico R-410,» 2016.
- [41] Split Cool Design Series, «Manual del usuario split muro Cool Design,» 2016.
- [42] Split Inverter Series, «Manual del usuario split muro inverter ecológico,» 2016.
- [43] Midea CS Series, «Manual del usuario split muro HVAC midea CS 24H,» 2016.
- [44] Split ANWO Series, «Manual del usuario split muro ecológico ANWO,» 2016.
- [45] Blank & Tarquin, «Ingeniería Económica 4° edición».
- [46] Ingenieros Industriales, «Cálculo de cargas térmicas,» 2005.
- [47] BOSCA Series, «Manual del usuario calefactores a leña BOSCA ECO 350,» 2017.
- [48] Ministerio de Energía, «Cadena consumo de leña,» 2015.

A Cálculos de transmitancia, demanda energética de las viviendas antes y después de la RT.

El cálculo del coeficiente global de transferencia de calor, junto con la demanda de energía en calefacción y el consumo energético de calefacción se desarrollarán en el siguiente apartado. Como existen diferencias notorias en los materiales de construcción debido a las reglamentaciones térmicas, las cuales han evolucionado en el tiempo, el desarrollo de estos cálculos comprende 2 partes, una se basará en las viviendas construidas antes de 2007, y la segunda parte sobre las viviendas construidas después de 2007.

A.1 Cálculos de transmitancia, demanda energética de las viviendas antes de la RT de 2007.

A.1.1 Determinación de U, Q y C, vivienda aislada de madera de 1 piso.

Características geométricas de la vivienda aislada de 1 piso.

El tamaño de las ventanas y de las puertas se han asumido, basándose en los modelos de mayor utilización en el mercado.

Tabla A-1: Características geométricas de la vivienda aislada 1 piso (fuente: Análisis energético de viviendas Coyhaique)

Tipo de vivienda	m ²	Ventanas		
		Pequeñas	Medianas	Grandes
1 piso	55	2	3	1
Ventanas 1 piso	Pequeñas [m ²]	Medianas [m ²]	Grandes [m ²]	Total
	0.24	0.90	1.44	
	0.48	2.70	1.56	4.74
Puerta	Ancho [m]	Alto [m]	Marco [m]	Total
	0.80	2.00	0.08	1.68

A Cálculos de transmitancia, demanda energética de las viviendas antes y después de la RT.

Determinación transmitancia vivienda asilada 1 piso.

Tabla A-2: Variables involucradas en el cálculo de la transmitancia vivienda aislada 1 piso (fuente: Análisis energético viviendas Coyhaique)

Muros									
Elemento	e [m]	λ [W/m·K]	R [K·m²/W]	% Área	R_{si}	R_{se}	$R_{T\ MATERIAL}$ [K·m²/W]	R_T [K·m²/W]	U_{MURO} [W/K·m²]
Madera	0,100	0,10	0,96	100%	0,12	0,00	-	1,12	0,89
Planchas	0,010	0,26	0,038	100%	0,12	0,00	-	1,12	0,89
Ventana									
Elemento	e [m]	λ [W/m·K]	R [K·m²/W]	% Área	R_{si}	R_{se}	R_T [K·m²/W]	$U_{MATERIAL}$ [W/K·m²]	$U_{VENTANA}$ [W/K·m²]
Marco	0,03	0,10	0,24	20%	0,12	0,00	0,36	2,77	7,09
Vidrio	0,003	1,20	0,003	80%	0,12	0,00	0,12	8,16	7,09
Puerta									
Elemento	e [m]	λ [W/m·K]	R [K·m²/W]	% Área	R_{si}	R_{se}	$R_{T\ MATERIAL}$ [K·m²/W]	R_T [K·m²/W]	U_{PUERTA} [W/K·m²]
Marco	0,03	0,10	0,24	20%	0,12	0,00	0,36	2,77	2,77
Puerta	0,03	0,10	0,24	80%	0,12	0,00	0,36	2,77	2,77
Techos									
Elemento	e [m]	λ [W/m·K]	R [K·m²/W]	% Área	R_{si}	R_{se}	$R_{T\ MATERIAL}$ [K·m²/W]	R_T [K·m²/W]	U_{TECHO} [W/K·m²]
Yeso	0,01	0,24	0,05	-	0,09	0,00	-	1,48	0,68
Lana vidrio	0,04	0,04	1,05	-	0,09	0,00	-	1,48	0,68
Listones	0,03	0,10	0,29	-	0,09	0,00	-	1,48	0,68
Piso									
Elemento	e [m]	λ [W/m·K]	R [K·m²/W]	% Área	R_{si}	R_{se}	$R_{T\ MATERIAL}$ [K·m²/W]	R_T [K·m²/W]	U_{PISO} [W/K·m²]
Hormigón	0,01	1,63	-	-	-	-	-	-	1,40

Determinación coeficiente volumétrico global pérdidas térmicas por la transmisión de la envolvente vivienda aislada 1 piso.

$$G_{v1} = \frac{\sum_i U_i \cdot S_i + K_L L}{V} \quad (A-1)$$

A Cálculos de transmitancia, demanda energética de las viviendas antes y después de la RT.

Tabla A-3: Determinación GV1 vivienda aislada 1 piso.

		Área [m ²]	Perímetro [m]	U [W/K·m ²]	K_L [W/K·m]	Total
Muros		93,00	-	0,89	-	83,04
Ventanas	Vidrio	3,79	-	7,09	-	33,55
	Marco	0,95	-	2,77	-	33,55
Puertas		1,68	-	2,77	-	4,65
Techo		55,00	-	0,68	-	37,13
Piso		-	31	-	1,4	43,40
						<u>201,77</u>

La vivienda aislada de 1 piso comprende un volumen de 233.75 m³, implicando un valor de G_{V1} de 0.86.

Determinación coeficiente global de pérdidas térmicas totales vivienda aislada 1 piso.

$$G_{V2} = G_{V1} + 0.35 \cdot n \quad (\text{A-2})$$

Siendo n=2, el valor de G_{V2} es igual a 1,56

Determinación demanda energética anual en calefacción vivienda aislada 1 piso.

$$Q = \frac{G_{V2} \cdot V \cdot GD \cdot 24}{1000} \quad (\text{A-3})$$

Dando como resultado, que la demanda energética anual en calefacción es igual a 20.468 kWh/año.

Consumo energético anual en calefacción vivienda aislada 1 piso.

$$C = k \cdot Q \quad (\text{A-4})$$

Siendo K = 1.538 el resultado del consumo energético es igual a 31.489 kWh/año.

A.1.2 Determinación U, Q y C, vivienda aislada de madera de 2 pisos.

Características geométricas de la vivienda aislada 2 pisos.

El tamaño de las ventanas y de las puertas se han asumido, basándose en los modelos de mayor utilización en el mercado.

A Cálculos de transmitancia, demanda energética de las viviendas antes y después de la RT.

Tabla A-4: Características geométricas de la vivienda aislada 2 pisos (fuente: Análisis energético de viviendas Coyhaique)

Tipo de vivienda	m ²	Ventanas		
		Pequeñas	Medianas	Grandes
2 piso	80	3	3	1
Ventanas 2 pisos	Pequeñas [m ²]	Medianas [m ²]	Grandes [m ²]	Total
	0.24	0.90	1.44	
	0.70	2.70	1.44	4.86
Puerta	Ancho [m]	Alto [m]	Marco [m]	Total
	0.80	2.00	0.08	3,35

Determinación transmitancia vivienda aislada 2 pisos.

Tabla A-5: Variables involucradas en el cálculo de la transmitancia vivienda aislada 2 pisos (fuente: Análisis energético viviendas Coyhaique)

Muros

Elemento	e [m]	λ [W/m·K]	R [K·m ² /W]	% Área	R_{si}	R_{se}	$R_{T\ MATERIAL}$ [K·m ² /W]	R_T [K·m ² /W]	U_{MURO} [W/K·m ²]
Madera	0,100	0,10	0,96	100%	0,12	0,00	-	1,12	0,89
Planchas	0,010	0,26	0,038	100%	0,12	0,00	-	1,12	0,89

Ventana

Elemento	e [m]	λ [W/m·K]	R [K·m ² /W]	% Área	R_{si}	R_{se}	R_T [K·m ² /W]	$U_{MATERIAL}$ [W/K·m ²]	$U_{VENTANA}$ [W/K·m ²]
Marco	0,004	210,00	0,00002	20%	0,12	0,00	0,36	8,33	8,20
Vidrio	0,003	1,20	0,003	80%	0,12	0,00	0,12	8,16	8,20
Marco pino	0,03	0,10	0,24	20%	0,12	0,00	0,36	2,77	7,09
Vidrio	0,003	1,20	0,003	80%	0,12	0,00	0,12	8,16	7,06

Puerta

Elemento	e [m]	λ [W/m·K]	R [K·m ² /W]	% Área	R_{si}	R_{se}	$R_{T\ MATERIAL}$ [K·m ² /W]	R_T [K·m ² /W]	U_{PUERTA} [W/K·m ²]
Marco	0,03	0,10	0,24	20%	0,12	0,00	0,36	2,77	2,77
Puerta	0,03	0,10	0,24	80%	0,12	0,00	0,36	2,77	2,77

Techos

Elemento	e [m]	λ [W/m·K]	R [K·m ² /W]	% Área	R_{si}	R_{se}	$R_{T\ MATERIAL}$ [K·m ² /W]	R_T [K·m ² /W]	U_{TRCHO} [W/K·m ²]
Yeso	0,01	0,24	0,05	-	0,09	0,00	-	1,48	0,68

A Cálculos de transmitancia, demanda energética de las viviendas antes y después de la RT.

Lana vidrio	0,04	0,04	1,05	-	0,09	0,00	-	1,48	0,68
Listones	0,03	0,10	0,29	-	0,09	0,00	-	1,48	0,68
Piso									
Elemento	e [m]	λ [W/m·K]	R [K·m²/W]	% Área	R_{si}	R_{se}	$R_{T\ MATERIAL}$ [K·m²/W]	R_T [K·m²/W]	U_{PISO} [W/K·m²]
Hormigón	0,01	1,63	-	-	-	-	-	-	1,40

Determinación coeficiente volumétrico global de pérdidas térmicas por la transmisión de la envolvente vivienda aislada 2 pisos.

$$G_{V1} = \frac{\sum_i U_i \cdot S_i + K_L L}{V} \quad (A-5)$$

Tabla A-6: Determinación GV1 vivienda aislada 2 pisos (fuente: Análisis energético viviendas Coyhaique)

		Área [m²]	Perímetro [m]	U [W/K·m²]	K_L [W/K·m]	Total
Muros		156,00	-	0,89	-	139,29
Ventanas	Vidrio	3,89	-	8,20	-	39,04
	Marco	0,97	-	8,20	-	39,04
Puertas		3,35	-	2,77	-	9,30
Techo		40,00	-	0,68	-	27,01
Piso		-	26	-	1,4	36,40
						251,03

La vivienda aislada de 2 pisos comprende un volumen de 290 m³, implicando un valor de G_{V1} de 0.87.

Determinación coeficiente global de pérdidas térmicas totales vivienda aislada 2 pisos.

$$G_{V2} = G_{V1} + 0.35 \cdot n \quad (A-6)$$

Siendo n=2, el valor de G_{V2} es igual a 1,57

Determinación demanda energética anual en calefacción vivienda aislada 2 pisos.

$$Q = \frac{G_{V2} \cdot V \cdot GD \cdot 24}{1000} \quad (A-7)$$

Dando como resultado, que la demanda energética anual en calefacción es igual a 25.433 KWh/año.

A Cálculos de transmitancia, demanda energética de las viviendas antes y después de la RT.

Consumo energético anual en calefacción vivienda aislada 2 pisos.

$$C = k \cdot Q \quad (\text{A-8})$$

Siendo $K = 1.538$ el resultado del consumo energético es igual a 39.127 KWh/año.

A.1.3 Determinación U, Q y C, vivienda fila de madera de 1 piso.

Características geométricas vivienda fila 1 piso.

El tamaño de las ventanas y de las puertas se han asumido, basándose en los modelos de mayor utilización en el mercado.

Tabla A-7: Características geométricas vivienda fila 1 piso (fuente: Análisis energético de viviendas Coyhaique)

Tipo de vivienda	m ²	Ventanas		
		Pequeñas	Medianas	Grandes
1 piso	45	1	3	0
Ventanas 1 piso	Pequeñas [m ²]	Medianas [m ²]	Grandes [m ²]	Total
	0.24	0.90	1.44	
	0.24	2.70	0,00	2,94
Puerta	Ancho [m]	Alto [m]	Marco [m]	Total
	0.80	2.00	0.08	1.68

Determinación transmitancia vivienda fila 1 piso.

Tabla A-8: Variables involucradas en el cálculo de la transmitancia vivienda fila 1 piso (fuente; análisis energético viviendas Coyhaique)

Muros

Elemento	e [m]	λ [W/m·K]	R [K·m ² /W]	% Área	R_{si}	R_{se}	$R_{T\text{ MATERIAL}}$ [K·m ² /W]	R_T [K·m ² /W]	U_{MURO} [W/K·m ²]
Madera	0,100	0,10	0,96	100%	0,12	0,00	-	1,12	0,89
Planchas	0,010	0,26	0,038	100%	0,12	0,00	-	1,12	0,89

Ventana

Elemento	e [m]	λ [W/m·K]	R [K·m ² /W]	% Área	R_{si}	R_{se}	R_T [K·m ² /W]	$U_{\text{ MATERIAL}}$ [W/K·m ²]	$U_{\text{ VENTANA}}$ [W/K·m ²]
Marco	0,03	0,10	0,00002	20%	0,12	0,00	0,36	2,77	7,09
Vidrio	0,003	1,20	0,003	80%	0,12	0,00	0,12	8,16	7,09
Marco Pino	0,03	0,10	0,24	20%	0,12	0,00	0,36	2,77	2,77
Vidrio	0,03	0,10	0,003	80%	0,12	0,00	0,36	2,77	2,77

A Cálculos de transmitancia, demanda energética de las viviendas antes y después de la RT.

Puerta									
Elemento	e [m]	λ [W/m·K]	R [K·m ² /W]	% Área	R_{si}	R_{se}	$R_{T MATERIAL}$ [K·m ² /W]	R_T [K·m ² /W]	U_{PUERTA} [W/K·m ²]
Marco	0,03	0,10	0,24	20%	0,12	0,00	0,36	2,77	2,77
Puerta	0,03	0,10	0,24	80%	0,12	0,00	0,36	2,77	2,77

Techos									
Elemento	e [m]	λ [W/m·K]	R [K·m ² /W]	% Área	R_{si}	R_{se}	$R_{T MATERIAL}$ [K·m ² /W]	R_T [K·m ² /W]	U_{TECHO} [W/K·m ²]
Yeso	0,01	0,24	0,05	-	0,09	0,00	-	1,48	0,68
Lana vidrio	0,04	0,04	1,05	-	0,09	0,00	-	1,48	0,68
Listones	0,03	0,10	0,29	-	0,09	0,00	-	1,48	0,68

Piso									
Elemento	e [m]	λ [W/m·K]	R [K·m ² /W]	% Área	R_{si}	R_{se}	$R_{T MATERIAL}$ [K·m ² /W]	R_T [K·m ² /W]	U_{PISO} [W/K·m ²]
Hormigón	0,01	1,63	-	-	-	-	-	-	1,40

Determinación coeficiente volumétrico global de pérdidas térmicas por la transmisión de la envolvente vivienda fila 1 piso.

$$G_{V1} = \frac{\sum_i U_i \cdot S_i + K_L L}{V} \quad (A-9)$$

Tabla A-9: Determinación GV1 vivienda fila 1 piso (fuente: Análisis energético viviendas Coyhaique)

	Área [m ²]	Perímetro [m]	U [W/K·m ²]	K_L [W/K·m]	Total
Muros	60,00	-	0,89	-	53,57
Ventanas	Vidrio	-	7,09	-	20,83
	Marco	-	2,77	-	20,83
Puertas	1,68	-	2,77	-	4,65
Techo	45,00	-	0,68	-	30,38
Piso	-	29	-	1,4	40,60
					150,03

La vivienda fila de 1 piso comprende un volumen de 191.25 m³, implicando un valor de G_{V1} de 0.78.

Determinación coeficiente global de pérdidas térmicas totales vivienda fila 1 piso.

$$G_{V2} = G_{V1} + 0.35 \cdot n \quad (A-10)$$

Siendo n=2, el valor de G_{V2} es igual a 1,48

Determinación demanda energética anual en calefacción vivienda fila 1 piso.

$$Q = \frac{G_{V2} \cdot V \cdot GD \cdot 24}{1000} \quad (A-11)$$

Dando como resultado, que la demanda energética anual en calefacción es igual a 15,903 KWh/año.

Consumo energético anual en calefacción vivienda fila 1 piso.

$$C = k \cdot Q \quad (A-12)$$

Siendo K = 1.538 el resultado del consumo energético es igual a 42,467 KWh/año.

A.1.4 Determinación U, Q y C, vivienda fila de madera de 2 pisos.

Características geométricas vivienda fila 2 pisos.

El tamaño de las ventanas y de las puertas se han asumido, basándose en los modelos de mayor utilización en el mercado.

Tabla A-10: Características geométricas de la vivienda fila 2 pisos (fuente: Análisis energético de viviendas Coyhaique)

Tipo de vivienda	m ²	Ventanas		
		Pequeñas	Medianas	Grandes
1 piso	40	1	3	0

	Pequeñas [m ²]	Medianas [m ²]	Grandes [m ²]	Total
Ventanas 1 piso	0.24	0.90	1.44	
	0.24	2.70	0,00	2,94

Puerta	Ancho [m]	Alto [m]	Marco [m]	Total
	0.80	2.00	0.08	1.68

Determinación transmitancia vivienda fila 2 pisos.

Tabla A-11: Variables involucradas en el cálculo de la transmitancia vivienda fila 2 pisos (fuente: Análisis energético viviendas Coyhaique)

Muros									
Elemento	e [m]	λ [W/m·K]	R [K·m ² /W]	% Área	R_{si}	R_{se}	$R_{T \text{ MATERIAL}}$ [K·m ² /W]	R_T [K·m ² /W]	U_{MURO} [W/K·m ²]
Madera	0,100	0,10	0,96	100%	0,12	0,00	-	1,12	0,89
Planchas	0,010	0,26	0,038	100%	0,12	0,00	-	1,12	0,89

A Cálculos de transmitancia, demanda energética de las viviendas antes y después de la RT.

Ventana									
Elemento	e [m]	λ [W/m·K]	R [K·m²/W]	% Área	R_{si}	R_{se}	R_T [K·m²/W]	$U_{MATERIAL}$ [W/K·m²]	$U_{VENTANA}$ [W/K·m²]
Marco	0,03	210,00	0,00002	20%	0,12	0,00	0,12	8,33	7,09
Vidrio	0,003	1,20	0,003	80%	0,12	0,00	0,12	8,16	7,09
Marco Pino	0,03	0,10	0,24	20%	0,12	0,00	0,36	2,77	2,77
Vidrio	0,003	1,20	0,003	80%	0,12	0,00	0,12	8,16	2,77

Puerta									
Elemento	e [m]	λ [W/m·K]	R [K·m²/W]	% Área	R_{si}	R_{se}	$R_T MATERIAL$ [K·m²/W]	R_T [K·m²/W]	U_{PUERTA} [W/K·m²]
Marco	0,03	0,10	0,24	20%	0,12	0,00	0,36	2,77	2,77
Puerta	0,03	0,10	0,24	80%	0,12	0,00	0,36	2,77	2,77

Techos									
Elemento	e [m]	λ [W/m·K]	R [K·m²/W]	% Área	R_{si}	R_{se}	$R_T MATERIAL$ [K·m²/W]	R_T [K·m²/W]	U_{TECHO} [W/K·m²]
Yeso	0,01	0,24	0,05	-	0,09	0,00	-	1,48	0,68
Lana vidrio	0,04	0,04	1,05	-	0,09	0,00	-	1,48	0,68
Listones	0,03	0,10	0,29	-	0,09	0,00	-	1,48	0,68

Piso									
Elemento	e [m]	λ [W/m·K]	R [K·m²/W]	% Área	R_{si}	R_{se}	$R_T MATERIAL$ [K·m²/W]	R_T [K·m²/W]	U_{PISO} [W/K·m²]
Hormigón	0,01	1,63	-	-	-	-	-	-	1,40

Determinación coeficiente volumétrico global de pérdidas térmicas por la transmisión de la envolvente vivienda fila 2 pisos.

$$G_{V1} = \frac{\sum_i U_i \cdot S_i + K_L L}{V} \quad (A-13)$$

Tabla A-12: Determinación GV1 viviendas fila 2 pisos (fuente: Análisis energético viviendas Coyhaique)

		Área [m²]	Perímetro [m]	U [W/K·m²]	K_L [W/K·m]	Total
Muros		120,00	-	0,89	-	107,14
Ventanas	Vidrio	2,35	-	7,09	-	20,83
	Marco	0,59	-	7,09	-	20,83
Puertas		1,68	-	2,77	-	4,65
Techo		20,00	-	0,68	-	13,50
Piso		-	24	-	1,4	33,60
						<u>179,73</u>

A Cálculos de transmitancia, demanda energética de las viviendas antes y después de la RT.

La vivienda fila de 2 pisos comprende un volumen de 145 m³, implicando un valor de G_{V1} de 1,24.

Determinación coeficiente global de pérdidas térmicas totales vivienda fila 2 pisos.

$$G_{V2} = G_{V1} + 0.35 \cdot n \quad (\text{A-14})$$

Siendo $n=2$, el valor de G_{V2} es igual a 1,94

Determinación demanda energética anual en calefacción vivienda fila 2 pisos.

$$Q = \frac{G_{V2} \cdot V \cdot GD \cdot 24}{1000} \quad (\text{A-15})$$

Dando como resultado, que la demanda energética anual en calefacción es igual a 15,735 KWh/año.

Consumo energético anual en calefacción vivienda fila 2 pisos.

$$C = k \cdot Q \quad (\text{A-16})$$

Siendo $K = 1.538$ el resultado del consumo energético es igual a 24,236 KWh/año.

A.1.5 Determinación U, Q y C, vivienda pareada de madera de 1 piso.

Características geométricas de la vivienda pareada 1 piso.

El tamaño de las ventanas y de las puertas se han asumido, basándose en los modelos de mayor utilización en el mercado.

Tabla A-13: Características geométricas de la vivienda pareada 1 piso(fuente: Análisis energético de viviendas Coyhaique)

Tipo de vivienda	m ²	Ventanas		
		Pequeñas	Medianas	Grandes
1 piso	60	2	3	0
	Pequeñas [m ²]	Medianas [m ²]	Grandes [m ²]	Total
Ventanas 1 piso	0.24	0.90	1.44	
	0.48	2.70	0,00	3,18
Puerta	Ancho [m]	Alto [m]	Marco [m]	Total
	0.80	2.00	0.08	1.68

A Cálculos de transmitancia, demanda energética de las viviendas antes y después de la RT.

Determinación transmitancia vivienda pareada 1 piso.

Tabla A-14: Variables involucradas en el cálculo de la transmitancia vivienda pareada 1 piso (fuente: Análisis energético viviendas Coyhaique)

Muros									
Elemento	e [m]	λ [W/m·K]	R [K·m²/W]	% Área	R_{si}	R_{se}	$R_{T\ MATERIAL}$ [K·m²/W]	R_T [K·m²/W]	U_{MURO} [W/K·m²]
Madera	0,100	0,10	0,96	100%	0,12	0,00	-	1,12	0,89
Planchas	0,010	0,26	0,038	100%	0,12	0,00	-	1,12	0,89
Ventana									
Elemento	e [m]	λ [W/m·K]	R [K·m²/W]	% Área	R_{si}	R_{se}	R_T [K·m²/W]	$U_{MATERIAL}$ [W/K·m²]	$U_{VENTANA}$ [W/K·m²]
Marco	0,03	0,10	0,24	20%	0,12	0,00	0,36	2,77	7,09
Vidrio	0,003	1,20	0,003	80%	0,12	0,00	0,12	8,16	7,09
Puerta									
Elemento	e [m]	λ [W/m·K]	R [K·m²/W]	% Área	R_{si}	R_{se}	$R_{T\ MATERIAL}$ [K·m²/W]	R_T [K·m²/W]	U_{PUERTA} [W/K·m²]
Marco	0,03	0,10	0,24	20%	0,12	0,00	0,36	2,77	2,77
Puerta	0,03	0,10	0,24	80%	0,12	0,00	0,36	2,77	2,77
Techos									
Elemento	e [m]	λ	R	% Área	R_{si}	R_{se}	$R_{T\ MATERIAL}$	R_T	U_{TECHO}
Yeso	0,01	0,24	0,05	-	0,09	0,00	-	1,48	0,68
Lana vidrio	0,04	0,04	1,05	-	0,09	0,00	-	1,48	0,68
Listones	0,03	0,10	0,29	-	0,09	0,00	-	1,48	0,68
Piso									
Elemento	e [m]	λ	R	% Área	R_{si}	R_{se}	$R_{T\ MATERIAL}$	R_T	U_{PISO}
Hormigón	0,01	1,63	-	-	-	-	-	-	1,40

Determinación coeficiente volumétrico global de pérdidas térmicas por la transmisión de la envolvente vivienda pareada 1 piso.

$$G_{v1} = \frac{\sum_i U_i \cdot S_i + K_L L}{V} \quad (A-17)$$

A Cálculos de transmitancia, demanda energética de las viviendas antes y después de la RT.

Tabla A-15: Determinación GV1 vivienda pareada 1 piso (fuente: Análisis energético viviendas Coyhaique)

		Área [m ²]	Perímetro [m]	U [W/K·m ²]	K_L [W/K·m]	Total
Muros		78,00	-	0,89	-	69,64,14
Ventanas	Vidrio	2,54	-	7,09	-	22,53
	Marco	0,64	-	7,09	-	22,53
Puertas		1,68	-	2,77	-	4,65
Techo		60,00	-	0,68	-	40,51
Piso		-	32	-	1,4	44,80
						181,13

La vivienda pareada de 1 piso comprende un volumen de 255 m³, implicando un valor de G_{V1} de 0,71.

Determinación coeficiente global de pérdidas térmicas totales vivienda pareada 1 piso.

$$G_{V2} = G_{V1} + 0.35 \cdot n \quad (\text{A-18})$$

Siendo n=2, el valor de G_{V2} es igual a 1,41

Determinación demanda energética anual en calefacción vivienda pareada 1 piso.

$$Q = \frac{G_{V2} \cdot V \cdot GD \cdot 24}{1000} \quad (\text{A-19})$$

Dando como resultado, que la demanda energética anual en calefacción es igual a 20,201 KWh/año.

Consumo energético anual en calefacción vivienda pareada 1 piso.

$$C = k \cdot Q \quad (\text{A-20})$$

Siendo K = 1.538 el resultado del consumo energético es igual a 31,079 KWh/año.

A.1.6 Determinación U, Q y C vivienda pareada de madera de 2 pisos.

Características geométricas de la vivienda pareada 2 pisos.

El tamaño de las ventanas y de las puertas se han asumido, basándose en los modelos de mayor utilización en el mercado.

A Cálculos de transmitancia, demanda energética de las viviendas antes y después de la RT.

Tabla A-16: Características geométricas de la vivienda pareada 2 pisos (fuente: Análisis energético de viviendas Coyhaique)

Tipo de vivienda	m ²	Ventanas		
		Pequeñas	Medianas	Grandes
1 piso	55	2	3	0
Ventanas 1 piso	Pequeñas [m ²]	Medianas [m ²]	Grandes [m ²]	Total
	0.24	0.90	1.44	
	0.48	2.70	0,00	3,18
Puerta	Ancho [m]	Alto [m]	Marco [m]	Total
	0.80	2.00	0.08	1.68

Determinación transmitancia viviendas pareadas 2 pisos.

Tabla A-17: Variables involucradas en el cálculo de la transmitancia vivienda pareada 2 pisos (fuente: Análisis energético viviendas Coyhaique)

Muros

Elemento	e [m]	λ [W/m·K]	R [K·m ² /W]	% Área	R_{si}	R_{se}	$R_{T\ MATERIAL}$ [K·m ² /W]	R_T [K·m ² /W]	U_{MURO} [W/K·m ²]
Madera	0,100	0,10	0,96	100%	0,12	0,00	-	1,12	0,89
Planchas	0,010	0,26	0,038	100%	0,12	0,00	-	1,12	0,89

Ventana

Elemento	e [m]	λ [W/m·K]	R [K·m ² /W]	% Área	R_{si}	R_{se}	R_T [K·m ² /W]	$U_{MATERIAL}$ [W/K·m ²]	$U_{VENTANA}$ [W/K·m ²]
Marco	0,004	210,00	0,00002	20%	0,12	0,00	0,12	8,33	8,20
Vidrio	0,003	1,20	0,003	80%	0,12	0,00	0,12	8,16	8,20
Marco Pino	0,03	0,10	0,24	20%	0,12	0,00	0,36	2,77	2,77
Vidrio	0,003	1,20	0,003	80%	0,12	0,00	0,12	8,16	2,77

Puerta

Elemento	e [m]	λ [W/m·K]	R [K·m ² /W]	% Área	R_{si}	R_{se}	$R_{T\ MATERIAL}$ [K·m ² /W]	R_T [K·m ² /W]	U_{PUERTA} [W/K·m ²]
Marco	0,03	0,10	0,24	20%	0,12	0,00	0,36	2,77	2,77
Puerta	0,03	0,10	0,24	80%	0,12	0,00	0,36	2,77	2,77

Techos

Elemento	e [m]	λ [W/m·K]	R [K·m ² /W]	% Área	R_{si}	R_{se}	$R_{T\ MATERIAL}$ [K·m ² /W]	R_T [K·m ² /W]	U_{TECHO} [W/K·m ²]
----------	-------	----------------------	----------------------------	--------	----------	----------	--	--------------------------------	--------------------------------------

A Cálculos de transmitancia, demanda energética de las viviendas antes y después de la RT.

Yeso	0,01	0,24	0,05	-	0,09	0,00	-	1,48	0,68
Lana vidrio	0,04	0,04	1,05	-	0,09	0,00	-	1,48	0,68
Listones	0,03	0,10	0,29	-	0,09	0,00	-	1,48	0,68

Piso

Elemento	e [m]	λ [W/m·K]	R [K·m²/W]	% Área	R_{si}	R_{se}	$R_{T\ MATERIAL}$ [K·m²/W]	R_T [K·m²/W]	U_{PISO} [W/K·m²]
Hormigón	0,01	1,63	-	-	-	-	-	-	1,40

Determinación coeficiente volumétrico global de pérdidas térmicas por la transmisión de la envolvente vivienda pareada 2 pisos.

$$G_{V1} = \frac{\sum_i U_i \cdot S_i + K_L L}{V} \quad (A-21)$$

Tabla A-18: Determinación GV1 vivienda pareada 2 pisos (fuente: Análisis energético viviendas Coyhaique)

	Área [m²]	Perímetro [m]	U [W/K·m²]	K_L [W/K·m]	Total
Muros	96,00	-	0,89	-	87,71
Ventanas	Vidrio	2,54	8,20	-	26,07
	Marco	0,64	8,20	-	26,07
Puertas	1,68	-	2,77	-	4,65
Techo	35,00	-	0,68	-	23,63
Piso	-	24	-	1,4	33,60
					<u>173,66</u>

La vivienda pareada de 2 pisos comprende un volumen de 190 m³, implicando un valor de G_{V1} de 0,91.

Determinación coeficiente global de perdidas térmicas totales vivienda pareada 2 pisos.

$$G_{V2} = G_{V1} + 0.35 \cdot n \quad (A-22)$$

Siendo n=2, el valor de G_{V2} es igual a 1,61

Determinación demanda energética anual en calefacción vivienda pareada 2 pisos.

$$Q = \frac{G_{V2} \cdot V \cdot GD \cdot 24}{1000} \quad (A-23)$$

Dando como resultado, que la demanda energética anual en calefacción es igual a 17,178 kWh/año.

A Cálculos de transmitancia, demanda energética de las viviendas antes y después de la RT.

Consumo energético anual en calefacción vivienda pareada 2 pisos.

$$C = k \cdot Q \quad (A-24)$$

Siendo $K = 1.538$ el resultado del consumo energético es igual a 26,427 kWh/año.

A.2 Cálculos de transmitancia, demanda energética y consumo de las viviendas después de la RT de 2007.

A.2.1 Determinación U, Q y C vivienda aislada de madera de 1 piso.

Determinación transmitancia vivienda aislada 1 piso.

Tabla A-19: Variables involucradas en el cálculo de la transmitancia vivienda aislada 1 piso (fuente: Análisis energético viviendas Coyhaique)

Muros

Elemento	e [m]	λ [W/m·K]	R [K·m ² /W]	% Área	R_{si}	R_{se}	$R_{T\text{ MATERIAL}}$ [K·m ² /W]	R_T [K·m ² /W]	U_{MURO} [W/K·m ²]
Madera	0,10	0,10	0,96	100%	0,12	0,00	-	1,68	0,60
Poliestireno	0,02	0,04	0,56	100%	0,12	0,00	-	1,68	0,60
Yeso cartón	0,01	0,26	0,04	100%	0,12	0,00	-	1,68	0,60

Ventana

Elemento	e [m]	λ [W/m·K]	R [K·m ² /W]	% Área	R_{si}	R_{se}	R_T [K·m ² /W]	$U_{MATERIAL}$ [W/K·m ²]	$U_{ventana}$ [W/K·m ²]
Marco	0,004	210,00	0,00	20%	0,12	0,00	0,12	8,33	8,20
Vidrio 3mm	0,003	1,20	0,003	80%	0,12	0,00	0,12	8,16	8,20
Marco pino	0,03	0,10	0,24	20%	0,12	0,00	0,36	2,77	7,09
Vidrio 3mm	0,03	1,20	0,003	80%	0,12	0,00	0,12	8,16	7,09

Puerta

Elemento	e [m]	λ [W/m·K]	R [K·m ² /W]	% Área	R_{si}	R_{se}	$R_{T\text{ MATERIAL}}$ [K·m ² /W]	R_T [K·m ² /W]	U_{puerta} [W/K·m ²]
Marco	0,03	0,10	0,24	20%	0,12	0,00	0,36	2,77	2,77
Puerta	0,03	0,10	0,24	80%	0,12	0,00	0,36	2,77	2,77

Techos

Elemento	e [m]	λ [W/m·K]	R [K·m ² /W]	% Área	R_{si}	R_{se}	$R_{T\text{ MATERIAL}}$ [K·m ² /W]	R_T [K·m ² /W]	U_{Techo} [W/K·m ²]
Yeso	0,01	0,24	0,05	-	0,09	0,00	-	4,11	0,24
Lana vidrio	0,04	0,04	3,68	-	0,09	0,00	-	4,11	0,24
Listones	0,03	0,10	0,29	-	0,09	0,00	-	4,11	0,24

A Cálculos de transmitancia, demanda energética de las viviendas antes y después de la RT.

Piso								
Elemento	λ [W/m·K]	R [K·m ² /W]	% Área	R_{si}	R_{se}	$R_{T MATERIAL}$ [K·m ² /W]	R_T [K·m ² /W]	U_{Piso} [W/K·m ²]
Poliestireno	0,03	-	-	-	-	-	3,10	0,32
Barrera vapor	0,03						3,10	0,32
Mortero de cemento	0,03						3,10	0,32
Baldosa de Cerámica	0,03						3,10	0,32

Determinación coeficiente volumétrico global de pérdidas térmicas por la transmisión de la envolvente vivienda aislada 1 piso.

$$G_{V1} = \frac{\sum_i U_i \cdot S_i + K_L L}{V} \quad (A-25)$$

Tabla A-20: Determinación GV1 vivienda aislada 1 piso (fuente: Análisis energético viviendas Coyhaique)

	Área [m ²]	Perímetro [m]	U [W/K·m ²]	K_L [W/K·m]	Total
Muros	93,00	-	0,60	-	55,50
Ventanas	Vidrio	3,79	7,09	-	33,55
	Marco	0,95	7,09	-	33,55
Puertas	1,68	-	2,77	-	4,65
Techo	55,00	-	0,24	-	13,37
Piso	22,00	-	0,32	-	17,74
					124,82

La vivienda aislada de 1 piso comprende un volumen de 233.75 m³, implicando un valor de G_{V1} de 0.53.

Determinación coeficiente global de pérdidas térmicas totales vivienda aislada 1 piso.

$$G_{V2} = G_{V1} + 0.35 \cdot n \quad (A-26)$$

Siendo n=2, el valor de G_{V2} es igual a 1,23

Determinación demanda energética anual en calefacción vivienda aislada 1 piso.

$$Q = \frac{G_{V2} \cdot V \cdot GD \cdot 24}{1000} \quad (A-27)$$

Dando como resultado, que la demanda energética anual en calefacción es igual a 16,157 kWh/año.

A Cálculos de transmitancia, demanda energética de las viviendas antes y después de la RT.

Consumo energético anual en calefacción vivienda aislada 1 piso.

$$C = k \cdot Q \quad (A-28)$$

Siendo $K = 1.538$ el resultado del consumo energético es igual a 24,858 kWh/año.

A.2.2 Determinación U, Q y C vivienda aislada de madera de 2 pisos.

Determinación transmitancia vivienda aislada 2 pisos.

Tabla A-21: Variables involucradas en el cálculo de la transmitancia vivienda aislada 2 pisos (fuente: Análisis energético viviendas Coyhaique)

Muros

Elemento	e [m]	λ [W/m·K]	R [K·m ² /W]	% Área	R_{si}	R_{se}	$R_{T\ MATERIAL}$ [K·m ² /W]	R_T [K·m ² /W]	U_{MURO} [W/K·m ²]
Madera	0,10	0,10	0,96	100%	0,12	0,00	-	1,68	0,60
Poliestireno	0,02	0,04	0,56	100%	0,12	0,00	-	1,68	0,60
Yeso cartón	0,01	0,26	0,04	100%	0,12	0,00	-	1,68	0,60

Ventana

Elemento	e [m]	λ [W/m·K]	R [K·m ² /W]	% Área	R_{si}	R_{se}	R_T [K·m ² /W]	$U_{MATERIAL}$ [W/K·m ²]	$U_{ventana}$ [W/K·m ²]
Marco	0,004	210,00	0,00002	20%	0,12	0,00	0,12	8,33	8,20
Vidrio 3mm	0,003	1,20	0,003	80%	0,12	0,00	0,12	8,16	8,20
Marco pino	0,03	0,10	0,24	20%	0,12	0,00	0,36	2,77	7,09
Vidrio 3mm	0,003	1,20	0,003	80%	0,12	0,00	0,12	8,16	7,09

Puerta

Elemento	e [m]	λ [W/m·K]	R [K·m ² /W]	% Área	R_{si}	R_{se}	$R_{T\ MATERIAL}$ [K·m ² /W]	R_T [K·m ² /W]	U_{puerta} [W/K·m ²]
Marco	0,03	0,10	0,24	20%	0,12	0,00	0,36	2,77	2,77
Puerta	0,03	0,10	0,24	80%	0,12	0,00	0,36	2,77	2,77

Techos

Elemento	e [m]	λ [W/m·K]	R [K·m ² /W]	% Área	R_{si}	R_{se}	$R_{T\ MATERIAL}$ [K·m ² /W]	R_T [K·m ² /W]	U_{Techo} [W/K·m ²]
Yeso	0,01	0,24	0,05	-	0,09	0,00	-	4,11	0,24
Lana vidrio	0,04	0,04	3,68	-	0,09	0,00	-	4,11	0,24
Listones	0,03	0,10	0,29	-	0,09	0,00	-	4,11	0,24

Piso

Elemento	λ [W/m·K]	R [K·m ² /W]	% Área	R_{si}	R_{se}	$R_{T\ MATERIAL}$ [K·m ² /W]	R_T [K·m ² /W]	U_{Piso} [W/K·m ²]
Poliestireno	0,03	-	-	-	-	-	3,10	0,32

A Cálculos de transmitancia, demanda energética de las viviendas antes y después de la RT.

Barrera vapor	0,03	3,10	0,32
Mortero de cemento	0,03	3,10	0,32
Baldosa de Cerámica	0,03	3,10	0,32

Determinación coeficiente volumétrico global de pérdidas térmicas por la transmisión de la envolvente vivienda aislada 2 pisos

$$G_{V1} = \frac{\sum_i U_i \cdot S_i + K_L L}{V} \quad (A-29)$$

Tabla A-22: Determinación GV1 vivienda aislada 2 pisos (fuente: Análisis energético viviendas Coyhaique)

		Área [m²]	Perímetro [m]	U [W/K·m²]	K_L [W/K·m]	Total
Muros		156,00	-	0,60	-	93,10
Ventanas	Vidrio	3,89	-	8,20	-	39,05
	Marco	0,97	-	8,20	-	39,05
Puertas		3,35	-	2,77	-	9,30
Techo		40,00	-	0,24	-	9,73
Piso		40,00	-	0,32	-	12,09
						<u>164,07</u>

La vivienda aislada de 2 pisos comprende un volumen de 290 m³, implicando un valor de G_{V1} de 0.57.

Determinación coeficiente global de pérdidas térmicas totales vivienda aislada 2 pisos.

$$G_{V2} = G_{V1} + 0.35 \cdot n \quad (A-30)$$

Siendo n=2, el valor de G_{V2} es igual a 1,27

Determinación demanda energética anual en calefacción vivienda aislada 2 pisos.

$$Q = \frac{G_{V2} \cdot V \cdot GD \cdot 24}{1000} \quad (A-31)$$

Dando como resultado, que la demanda energética anual en calefacción es igual a 20,562 KWh/año.

Consumo energético anual en calefacción vivienda aislada 2 pisos.

$$C = k \cdot Q \quad (A-32)$$

Siendo K = 1.538 el resultado del consumo energético es igual a 31,633 KWh/año.

A.2.3 Determinación U, Q y C vivienda fila de madera de 1 piso.

Determinación transmitancia vivienda fila 1 piso.

Tabla A-23: Variables involucradas en el cálculo de la transmitancia vivienda fila 1 piso (fuente: Análisis energético viviendas Coyhaique)

Muros

Elemento	e [m]	λ [W/m·K]	R [K·m²/W]	% Área	R_{si}	R_{se}	$R_{T\ MATERIAL}$ [K·m²/W]	R_T [K·m²/W]	U_{MURO} [W/K·m²]
Madera	0,10	0,10	0,96	100%	0,12	0,00	-	1,68	0,60
Poliestireno	0,02	0,04	0,56	100%	0,12	0,00	-	1,68	0,60
Yeso cartón	0,01	0,26	0,04	100%	0,12	0,00	-	1,68	0,60

Ventana

Elemento	e [m]	λ [W/m·K]	R [K·m²/W]	% Área	R_{si}	R_{se}	R_T [K·m²/W]	$U_{MATERIAL}$ [W/K·m²]	$U_{ventana}$ [W/K·m²]
Marco	0,004	210,00	0,00002	20%	0,12	0,00	0,12	8,33	8,20
Vidrio 3mm	0,003	1,20	0,003	80%	0,12	0,00	0,12	8,16	8,20
Marco pino	0,03	0,10	0,24	20%	0,12	0,00	0,36	2,77	7,09
Vidrio 3mm	0,003	1,20	0,003	80%	0,12	0,00	0,12	8,16	7,09

Puerta

Elemento	e [m]	λ [W/m·K]	R [K·m²/W]	% Área	R_{si}	R_{se}	$R_{T\ MATERIAL}$ [K·m²/W]	R_T [K·m²/W]	U_{puerta} [W/K·m²]
Marco	0,03	0,10	0,24	20%	0,12	0,00	0,36	2,77	2,77
Puerta	0,03	0,10	0,24	80%	0,12	0,00	0,36	2,77	2,77

Techos

Elemento	e [m]	λ [W/m·K]	R [K·m²/W]	% Área	R_{si}	R_{se}	$R_{T\ MATERIAL}$ [K·m²/W]	R_T [K·m²/W]	U_{Techo} [W/K·m²]
Yeso	0,01	0,24	0,05	-	0,09	0,00	-	4,11	0,24
Lana vidrio	0,14	0,04	3,68	-	0,09	0,00	-	4,11	0,24
Listones	0,03	0,10	0,29	-	0,09	0,00	-	4,11	0,24

Piso

Elemento	λ [W/m·K]	R [K·m²/W]	% Área	R_{si}	R_{se}	$R_{T\ MATERIAL}$ [K·m²/W]	R_T [K·m²/W]	U_{Piso} [W/K·m²]
Poliestireno	0,03	-	-	-	-	-	3,10	0,32
Barrera vapor	0,03						3,10	0,32
Mortero de cemento	0,03						3,10	0,32
Baldosa de Cerámica	0,03						3,10	0,32

A Cálculos de transmitancia, demanda energética de las viviendas antes y después de la RT.

Determinación coeficiente volumétrico global de pérdidas térmicas por la transmisión de la envolvente vivienda fila 1 piso.

$$G_{V1} = \frac{\sum_i U_i \cdot S_i + K_L L}{V} \quad (A-33)$$

Tabla A-24: Determinación GV1 vivienda fila 1 piso (fuente: Análisis energético viviendas Coyhaique)

	Área [m²]	Perímetro [m]	U [W/K·m²]	K_L [W/K·m]	Total
Muros	60,00	-	0,60	-	35,81
Ventanas	Vidrio	2,35	7,09	-	20,83
	Marco	0,59	7,09	-	20,83
Puertas	1,68	-	2,77	-	4,65
Techo	45,00	-	0,24	-	10,94
Piso	45,00	-	0,32	-	14,52
					86,75

La vivienda fila de 1 piso comprende un volumen de 191.25 m³, implicando un valor de G_{V1} de 0.45.

Determinación coeficiente global de perdidas térmicas totales vivienda fila 1 piso.

$$G_{V2} = G_{V1} + 0.35 \cdot n \quad (A-34)$$

Siendo n=2, el valor de G_{V2} es igual a 1,15

Determinación demanda energética anual en calefacción vivienda fila 1 piso.

$$Q = \frac{G_{V2} \cdot V \cdot GD \cdot 24}{1000} \quad (A-35)$$

Dando como resultado, que la demanda energética anual en calefacción es igual a 12,538 KWh/año.

Consumo energético anual en calefacción vivienda fila 1 piso.

$$C = k \cdot Q \quad (A-36)$$

Siendo K = 1.538 el resultado del consumo energético es igual a 19,013 KWh/año.

A Cálculos de transmitancia, demanda energética de las viviendas antes y después de la RT.

A.2.4 Determinación U, Q y C, vivienda fila de madera de 2 pisos.

Determinación de la transmitancia vivienda fila 2 pisos.

Tabla A-25: Variables involucradas en el cálculo de la transmitancia vivienda fila 2 pisos (fuente: Análisis energético viviendas Coyhaique)

Muros

Elemento	e [m]	λ [W/m·K]	R [K·m²/W]	% Área	R_{si}	R_{se}	$R_{T\ MATERIAL}$ [K·m²/W]	R_T [K·m²/W]	U_{MURO} [W/K·m²]
Madera	0,10	0,10	0,96	100%	0,12	0,00	-	1,68	0,60
Poliestireno	0,02	0,04	0,56	100%	0,12	0,00	-	1,68	0,60
Yeso cartón	0,01	0,26	0,04	100%	0,12	0,00	-	1,68	0,60

Ventana

Elemento	e [m]	λ [W/m·K]	R [K·m²/W]	% Área	R_{si}	R_{se}	R_T [K·m²/W]	$U_{MATERIAL}$ [W/K·m²]	$U_{ventana}$ [W/K·m²]
Marco	0,004	210,00	0,00002	20%	0,12	0,00	0,12	8,33	8,20
Vidrio 3mm	0,003	1,20	0,003	80%	0,12	0,00	0,12	8,16	8,20
Marco pino	0,03	0,10	0,24	20%	0,12	0,00	0,36	2,77	7,09
Vidrio 3mm	0,003	1,20	0,003	80%	0,12	0,00	0,12	8,16	7,09

Puerta

Elemento	e [m]	λ [W/m·K]	R [K·m²/W]	% Área	R_{si}	R_{se}	$R_{T\ MATERIAL}$ [K·m²/W]	R_T [K·m²/W]	U_{puerta} [W/K·m²]
Marco	0,03	0,10	0,24	20%	0,12	0,00	0,36	2,77	2,77
Puerta	0,03	0,10	0,24	80%	0,12	0,00	0,36	2,77	2,77

Techos

Elemento	e [m]	λ [W/m·K]	R [K·m²/W]	% Área	R_{si}	R_{se}	$R_{T\ MATERIAL}$ [K·m²/W]	R_T [K·m²/W]	U_{Techo} [W/K·m²]
Yeso	0,01	0,24	0,05	-	0,09	0,00	-	4,11	0,24
Lana vidrio	0,14	0,04	3,68	-	0,09	0,00	-	4,11	0,24
Listones	0,03	0,10	0,29	-	0,09	0,00	-	4,11	0,24

Piso

Elemento	λ [W/m·K]	R [K·m²/W]	% Área	R_{si}	R_{se}	$R_{T\ MATERIAL}$ [K·m²/W]	R_T [K·m²/W]	U_{Piso} [W/K·m²]
Poliestireno	0,03	-	-	-	-	-	3,10	0,32
Barrera vapor	0,03						3,10	0,32
Mortero de cemento	0,03						3,10	0,32
Baldosa de Cerámica	0,03						3,10	0,32

A Cálculos de transmitancia, demanda energética de las viviendas antes y después de la RT.

Determinación coeficiente volumétrico global de pérdidas térmicas por la transmisión de la envolvente vivienda fila 2 pisos.

$$G_{V1} = \frac{\sum_i U_i \cdot S_i + K_L L}{V} \quad (A-37)$$

Tabla A-26: Determinación GV1 vivienda fila 2 pisos (fuente: Análisis energético de viviendas Coyhaique)

	Área [m²]	Perímetro [m]	U [W/K·m²]	K_L [W/K·m]	Total
Muros	120,00	-	0,60	-	71,62
Ventanas	Vidrio	2,35	7,09	-	20,83
	Marco	0,59	7,09	-	20,83
Puertas	1,68	-	2,77	-	4,65
Techo	20,00	-	0,24	-	4,86
Piso	20,00	-	0,32	-	6,45
					108,41

La vivienda fila de 2 pisos comprende un volumen de 145 m³, implicando un valor de G_{V1} de 0.75.

Determinación coeficiente global de pérdidas térmicas totales vivienda fila 2 pisos.

$$G_{V2} = G_{V1} + 0.35 \cdot n \quad (A-38)$$

Siendo n=2, el valor de G_{V2} es igual a 1,45

Determinación de la demanda energética anual en calefacción vivienda fila 2 pisos.

$$Q = \frac{G_{V2} \cdot V \cdot GD \cdot 24}{1000} \quad (A-39)$$

Dando como resultado, que la demanda energética anual en calefacción es igual a 11,758 KWh/año.

Consumo energético anual en calefacción vivienda fila 2 pisos.

$$C = k \cdot Q \quad (A-40)$$

Siendo K = 1.538 el resultado del consumo energético es igual a 18,090 KWh/año.

A Cálculos de transmitancia, demanda energética de las viviendas antes y después de la RT.

A.2.5 Determinación U, Q y C, vivienda pareada de madera de 1 piso

Determinación transmitancia vivienda pareada 1 piso.

Tabla A-27: Variables involucradas en el cálculo de la transmitancia vivienda pareada 1 piso (fuente: Análisis energético viviendas Coyhaique)

Muros

Elemento	e [m]	λ [W/m·K]	R [K·m²/W]	% Área	R_{si}	R_{se}	$R_{T\ MATERIAL}$ [K·m²/W]	R_T [K·m²/W]	U_{MURO} [W/K·m²]
Madera	0,10	0,10	0,96	100%	0,12	0,00	-	1,68	0,60
Poliestireno	0,02	0,04	0,56	100%	0,12	0,00	-	1,68	0,60
Yeso cartón	0,01	0,26	0,04	100%	0,12	0,00	-	1,68	0,60

Ventana

Elemento	e [m]	λ [W/m·K]	R [K·m²/W]	% Área	R_{si}	R_{se}	R_T [K·m²/W]	$U_{MATERIAL}$ [W/K·m²]	$U_{ventana}$ [W/K·m²]
Marco	0,004	210,00	0,00002	20%	0,12	0,00	0,12	8,33	8,20
Vidrio 3mm	0,003	1,20	0,003	80%	0,12	0,00	0,12	8,16	8,20
Marco pino	0,03	0,10	0,24	20%	0,12	0,00	0,36	2,77	7,09
Vidrio 3mm	0,003	1,20	0,003	80%	0,12	0,00	0,12	8,16	7,09

Puerta

Elemento	e [m]	λ [W/m·K]	R [K·m²/W]	% Área	R_{si}	R_{se}	$R_{T\ MATERIAL}$ [K·m²/W]	R_T [K·m²/W]	U_{puerta} [W/K·m²]
Marco	0,03	0,10	0,24	20%	0,12	0,00	0,36	2,77	2,77
Puerta	0,03	0,10	0,24	80%	0,12	0,00	0,36	2,77	2,77

Techos

Elemento	e [m]	λ [W/m·K]	R [K·m²/W]	% Área	R_{si}	R_{se}	$R_{T\ MATERIAL}$ [K·m²/W]	R_T [K·m²/W]	U_{Techo} [W/K·m²]
Yeso	0,01	0,24	0,05	-	0,09	0,00	-	4,11	0,24
Lana vidrio	0,14	0,04	3,68	-	0,09	0,00	-	4,11	0,24
Listones	0,03	0,10	0,29	-	0,09	0,00	-	4,11	0,24

Piso

Elemento	λ [W/m·K]	R [K·m²/W]	% Área	R_{si}	R_{se}	$R_{T\ MATERIAL}$ [K·m²/W]	R_T [K·m²/W]	U_{Piso} [W/K·m²]
Poliestireno	0,03	-	-	-	-	-	3,10	0,32
Barrera vapor	0,03						3,10	0,32
Mortero de cemento	0,03						3,10	0,32
Baldosa de Cerámica	0,03						3,10	0,32

A Cálculos de transmitancia, demanda energética de las viviendas antes y después de la RT.

Determinación coeficiente volumétrico global de pérdidas térmicas por la transmisión de la envolvente vivienda pareada 1 piso.

$$G_{V1} = \frac{\sum_i U_i \cdot S_i + K_L L}{V} \quad (A-41)$$

Tabla A-28: Determinación GV1 vivienda pareada 1 piso (fuente: Análisis energético viviendas Coyhaique)

	Área [m²]	Perímetro [m]	U [W/K·m²]	K_L [W/K·m]	Total
Muros	78,00	-	0,60	-	46,55
Ventanas	Vidrio	2,54	-	7,09	22,53
	Marco	0,64	-	7,09	22,53
Puertas	1,68	-	2,77	-	4,65
Techo	60,00	-	0,24	-	14,59
Piso	60,00	-	0,32	-	19,35
					107,68

La vivienda pareada de 1 piso comprende un volumen de 255 m³, implicando un valor de G_{V1} de 0.42.

Determinación coeficiente global de pérdidas térmicas totales vivienda pareada 1 piso.

$$G_{V2} = G_{V1} + 0.35 \cdot n \quad (A-42)$$

Siendo n=2, el valor de G_{V2} es igual a 1,12

Determinación demanda energética anual en calefacción vivienda pareada 1 piso.

$$Q = \frac{G_{V2} \cdot V \cdot GD \cdot 24}{1000} \quad (A-43)$$

Dando como resultado, que la demanda energética anual en calefacción es igual a 16,030 kWh/año.

Consumo energético anual en calefacción vivienda pareada 1 piso.

$$C = k \cdot Q \quad (A-44)$$

Siendo K = 1.538 el resultado del consumo energético es igual a 24,662 kWh/año.

A Cálculos de transmitancia, demanda energética de las viviendas antes y después de la RT.

A.2.6 Determinación U, Q y C, vivienda pareada de madera de 2 pisos.

Determinación transmitancia vivienda pareada 2 pisos.

Tabla A-29: Variables involucradas en el cálculo de la transmitancia vivienda pareada 2 pisos (fuente: Análisis energético viviendas Coyhaique)

Muros

Elemento	e [m]	λ [W/m·K]	R [K·m²/W]	% Área	R_{si}	R_{se}	$R_{T\ MATERIAL}$ [K·m²/W]	R_T [K·m²/W]	U_{MURO} [W/K·m²]
Madera	0,10	0,10	0,96	100%	0,12	0,00	-	1,68	0,60
Poliestireno	0,02	0,04	0,56	100%	0,12	0,00	-	1,68	0,60
Yeso cartón	0,01	0,26	0,04	100%	0,12	0,00	-	1,68	0,60

Ventana

Elemento	e [m]	λ [W/m·K]	R [K·m²/W]	% Área	R_{si}	R_{se}	R_T [K·m²/W]	$U_{MATERIAL}$ [W/K·m²]	$U_{ventana}$ [W/K·m²]
Marco	0,004	210,00	0,00002	20%	0,12	0,00	0,12	8,33	8,20
Vidrio 3mm	0,003	1,20	0,003	80%	0,12	0,00	0,12	8,16	8,20
Marco pino	0,03	0,10	0,24	20%	0,12	0,00	0,36	2,77	7,09
Vidrio 3mm	0,003	1,20	0,003	80%	0,12	0,00	0,12	8,16	7,09

Puerta

Elemento	e [m]	λ [W/m·K]	R [K·m²/W]	% Área	R_{si}	R_{se}	$R_{T\ MATERIAL}$ [K·m²/W]	R_T [K·m²/W]	U_{puerta} [W/K·m²]
Marco	0,03	0,10	0,24	20%	0,12	0,00	0,36	2,77	2,77
Puerta	0,03	0,10	0,24	80%	0,12	0,00	0,36	2,77	2,77

Techos

Elemento	e [m]	λ [W/m·K]	R [K·m²/W]	% Área	R_{si}	R_{se}	$R_{T\ MATERIAL}$ [K·m²/W]	R_T [K·m²/W]	U_{Techo} [W/K·m²]
Yeso	0,01	0,24	0,05	-	0,09	0,00	-	4,11	0,24
Lana vidrio	0,14	0,04	3,68	-	0,09	0,00	-	4,11	0,24
Listones	0,03	0,10	0,29	-	0,09	0,00	-	4,11	0,24

Piso

Elemento	λ [W/m·K]	R [K·m²/W]	% Área	R_{si}	R_{se}	$R_{T\ MATERIAL}$ [K·m²/W]	R_T [K·m²/W]	U_{Piso} [W/K·m²]
Poliestireno	0,03	-	-	-	-	-	3,10	0,32
Barrera vapor	0,03						3,10	0,32
Mortero de cemento	0,03						3,10	0,32
Baldosa de Cerámica	0,03						3,10	0,32

A Cálculos de transmitancia, demanda energética de las viviendas antes y después de la RT.

Determinación coeficiente volumétrico global de pérdidas térmicas por la transmisión de la envolvente vivienda pareada 2 pisos.

$$G_{V1} = \frac{\sum_i U_i \cdot S_i + K_L L}{V} \quad (A-45)$$

Tabla A-30: Determinación GV1 vivienda pareada 2 pisos (fuente: Análisis energético viviendas Coyhaique)

	Área [m²]	Perímetro [m]	U [W/K·m²]	K_L [W/K·m]	Total
Muros	96,00	-	0,60	-	57,29
Ventanas	Vidrio	2,54	8,02	-	26,07
	Marco	0,64	8,02	-	26,07
Puertas	1,68	-	2,77	-	4,65
Techo	35,00	-	0,24	-	8,51
Piso	35,00	-	0,32	-	11,29
					<u>107,81</u>

La vivienda pareada de 2 pisos comprende un volumen de 190 m³, implicando un valor de G_{V1} de 0.57.

Determinación coeficiente global de perdidas térmicas totales vivienda pareada 2 pisos.

$$G_{V2} = G_{V1} + 0.35 \cdot n \quad (A-46)$$

Siendo n=2, el valor de G_{V2} es igual a 1,27

Determinación de la demanda energética anual en calefacción vivienda pareada 2 pisos.

$$Q = \frac{G_{V2} \cdot V \cdot GD \cdot 24}{1000} \quad (A-47)$$

Dando como resultado, que la demanda energética anual en calefacción es igual a 13,489 KWh/año.

Consumo energético anual en calefacción vivienda pareada 2 pisos.

$$C = k \cdot Q \quad (A-48)$$

Siendo K = 1.538 el resultado del consumo energético es igual a 20,753 KWh/año.

B Comparación equipos según tecnología.

Las características técnicas de los equipos considerados para elaborar un sistema de calefacción robusto y controlable se resumen a continuación.

B.1 Bomba de calor.

Para lograr determinar el equipo necesario se debe tener presente la siguiente tabla, la cual resume el potencial de calefacción de los artefactos a seleccionar.

Tabla B-31: Conversión BTU/h a M2

Potencia térmica [BTU/h]	Superficie de trabajo [m ²]
9.000	20
12.000	20-30
18.000	30-40
24.000	40-60
36.000	100

Esta aproximación es válida para las dependencias que cumplan con la RT 2007, así será posible determinar una aproximación de la potencia eléctrica instalada en los distintos tipos de viviendas planteadas.

B.1.1 Split muro ecológico R-410.

Tabla B-32: características técnicas Split muro ecológico R-410

Capacidad fría [BTU/h]	9.500	12.300	18.000	23.500
Capacidad calor [BTU/h]	10.100	13.100	20.000	25.100
Caudal aire interior [m³/h]	400	550	850	900
Voltaje [V]- Frecuencia	220-230;50	220-230;50	220-230;50	220-230;50
Consumo frío [W]	821	1.004	1.580	2.056
Consumo calor [W]	779	973	1.620	2.126
Corriente frío [A]	3,64	4,45	7,0	9,0
Corriente calor [A]	3,46	4,32	7,19	9,0
Aplicación área [m²]	12-18	15-22	23-24	27-42

B.1.2 Split muro cool design.

Tabla B-33: características técnicas Split muro cool design.

Capacidad fría [BTU/h]	9.500	12.300	18.000
Capacidad calor [BTU/h]	9.800	12.800	19.500
Caudal aire interior [m³/h]	580	580	720
Voltaje [V]- Frecuencia	220-230;50	220-230;50	220-230;50
Consumo frío [W]	825	1.070	1.640
Consumo calor [W]	815	990	1.540
Corriente frío [A]	3,8	4,9	7,4
Corriente calor [A]	3,7	4,5	7,0
Aplicación área [m²]	13-22	18-29	26-44

B.1.3 Split muro inverter ecológico.

Tabla B-34: Características técnicas Split muro inverter ecológico.

Capacidad fría [BTU/h]	10.430	12.000	18.000	22.000
Capacidad calor [BTU/h]	9.692	13.000	19.000	23.000
Caudal aire interior [m³/h]	560	600	850	1.100
Voltaje [V]- Frecuencia	220-230;50	220-230;50	220-230;50	220-230;50
Consumo frío [W]	825	1.090	1.640	2.010
Consumo calor [W]	775	1.050	1.540	1.870
Corriente frío [A]	3,66	4,84	7,3	8,9
Corriente calor [A]	3,44	4,66	6,83	8,3
Aplicación área [m²]	12-18	16-24	23-34	26-42

B.1.4 Split muro HVAC midea CS 24H.

Tabla B-35: Características técnicas Split muro HVAC midea CS 24H.

Capacidad fría [BTU/h]	10.240	11.905	20.240	24.200
Capacidad calor [BTU/h]	10.714	12.700	22.262	26.190
Voltaje [V]- Frecuencia	220-230;50	220-230;50	220-230;50	220-230;50
Consumo frío [W]	920	1.120	1.925	2.190
Consumo calor [W]	820	1.100	1.850	2.090
Corriente frío [A]	4,1	5,0	9,0	9,5
Corriente calor [A]	3,6	4,9	8,5	8,0
Aplicación área [m ²]	20	20-30	30-40	40-60

B.1.5 Split muro ecológico Anwo.

Tabla B-36: Características técnicas Split muro ecológico ANWO

Capacidad fría [BTU/h]	9.000	12.000	18.640	23.000
Capacidad calor [BTU/h]	9.600	12.365	20.574	25.500
Caudal Aire interior [m ³ /h]	400	550	850	900
Voltaje [V]- Frecuencia	220-230;50	220-230;50	220-230;50	220-230;50
Consumo frío [W]	821	1.004	1.580	2.056
Consumo calor [W]	779	973	1.620	2.126
Corriente frío [A]	3,64	4,45	7,0	9,0
Corriente calor [A]	3,46	4,32	7,19	9,0
Aplicación área [m ²]	20	20-30	30-40	40-60

B.2 Paneles radiantes:

Las características de interés para los paneles radiantes se describen a continuación, en base a estos datos se estimará la potencia instalada de este sistema de calefacción en los distintos tipos de viviendas de la ciudad de Coyhaique.

B.2.1 Panel radiante Pro Heating PE 700.

Tabla B-37. Características técnicas Panel radiante Pro Heating PE 700

Temperatura superficie [°C]	85-95
Elemento calentador	Cristal de carbono
Protección	IP44
Voltaje [V]- Frecuencia [Hz]	220-230;50
Tamaño [cm]	60 x 120
Potencia [W]	700
Aplicación área [m ²]	8-16

B.2.2 Panel Glass heating GD 500.

Tabla B-38: Características técnicas panel Glass heating GD 500

Temperatura superficie [°C]	85-95
Elemento calentador	Cristal de carbono
Protección	IP45
Voltaje [V]- Frecuencia [Hz]	220-230;50
Tamaño [cm]	66 x 100
Potencia [W]	500
Aplicación área [m ²]	3-10

B.2.3 Panel BVF WG 800.

Tabla B-39: Características técnicas panel BVF WG 800

Temperatura superficie [°C]	85-95
Elemento calentador	Cristal de carbono
Protección	IP44
Voltaje [V]- Frecuencia [Hz]	220-230;50
Tamaño [cm]	60 x 120
Potencia [W]	800
Aplicación área [m ²]	15

B.2.4 Panel radiante ThermIQ THHP12060.

Tabla B-40: Características técnicas panel ThermIQ

Temperatura superficie [°C]	85-95
Elemento calentador	Perfil de aluminio anodizado
protección	IP54
Voltaje [V]- Frecuencia [Hz]	220-230;50
Tamaño [cm]	60 x 120
Potencia [W]	1300
Aplicación área [m²]	14-25

B.3 Piso radiante.

Las características de este sistema de calefacción, se resumen a continuación, con el fin de obtener una aproximación adecuada de la potencia eléctrica instalada en las diversas tipologías de viviendas presentes en la ciudad de estudio,

B.3.1 Piso Radiante caleo heating film 130.

Tabla B-41: Características técnicas piso radiante Caleo heating film 130.

Aplicaciones	Piso laminado, paredes, cielo
Consumo por m² [W/h]	80-130
Ancho rollos [cm]	30-50-80-100
Sistema de control	Análogo y digital

B.3.2 Manta calefactora Alumat.

Tabla B-42: Características técnicas manta calefactora Alumat

Aplicaciones	Piso laminado, paredes, cielo
Consumo por m² [W/h]	140
Ancho rollos [cm]	50
Tamaños disponibles [m²]	2,5-6,0-10-16-20-24
Espesor [mm]	1,7
Sistema de control	Análogo y digital

B.3.3 Lámina calefactora ecofilm.

Tabla B-43: Características técnicas lámina calefactora ecofilm

Aplicaciones	Piso laminado, paredes, cielo
Consumo por m ² [W/h]	140
Ancho rollos [cm]	60
Tamaños disponibles [m ²]	Libremente variable
Espesor [mm]	0,5
Sistema de control	Análogo y digital

B.3.4 Lámina eléctrica, suelo radiante TWIN.

Tabla B-44: características técnicas lamina eléctrica, suelo radiante TWIN

Aplicaciones	Piso laminado
Consumo por m ² [W/h]	160-200
Ancho rollos [cm]	50
Tamaños disponibles [m ²]	0,5 a 10
Espesor [mm]	0,5
Sistema de control	Análogo y digital

C Evaluación económica.

Los cálculos en los cuales se basa la evaluación económica se desarrollan a continuación, tratándose de la obtención de parámetros como la potencia instalada, inversión inicial, energía día, entre otros.

C.1 Potencia instalada bomba de calor.

La obtención de la potencia instalada por tipología de vivienda, basadas en la tecnología de la bomba de calor, se desglosa en las siguientes tablas:

Tabla C-1: Desglose Potencia instalada Bombas de calor (fuente: Elaboración propia)

Bomba de calor	Tipo de vivienda	Área vivienda [m ²]	Potencia térmica [BTU]	Área aplicación [m ²]	Potencia eléctrica [kW]	Potencia instalada [kW]
Split muro ecológico R-410	Aislada 1 piso	65	18.000	23-24	1.62	3.746
			24.000	27-42	2.126	
	Aislada 2 pisos	85	24.000	27-42	2.126	4.252
			24.000	27-42	2.126	
	Fila 1 piso	50	18.000	23-24	1.62	2.593
			12.000	15-22	0.973	
	Fila 2 pisos	45	18.000	23-24	1.62	2.399
			9.000	12-18	0.779	
	Pareada 1 piso	65	24.000	27-42	2.126	3.099
			12.000	15-22	0.973	
	Pareada 2 pisos	60	18.000	23-24	1.62	3.24
			18.000	23-24	1.62	
Split muro cool Design	Aislada 1 piso	65	18.000	26-44	1.54	2.53
			12.000	18-29	0.99	
	Aislada 2 pisos	85	18.000	26-44	1.54	3.08

C Evaluación económica.

			18.000	26-44	1.54	
Split muro cool Design	Fila 1 piso	50	12.000	18-29	0.99	1.98
			12.000	18-29	0.99	
	Fila 2 pisos	45	12.000	18-29	0.99	1.805
			9.000	13-22	0.815	
	Pareada 1 piso	65	18.000	26-44	1.54	2.53
			12.000	18-29	0.99	
	Pareada 2 pisos	60	18.000	26-44	1.54	2.355
			9.000	13-22	0.815	
Split muro Inverter Ecológico	Aislada 1 piso	65	24.000	26-42	1.87	2.92
			12.000	23-34	1.05	
	Aislada 2 pisos	85	24.000	26-42	1.87	3.74
			24.000	26-42	1.87	
	Fila 1 piso	50	24.000	26-42	1.87	2.645
			9.000	12-18	0.775	
	Fila 2 pisos	45	12.000	23-34	1.05	2.1
			12.000	23-34	1.05	
	Pareada 1 piso	65	24.000	26-42	1.87	2.92
			12.000	23-34	1.05	
	Pareada 2 pisos	60	24.000	26-42	1.87	2.645
			9.000	12-18	0.775	
Split muro HVAC midea CS 24H	Aislada 1 piso	65	18.000	30-40	1.85	2.67
			9.000	20	0.82	
	Aislada 2 pisos	85	24.000	40-60	2.19	3.19
			12.000	20-30	1.1	
	Fila 1 piso	50	12.000	20-30	1.1	2.2
			12.000	20-30	1.1	
	Fila 2 pisos	45	12.000	20-30	1.1	1.92
			9.000	20	0.82	
	Pareada 1 piso	65	18.000	30-40	1.85	2.95
			12.000	20-30	1.1	
	Pareada 2 pisos	60	12.000	20-30	1.1	2.2
			12.000	20-30	1.1	
Split muro ecológico ANWO	Aislada 1 piso	65	18.000	30-40	1.62	2.593
			12.000	20-30	0.973	
	Aislada 2 pisos	85	18.000	30-40	1.62	3.24
			18.000	30-40	1.62	
	Fila 1 piso	50	12.000	20-30	0.973	1.946
			12.000	20-30	0.973	

C Evaluación económica.

Split muro ecológico ANWO	Fila 2 pisos	45	12.000	20-30	0.973	1.946
			12.000	20-30	0.973	
	Pareada 1 piso	65	18.000	30-40	1.62	2.593
			12.000	20-30	0.973	
			12.000	20-30	0.973	
	Pareada 2 pisos	60	12.000	20-30	0.973	1.946
			12.000	20-30	0.973	

La implementación de estos sistemas de calefacción es de mayor complejidad, dado que se deben agrupar habitaciones como conjunto a calefaccionar, a diferencia de los paneles radiantes eléctricos infrarrojos de onda larga, que se ubican por ambiente, en el caso de las viviendas que poseen segundo piso, la configuración de estos será una unidad por piso, junto con la capacidad de metros cuadrados que posee el equipo.

C.2 Valores comerciales de los artefactos.

Una de las aristas importantes de la evaluación económica es la inversión inicial, la tabla desarrolla los valores de los equipos analizados, por modelo y capacidad térmica, para las bombas de calor propuestas.

Tabla C-2: Valores Artefactos por modelo y capacidad bombas de calor (fuente: Elaboración propia)

Equipo	Capacidad [BTU]	Capacidad [m²]	Precio [\$CLP]
Split muro Ecológico R-410	9.000	12-18	330.000
	12.000	15-22	380.000
	18.000	23-24	560.000
	24.000	27-42	720.000
Split muro Cool Design	9.000	13-22	443.000
	12.000	18-29	483.000
	18.000	26-44	666.000
Split muro Inverter Ecológico	9.000	12-18	460.000
	12.000	16-24	510.000
	18.000	23-34	720.000
	24.000	26-42	870.000
Split muro HVAC midea CS 24H	9.000	20	352.000
	12.000	20-30	412.000
	18.000	30-40	545.000
	24.000	40-60	612.000
Split muro ecológico ANWO	9.000	20	483.000
	12.000	20-30	500.000
	18.000	30-40	789.000
	24.000	40-60	890.000

Los valores incluyen costos de envío hacia la ciudad de Coyhaique, el tiempo aproximado en promedio es de 10 días hábiles.

C.3 Costo energía viviendas.

La arista más importante a tener en consideración en este proyecto es la de los costos operacionales, los cuales se basan en el costo de la energía, la cual es directamente proporcional a las horas de uso de los artefactos, para cada tipo de vivienda se desarrollan 2 escenarios los cuales representan un día de invierno promedio, junto con un día de verano promedio,

Tabla C-3: Costo energía anual viviendas (fuente: Elaboración propia)

Tipo de vivienda	Equipo	Costo energía día invierno [\$CLP]	Costo energía día verano [\$CLP]	Costo anual energía [\$CLP]
Casa aislada 1 piso	Panel Pro Heating PE	3.534	881	807.239
	Panel Glass Heating GD	2.840	629	634.350
	Panel TermoIQ THHP 12060	7.384	1.637	1.649.310
	Panel BVF 800	4.544	1.007	1.014.960
	Split muro ecológico R-410	4.409	1.354	1.053.443
	Split muro cool Design	3.540	1.125	852.801
	Split muro Inverter Ecológico	4.203	1.342	1.013.612
	Split muro HVAC midea CS 24	4.020	1.293	971.236
	Split Muro Ecológico ANWO	3.681	1.173	887.238
Tipo de vivienda	Equipo	Costo energía día invierno [\$CLP]	Costo energía día verano [\$CLP]	Costo anual energía [\$CLP]
Casa aislada 2 pisos	Panel Pro Heating PE	4.528	991	1.009.208
	Panel Glass Heating GD	3.234	708	720.862
	Panel TermoIQ THHP 12060	8.410	1.841	1.874.243
	Panel BVF 800	5.175	1.133	1.153.380
	Split muro ecológico R-410	5.702	2.007	1.409.056
	Split muro cool Design	4.130	1.454	1.020.671
	Split muro Inverter Ecológico	5.016	1.766	1.239.386
	Split muro HVAC midea CS 24	5.014	1.725	1.231.648
	Split Muro Ecológico ANWO	4.345	1.530	1.073.693
Tipo de vivienda	Equipo	Costo energía día invierno [\$CLP]	Costo energía día verano [\$CLP]	Costo anual energía [\$CLP]
	Panel Pro Heating PE	2.761	771	645.696

C Evaluación económica.

Casa fila 1 piso	Panel Glass Heating GD	2.366	550	533.400
	Panel TermoIQ THHP 12060	6.153	1.432	1.386.840
	Panel BVF 800	3.786	881	853.440
	Split muro ecológico R-410	3.630	510	757.126
	Split muro cool Design	2.343	311	485.522
	Split muro Inverter Ecológico	4.080	588	853.860
	Split muro HVAC midea CS 24	2.603	346	539.469
	Split Muro Ecológico ANWO	2.302	306	477.184
Tipo de vivienda	Equipo	Costo energía día invierno [\$CLP]	Costo energía verano [\$CLP]	Costo anual energía [\$CLP]
Casa fila 2 pisos	Panel Pro Heating PE	3.976	330	787.818
	Panel Glass Heating GD	2.840	236	562.727
	Panel TermoIQ THHP 12060	6.153	613	1.237.864
	Panel BVF 800	4.544	377	900.363
	Split muro ecológico R-410	3.568	510	745.922
	Split muro cool Design	2.416	311	498.949
	Split muro Inverter Ecológico	2.650	330	545.266
	Split muro HVAC midea CS 24	2.644	346	546.976
	Split Muro Ecológico ANWO	2.456	306	505.280
Tipo de vivienda	Equipo	Costo energía día invierno [\$CLP]	Costo energía verano [\$CLP]	Costo anual energía [\$CLP]
Casa pareada 1 piso	Panel Pro Heating PE	3.976	550	827.927
	Panel Glass Heating GD	2.840	393	591.376
	Panel TermoIQ THHP 12060	7.384	1.023	1.537.579
	Panel BVF 800	4.544	629	946.202
	Split muro ecológico R-410	5.156	1.157	1.154.328
	Split muro cool Design	3.870	883	869.030
	Split muro Inverter Ecológico	4.627	1.048	1.037.713
	Split muro HVAC midea CS 24	4.607	1.046	1.033.672
	Split Muro Ecológico ANWO	4.039	918	906.286
Tipo de vivienda	Equipo	Costo energía día invierno [\$CLP]	Costo energía verano [\$CLP]	Costo anual energía [\$CLP]
Casa pareada 2 pisos	Panel Pro Heating PE	3.976	440	807.872
	Panel Glass Heating GD	2.840	314	577.052
	Panel TermoIQ THHP 12060	7.384	818	1.500.335

C Evaluación económica.

Casa pareada 2 pisos	Panel BVF 800	4.544	503	923.283
	Split muro ecológico R-410	4.089	1.020	934.091
	Split muro cool Design	3.430	855	783.455
	Split muro Inverter Ecológico	4.029	1.005	920.397
	Split muro HVAC midea CS 24	2.777	692	634.259
	Split Muro Ecológico ANWO	2.456	612	561.031

Para el cálculo de los costos asociados a la operación de los artefactos propuestos se replica un día típico de invierno para un periodo de 6 meses y para la temporada de verano los restantes meses, considerando las diferentes tarifas presentes en estos periodos.

D Análisis calefacción a leña.

D.1 Potencia térmica requerida.

Las potencias requeridas por los diferentes tipos de viviendas se desarrollan a continuación, tendiendo en consideración la expresión matemática la cual nos permite determinar la demanda térmica de cada tipo de vivienda.

$$V \times \Delta t \times K = \text{Potencia Térmica [Kcal]} \quad (\text{D-49})$$

La constante K será la correspondiente a la de una vivienda bastante aislada, este valor es igual a 1.9, junto con una altura de la vivienda igual a 2.5 metros y un Δt , igual a la diferencia entre la temperatura de confort 16 °C y la mínima temperatura de los meses de interés en el periodo abril-septiembre, correspondiente a 2.5 °C, finalmente el valor de Δt es de 14.5 °C.

D.1.1 Potencia térmica vivienda aislada 1 piso.

Considerando una superficie de construcción de 60 m², siendo consecuente con los análisis anteriores se obtiene una potencia térmica requerida igual a:

$$P_{termica} = 60m^2 \times 2.5 m \times 14.5 ^\circ C \times 1.9 = 4.133 \text{ [Kcal/h]}$$

D.1.2 Potencia térmica vivienda aislada 2 pisos.

Considerando una superficie construida de 80 m², siendo consecuente con los análisis anteriores se obtiene una potencia térmica requerida igual a:

$$P_{termica} = 80m^2 \times 2.5 m \times 14.5 ^\circ C \times 1.9 = 5.510 \text{ [Kcal/h]}$$

D.1.3 Potencia térmica vivienda fila 1 piso.

Considerando una superficie construida de 45 m², siendo consecuente con los análisis anteriores se obtiene una potencia térmica requerida igual a:

$$P_{termica} = 45m^2 \times 2.5 m \times 14.5 ^\circ C \times 1.9 = 3.100 \text{ [Kcal/h]}$$

D.1.4 Potencia térmica vivienda fila 2 pisos.

Considerando una superficie construida de 45 m^2 , siendo consecuente con los análisis anteriores se obtiene una potencia térmica requerida igual a:

$$P_{termica} = 40 \text{ m}^2 \times 2.5 \text{ m} \times 14.5 \text{ }^\circ\text{C} \times 1.9 = 2.755 \text{ [Kcal/h]}$$

D.1.5 Potencia térmica vivienda pareada 1 piso.

Considerando una superficie construida de 60 m^2 , siendo consecuente con los análisis anteriores se obtiene una potencia térmica requerida igual a:

$$P_{termica} = 60 \text{ m}^2 \times 2.5 \text{ m} \times 14.5 \text{ }^\circ\text{C} \times 1.9 = 4.133 \text{ [Kcal/h]}$$

D.1.6 Potencia térmica vivienda pareada 2 pisos.

Considerando una superficie construida de 55 m^2 , siendo consecuente con los análisis anteriores se obtiene una potencia térmica requerida igual a:

$$P_{termica} = 55 \text{ m}^2 \times 2.5 \text{ m} \times 14.5 \text{ }^\circ\text{C} \times 1.9 = 3.789 \text{ [Kcal/h]}$$

D.2 Consumo de leña.

El consumo del combustible en este caso leña, es directamente proporcional al artefacto a utilizar, en este caso se basará en las características de la estufa Bosca ECO 350, la cual desarrolla una potencia de 7.500 [kcal/h] , la cual posee un rango de calefacción de hasta 130 m^2 , siendo suficiente para cubrir las necesidades térmicas de todas las topologías de viviendas expuestas.

Este artefacto corresponde a tecnología de vanguardia en cuanto a calefacción a leña se refiere, lo dispuesto en el datasheet del artefacto define la carga necesaria para un rendimiento adecuado durante un lapso de tiempo obtenido experimentalmente, esta carga consiste en 3 astillas de 30 cm , de largo con un diámetro de 15 cm , la cual alcanza un tiempo de 2.5 horas aproximadamente, considerando que las propiedades caloríficas del combustible corresponden a leña seca con un porcentaje de humedad no mayor al 20% .

La cantidad de leña a utilizar al día dependerá de la cantidad de ciclos necesarios para cubrir la demanda de calefacción de las viviendas, las cuales en esta etapa serán tratados como astillas por día.

D.2.1 Consumo leña vivienda aislada 1 piso.

Considerando una demanda de 14 horas de calefacción en esta tipología de vivienda, la cantidad de ciclos necesarios es de 5.6 lo cual se traduce finalmente en 21 astillas de leña.

D.2.2 Consumo leña vivienda aislada 2 pisos.

Considerando una demanda de 14 horas de calefacción en esta tipología de vivienda, la cantidad de ciclos necesarios es de 5.6 lo cual se traduce finalmente en 21 astillas de leña.

D.2.3 Consumo leña vivienda fila 1 piso.

Considerando una demanda de 14 horas de calefacción en esta tipología de vivienda, la cantidad de ciclos necesarios es de 5.6 lo cual se traduce finalmente en 21 astillas de leña.

D.2.4 Consumo leña vivienda fila 2 pisos.

Considerando una demanda de 14 horas de calefacción en esta tipología de vivienda, la cantidad de ciclos necesarios es de 5.6 lo cual se traduce finalmente en 21 astillas de leña.

D.2.5 Consumo leña vivienda pareada 1 piso.

Considerando una demanda de 15 horas de calefacción en esta tipología de vivienda, la cantidad de ciclos necesarios es de 6 lo cual se traduce finalmente en 22.5 astillas de leña.

D.2.6 Consumo leña vivienda pareada 2 pisos.

Considerando una demanda de 13 horas de calefacción en esta tipología de vivienda, la cantidad de ciclos necesarios es de 5.2 lo cual se traduce finalmente en 19.5 astillas de leña.

D.3 Costo diario y mensual de calefacción.

La siguiente tabla contiene el valor monetario que necesita el sistema de calefacción para mantener una temperatura adecuada dentro de las viviendas.

Tabla D-1: Costo calefacción a leña diario y mensual (fuente: elaboración propia)

Tipo de Vivienda	Costo Diario [\$CLP]	Costo Mensual [\$CLP]
Aislada 1 piso	2.125	63.750
Aislada 2 pisos	2.125	63.750
Fila 1 piso	2.125	63.750
Fila 2 pisos	2.125	63.750
Pareada 1 piso	2.250	67.500
Pareada 2 pisos	2.000	60.000

Los valores presentes son bastantes generosos con la tecnología en base a leña, principalmente por 3 aspectos, primero, utilización de un calefactor de última tecnología siendo su principio la eficiencia energética, por otro lado, el estado de la leña, la cual no debiera contener un porcentaje de humedad mayor al 20% y finalmente, la cantidad de astillas que contiene un metro cubico de leña, la cual puede variar según sea la homogeneidad de la misma y el formato de venta.

E Proyección energética.

E.1 Caracterización sistemas de calefacción eléctrica.

La proyección energética se basa en los escenarios de penetración de la propuesta desarrollada en el universo de viviendas existentes con sus características propias, la dispersión de las diferentes construcciones en la ciudad se resume en la siguiente tabla.

Tabla E-1: Proyección viviendas según tipo (fuente: Análisis energético viviendas Coyhaique)

Año	Casa Aislada		Casa Fila		Casa Pareada		Total
	1 piso madera	2 pisos madera	1 piso %madera	2 pisos madera	1 Piso madera	2 pisos madera	
2018	9.094	3.657	593	593	2.570	3.262	19.769
2019	9.187	3.695	599	599	2.596	3.295	19.972
2020	9.271	3.728	605	605	2.620	3.325	20.153
2021	9.389	3.776	612	612	2.653	3.368	20.411
2022	9.514	3.826	620	620	2.689	3.413	20.683
2023	9.646	3.879	629	629	2.726	3.460	20.970
2024	9.785	3.935	638	638	2.765	3.510	21.273
2025	9.932	3.994	648	648	2.807	3.563	21.591

Por otro lado, de manera porcentual, la proyección de los hogares presentes en la ciudad de Coyhaique se ilustra en la tabla.

Tabla E-2: Proyección porcentual viviendas según topología (fuente: elaboración propia)

Año	Casa Aislada		Casa Fila		Casa Pareada		Total
	1 piso madera	2 pisos madera	1 piso madera	2 pisos madera	1 Piso madera	2 pisos madera	
2018	46 %	18.5 %	3 %	3 %	13 %	16.5 %	19.769
2019	46 %	18.5 %	3 %	3 %	13 %	16.5 %	19.972
2020	46 %	18.5 %	3 %	3 %	13 %	16.5 %	20.153
2021	46 %	18.5 %	3 %	3 %	13 %	16.5 %	20.411
2022	46 %	18.5 %	3 %	3 %	13 %	16.5 %	20.683
2023	46 %	18.5 %	3 %	3 %	13 %	16.5 %	20.970
2024	46 %	18.5 %	3 %	3 %	13 %	16.5 %	21.273
2025	46 %	18.5 %	3 %	3 %	13 %	16.5 %	21.591

Es evidente que las proyecciones de las viviendas, mantienen la misma razón de crecimiento, por lo tanto, para los diferentes escenarios propuestos se mantendrá la razón sobre la diversidad de las mismas, alcanzando así una muestra ajustada.

E.2 Caracterización demanda de energía.

Luego de determinar los tipos y cantidad de sistemas eléctricos de calefacción a insertar en la ciudad, se da paso a la estimación de energía anual necesaria para su funcionamiento, junto con la evolución de los mismos a través de los años en los cuales se pretende establecer esta alternativa.

Debido a que la implementación de estos sistemas de calefacción se propone de manera gradual y homogénea, basta con estimar la demanda de energía del primer año y replicarla hacia los periodos siguientes, para cada uno de los escenarios propuestos.

Tabla E-3: Demanda energía eléctrica anual viviendas (fuente: elaboración propia)

Tipo de Vivienda	Verano		Invierno		Total Energía [kWh]
	Energía Día [kWh]	Energía Periodo [kWh]	Energía Día [kWh]	Energía Periodo [kWh]	
Aislada 1 piso	4	732	18	3.276	4.008
Aislada 2 pisos	4.5	823.5	20.5	3.731	4.554,5
Fila 1 piso	3.5	640.5	15	2.730	3.370,5
Fila 2 pisos	1.98	362.34	15.32	2.788	3.150,34
Pareada 1 piso	5.83	1.067	25.6	4.659	5.726
Pareada 2 pisos	3.9	713.7	15.6	2.839	3.552,7

Una vez obtenido los valores de la demanda de energía eléctrica por tipo de vivienda, utilizando el mejor sistema evaluado, se estima la energía de cada etapa, para cada escenario propuesto, lo anterior se resume en las siguientes tablas.

- Escenario pesimista:

Tabla E-4: Proyección demanda energía por etapa de ejecución escenario pesimista (fuente: Elaboración propia)

Año	Casa Aislada		Casa Fila		Casa Pareada		Total [MWh]
	1 piso [MWh]	2 pisos [MWh]	1 piso [MWh]	2 pisos [MWh]	1 Piso [MWh]	2 pisos [MWh]	
2018	222,44	109,31	13,48	12,6	97,34	74,61	529,78
2019	222,44	109,31	13,48	12,6	97,34	74,61	1.059,56
2020	222,44	109,31	13,48	12,6	97,34	74,61	1.589,34
2021	222,44	109,31	13,48	12,6	97,34	74,61	2.119,12
2022	222,44	109,31	13,48	12,6	97,34	74,61	2.648,90
2023	222,44	109,31	13,48	12,6	97,34	74,61	3.178,68
2024	222,44	109,31	13,48	12,6	97,34	74,61	3.708,46
2025	222,44	109,31	13,48	12,6	97,34	74,61	4.238,24

- Escenario base:

Tabla E-5: Proyección demanda energía por etapa de ejecución escenario base (fuente: elaboración propia)

Año	Casa Aislada		Casa Fila		Casa Pareada		Total [MWh]
	1 piso [MWh]	2 pisos [MWh]	1 piso [MWh]	2 pisos [MWh]	1 Piso [MWh]	2 pisos [MWh]	
2018	444,88	218,62	26,96	25,2	194,68	149,22	1.059,56
2019	444,88	218,62	26,96	25,2	194,68	149,22	2.119,12
2020	444,88	218,62	26,96	25,2	194,68	149,22	3.178,68
2021	444,88	218,62	26,96	25,2	194,68	149,22	4.238,24
2022	444,88	218,62	26,96	25,2	194,68	149,22	5.297,80
2023	444,88	218,62	26,96	25,2	194,68	149,22	6.357,36
2024	444,88	218,62	26,96	25,2	194,68	149,22	7.416,92
2025	444,88	218,62	26,96	25,2	194,68	149,22	8.476,48

- Escenario optimista:

Tabla E-6: Proyección demanda energía por etapa de ejecución escenario optimista (fuente: elaboración propia)

Año	Casa Aislada		Casa Fila		Casa Pareada		Total [MWh]
	1 piso [MWh]	2 pisos [MWh]	1 piso [MWh]	2 pisos [MWh]	1 Piso [MWh]	2 pisos [MWh]	
2018	667.32	327.93	40.44	37.8	292.02	229.83	1.595,34
2019	667.32	327.93	40.44	37.8	292.02	229.83	3.190,68
2020	667.32	327.93	40.44	37.8	292.02	229.83	4.786,02
2021	667.32	327.93	40.44	37.8	292.02	229.83	6.381,36
2022	667.32	327.93	40.44	37.8	292.02	229.83	7.976,70
2023	667.32	327.93	40.44	37.8	292.02	229.83	9.572,04
2024	667.32	327.93	40.44	37.8	292.02	229.83	11.167,38
2025	667.32	327.93	40.44	37.8	292.02	229.83	12.762,72

Tabla apéndice E-6: Proyección demanda energía por etapa de ejecución escenario optimista (fuente: elaboración propia)

Siendo la implementación anual idéntica, en los diferentes periodos como supuesto, se observa un crecimiento lineal en el tiempo de la demanda de energía eléctrica, respetando la razón de dispersión de los diferentes tipos de hogares presentes en la ciudad de Coyhaique.