



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

**DISEÑO E INTEGRACIÓN DE ENERGÍA GEOTÉRMICA DE BAJA  
ENTALPÍA APLICADA A PROYECTOS DE CONSTRUCCIÓN  
RESIDENCIAL**

**MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL**

**MAURO SEBASTIÁN VIELMA SOSSA**

**PROFESOR GUÍA:  
MAURICIO TOLEDO VILLEGAS**

**MIEMBROS DE LA COMISIÓN:  
PAULO HERRERA RICCI  
ROBERTO ROMÁN LATORRE**

**SANTIAGO DE CHILE  
2013**

RESUMEN DE LA MEMORIA PARA OPTAR AL  
TÍTULO DE: Ingeniero Civil  
POR: Mauro Sebastián Vielma Sossa  
FECHA: 06/05/2013  
PROF. GUÍA: SR. Mauricio Toledo Villegas

La energía geotérmica constituye una fuente inagotable de energía que puede ser extraída de la tierra por medio del bombeo de fluidos calentados en su interior, aprovechando su gran inercia térmica. Este intercambio de calor se realiza para proyectos geotérmicos de baja entalpía en pozos de energía o bien por medio del uso de aguas subterráneas.

Este estudio consiste en la evaluación técnica, económica y legal de implementar sistemas geotérmicos de baja entalpía en Chile, orientados a la generación de calor para calefacción de viviendas típicas chilenas ubicadas en dos zonas características del país. El estudio técnico contempla la inclusión de estructuras tales como pozos o norias (ociosas) que puedan ser usados en estos sistemas, reduciendo el alto costo inicial que tiene la implementación de un sistema geotérmico de baja entalpía. Se presentan mapas de procesos que permiten esclarecer los pasos legales de la solicitud de aprovechamiento del recurso geotérmico.

La investigación incluye estudios económicos en Santiago y Puerto Montt, comparando los costos de calefaccionar, logrando el confort térmico, en tres viviendas distintas por medio de la geotermia de baja entalpía y sistemas convencionales de calefacción más representativos en las ciudades descritas.

Se desarrollan dos diseños de sistemas geotérmicos de baja entalpía identificando tres grandes áreas de diseño: El sistema de intercambio de calor geotérmico, la bomba de calor y el sistema de distribución dentro del hogar. La bomba de calor es fundamental para el desarrollo del sistema, ya que, constituye la mayor ganancia de calor con un Coeficiente de desempeño (COP) cercano a 4. Se destaca que los sistemas de distribución estudiados son los radiadores convencionales y los basados en Fan Coils, identificando estos últimos con un mejor desempeño, también un menor número de terminales haciéndolo viable constructivamente.

Técnicamente los proyectos propuestos son factibles de construir pero económicamente tienen un costo inicial alto, cercano a los \$23 millones, que puede ser mermado con el uso de estructuras ociosas que permiten reducir los costos iniciales hasta en un 40%. Por otra parte, los costos operacionales son considerablemente más bajos comparado con sistemas convencionales de calefacción. Los sistemas que utilizan aguas subterráneas tienen ventajas por tener costos iniciales que generalmente pueden ser menores a los sistemas verticales cerrados, pero tienen la complicación que no siempre se tiene el recurso de agua subterránea cerca de la instalación o bien no se cuenta con el derecho de uso de agua subterránea.

En el ámbito legal en Chile, el año 2010 se aprobó la Ley de Geotermia N° 19.657 que norma el uso del recurso geotérmico otorgando concesiones de exploración y de explotación. La deficiencia de la nombrada ley es que está pensada para proyectos eléctricos de alta entalpía y no para proyectos de aprovechamiento a menor escala, es decir, no hace diferencia alguna sobre tipos de geotermia, teniendo exigencias muy altas para proyectos geotérmicos de baja entalpía, y plazos de concesión muy bajos, siendo necesaria una modificación a la Ley actual.

## **DEDICATORIA**

*Este trabajo va dedicado a todas las personas que han aportado a mi formación profesional y por sobre todo a las que han sido parte de mi formación humana.*

## AGRADECIMIENTOS

*A mis padres Nancy y Mario por el apoyo incondicional en cada una de las etapas de mi vida donde entregando lo mejor de sí inculcaron los valores que hoy me llevan a ser lo que soy. También a mis abuelos que fueron fundamentales en muchas decisiones que han marcado mi camino.*

*A mis hermanos Mario y Cristian por acompañarme siempre, siendo pilares fundamentales en todo lo que hemos construido juntos, en especial agradezco a mi familia cada palabra que me dan y el cariño infinito que tienen.*

*Muchas fueron las personas que han formado parte de este trabajo, y quisiera agradecer de manera especial a Mauricio Toledo por darme toda la confianza y siempre un consejo en un momento justo.*

*A todos los profesionales que ayudaron en la realización de la memoria en especial a Cristian Moreno de ENATIVA y Luciano González del Ministerio de Energía.*

*Y a Paulina por el cariño, comprensión y apoyo que me entregó en todos los momentos de esta memoria.*

## TABLA DE CONTENIDO

<b>1. CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>1</b>
1.1 Objetivos .....	2
1.2 Guía de lectura.....	3
1.3 Hipótesis de la investigación.....	3
1.4 Puntos de partida.....	5
1.4.1 Literatura de diseño de sistemas geotérmicos de baja entalpía .....	5
1.4.2 Literatura de aspectos legales de la geotermia de baja entalpía en Chile .....	6
1.5 Preguntas de investigación.....	6
1.6 Metodología general .....	6
1.6.1 Metodología general de diseño y análisis técnico-económico de sistemas geotérmicos de baja entalpía .....	7
1.6.2 Metodología general de desarrollo de aspectos legales de sistemas geotérmicos de baja entalpía.....	7
<b>2. CAPÍTULO II: DESARROLLO Y DISEÑO DE SISTEMAS GEOTÉRMICOS DE BAJA ENTALPÍA</b> .....	<b>8</b>
2.1 Introducción al Capítulo.....	8
2.2 Descripción de sistemas geotérmicos de baja entalpía .....	8
2.2.1 Circuito de intercambio de calor con la tierra .....	9
2.2.1.1 Sistema Geotérmico de baja entalpía de circuito abierto con uso de aguas subterráneas .....	9
2.2.1.2 Sistema Geotérmico de baja entalpía de circuito cerrado vertical en U.....	11
2.2.2 Bomba de calor.....	13
2.2.3 Sistema de distribución de calor en la vivienda .....	14
2.3 Contexto nacional, supuestos y bases del estudio .....	15
2.3.1 Supuesto de confort térmico 19°C para la investigación .....	15
2.3.2 Zonificación térmica y zonas de interés .....	15
2.3.4 Reglamentación térmica de viviendas .....	16
2.3.5 Tipologías representativas .....	16
2.3.6 Sistemas de calefacción usados en viviendas chilenas y costos de combustibles. ....	18
2.4 Metodología de la investigación.....	19
2.5 Descripción de programa RETScreen.....	21
2.6 Datos de entrada .....	22
2.6.1 Datos de entrada de sistema geotérmico .....	22

2.6.2	Datos de entrada de edificio .....	25
2.6.3	Datos de entrada de datos climatológicos .....	30
2.6.4	Datos de entrada para evaluación económica .....	32
2.7	Tiempo de operación.....	33
2.8	Sistema de distribución .....	39
2.8.1	Sistema de distribución por radiadores .....	39
2.8.2	Sistema de distribución por Fan Coil.....	43
2.9	Resultado y análisis del dimensionamiento de los sistemas .....	47
2.10	Análisis técnico.....	49
2.10.1	Análisis técnico de sistema geotérmico de baja entalpía de circuito abierto con uso de aguas subterráneas.....	49
2.10.2	Sistema cerrado vertical .....	51
2.11	Análisis económico.....	52
2.11.1	Análisis de costos iniciales.....	52
2.11.2	Análisis de costos operacionales y comparativos.....	54
2.12	Evaluación de estructuras ociosas .....	55
2.13	Conclusiones.....	60
<b>3.</b>	<b>CAPÍTULO III: ASPECTOS LEGALES .....</b>	<b>62</b>
3.1	Introducción al Capítulo.....	62
3.2	Aspectos legales generales .....	62
3.3	Aspectos legales de sistemas geotérmicos de baja entalpía de intercambiador de calor abierto con uso de aguas subterráneas.....	63
3.3.1	Procesos para la obtención del derecho de aprovechamiento no consuntivo de aguas subterráneas .....	64
3.4	Aspectos legales de sistemas geotérmicos de baja entalpía de intercambiador de calor vertical cerrado.....	69
3.4.1	Procesos para la obtención de una concesión geotérmica.....	69
3.5	Conclusiones.....	74
<b>4.</b>	<b>CAPÍTULO IV: CONCLUSIONES FINALES.....</b>	<b>75</b>
4.1	Introducción al capítulo .....	75
4.2	Resultados Obtenidos.....	75
4.3	Comentarios sobre la hipótesis .....	77
4.4	Contribuciones al conocimiento .....	77
4.5	Relevancia práctica .....	78

4.6	Futuras investigaciones .....	79
4.7	Conclusiones generales .....	79
<b>5.</b>	<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>81</b>
	<b>ANEXOS.....</b>	<b>84</b>
	ANEXO A: Planos de Zonificación Térmica .....	84
	ANEXO B: Antecedentes meteorológicos .....	86
	ANEXO C: Temperaturas horarias Santiago y Puerto Montt.....	87
	ANEXO D: Cálculo horas de funcionamiento de sistema geotérmico .....	90
	ANEXO E: Especificaciones técnicas de sistema de distribución.....	102
	E.I Radiadores .....	102
	E.II Fan Coil .....	104
	ANEXO F: Bombas de Calor .....	105
	ANEXO G: Dimensionamiento de sistema de distribución de calor .....	106
	G.I Dimensionamiento del sistema de distribución con Radiadores .....	106
	G.II Dimensionamiento del sistema de distribución con Fan Coil .....	112
	ANEXO H: Diagrama de procesos concesión geotérmica (Ministerio de Energía) .....	118

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1: Descripción de la tipologías.....	17
Tabla 2.2: Eficiencia estacional de equipos de calefacción convencionales (CDT, 2010). .....	19
Tabla 2.3: Propiedades Térmicas de los suelos (Rosa, 2009). .....	23
Tabla 2.4: Descripción de Bombas de Calor utilizadas en la investigación.....	24
Tabla 2.5: Valores de transmitancia térmica U [ $\text{W}/\text{m}^2 \text{K}$ ] por zona térmica y año de construcción (CDT, 2010). .....	26
Tabla 2.6: Demanda energética para calefacción anual [ $\text{kWh}/\text{m}^2 \text{año}$ ] .....	26
Tabla 2.7: Carga de calefacción para tipologías. ....	28
Tabla 2.8: Selección bomba de calor. ....	30
Tabla 2.9: Condiciones de sitio (RETScreen) .....	31
Tabla 2.10: Desglose de principales costos de instalación del sistema. ....	33
Tabla 2.11: Temperaturas de diseño para Santiago y Puerto Montt. ....	35
Tabla 2.12: Bin hours Santiago y Puerto Montt. ....	36
Tabla 2.13: Cálculo de horas de funcionamiento. ....	37
Tabla 2.14: Cálculo de horas anuales de funcionamiento. ....	38
Tabla 2.15: Resumen de horas de funcionamiento. ....	39
Tabla 2.16: Caudales máximos de Circulación. ....	42
Tabla 2.17: Costo total de sistema de radiadores por modelo. ....	42
Tabla 2.18: Dimensionamiento de sistema de distribución con Fan Coil. ....	45
Tabla 2.19: Resumen de resultados de dimensionamiento de sistemas de distribución basados en Fan Coil. ....	45



## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Figura 1.1: Distribución de costos de implementar un sistema geotérmico abierto con dos pozos de 50 m para una vivienda tipo en la Zona Centro Sur de Chile. Elaboración propia.....	2
Figura 1.2: Horseshoe, resumen de la investigación.....	4
Figura 2.1: Comportamiento de las temperaturas del suelo cercanas a la superficie. (DENA, 2013). .....	9
Figura 2.2: Pozos de sistema abierto (VDI 4640, 2001). .....	10
Figura 2.3: Ejemplo de sistema de pozos de producción e inyección (VDI 4640, 2001). .....	11
Figura 2.4: Pozos de sistema vertical cerrado (VDI 4640, 2001). .....	12
Figura 2.5: Diferentes modelos de intercambiador de calor de la sonda geotérmica mostrado esquemáticamente en su sección transversal (VDI 4640, 2001). .....	12
Figura 2.6: Bomba de calor (Detalles técnicos: Bomba de calor, n.d.). .....	13
Figura 2.7: Año de construcción de viviendas en base a unidades construidas. (Elaboración propia: Fuente CDT, 2010). .....	16
Figura 2.8: Representatividad zonal de tipologías A, B y C ajustadas por superficie (Elaboración propia: Fuente CDT, 2010). .....	17
Figura 2.9: Uso de sistemas de calefacción por zona térmica (CDT, 2010). .....	18
Figura 2.10: Costos de combustibles por región. ....	18
Figura 2.11: Diagrama de modelos realizados en RETScreen. (Elaboración propia). .....	20
Figura 2.12: Metodología RETScreen (RETScreen, 2005) .....	22
Figura 2.13: Demanda energética anual en calefacción. ....	27
Figura 2.14: Carga de calefacción. ....	28
Figura 2.15: Demanda vs carga de calefacción. ....	29
Figura 2.16: Carga de diseño en kW de tipologías. ....	29
Figura 2.17: Grados-Día de calentamiento Santiago y Puerto Montt. ....	31
Figura 2.18: Histograma de temperaturas horarias del mes de julio de 2010, 2011 y 2012. ....	34
Figura 2.19: Carga térmica de diseño [kW] con respecto a la temperatura exterior, Tipología A SRT Santiago. ....	36
Figura 2.20: Imagen de radiador DK500 (ANWO). ....	40
Figura 2.21: Dimensionamiento de sistema de distribución con radiadores. ....	41
Figura 2.22: Carga de diseño con respecto al área de radiadores. ....	43
Figura 2.23: Fan Coil (MCQUAY). ....	44

Figura 2.24: Dimensiones de Fan Coil (MCQUAY).....	44
Figura 2.25: Carga de diseño vs área Fan Coil.....	46
Figura 2.26: Caudal de extracción de sistemas abiertos. ....	47
Figura 2.27: Profundidad de pozos geotérmicos para sistemas cerrados verticales. ....	48
Figura 2.28: Superficie de terreno para sistemas geotérmicos abiertos.....	50
Figura 2.29: Costos de instalación de sistemas geotérmicos.....	52
Figura 2.30: Distribución total de costos de sistema geotérmico. ....	53
Figura 2.31: Repago del sistema comparándolo con sistemas convencionales.....	54
Figura 2.32: Comparativa de costos operacionales anuales de sistemas de calefacción estudiados considerando confort térmico. ....	55
Figura 2.33: a) Estanque tipo de acumulación de agua (imagen referencial) b) Instalación real de estanque de agua (imagen propia de instalación en edificio de Compañía Chilena de Perforaciones Ltda.).....	56
Figura 2.34: Piscina utilizada como reservorio térmico (de Miguel, 2008).....	56
Figura 2.35: a) Pozo sin uso de extracción de agua (imagen propia de propiedad en la comuna del Tabo, V región, Chile. b) Pozo profundo (imagen propia de instalación en edificio de Compañía Chilena de Perforaciones Ltda.. Pudahuel, Región Metropolitana, Chile). ....	58
Figura 2.36: Comparativa de costos iniciales de sistemas geotérmicos abiertos con integración constructiva.....	59
Figura 2.37: Distribución total de costos de sistema geotérmico de baja entalpía abierto con uso de aguas subterráneas con integración constructiva. ....	60
Figura 3.1: Mapa de procesos solicitud de derecho de aprovechamiento de aguas subterráneas (Elaboración propia). ....	65
Figura 3.2: Fases para constitución de un derecho de aprovechamiento de aguas (Elaboración propia) .....	67
Figura 3.3: Restricciones a los Derechos de Agua. Región Metropolitana, Santiago (DGA, 2013). ....	68
Figura 3.4: Restricciones a los Derechos de Agua. Región de los Lagos, Puerto Montt. (DGA, 2013). ....	68
Figura 3.5: Mapa de procesos solicitud de concesión de Energía Geotérmica (Elaboración propia). ....	71
Figura 3.6: Fases de procedimiento para constituir una concesión de Energía Geotérmica. ....	72

## 1. CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

El desarrollo de las energías renovables no convencionales en Chile ha tenido un lento crecimiento, en especial la geotermia de baja entalpía que basa su funcionamiento en el aprovechamiento de la energía almacenada en forma de calor por debajo de la superficie sólida de la tierra (VDI 4640, 2010). Los sistemas geotérmicos integrados con bomba de calor son altamente eficientes al utilizarlos para calefaccionar viviendas, y podrían ser una buena alternativa para la situación chilena actual, donde la distribución de consumo energético en calefacción a nivel residencial contempla más del 55% del consumo residencial total anual del país, siendo las zonas australes las que elevan el consumo promedio de energía dedicada a calefacción a más del 80% del consumo total anual (CDT, 2010). Debido al alto costo de los combustibles, y a la baja calidad térmica de las viviendas chilenas se aprecia un sacrificio del confort térmico en ellas (CDT, 2010).

La energía geotérmica engloba el calor almacenado en rocas, suelos y aguas subterráneas, cualquiera sea su temperatura, profundidad y procedencia, sin embargo el calor contenido en rocas y suelos es demasiado difuso para ser extraído directamente de forma económica, siendo necesario disponer de un fluido, generalmente agua, para transportar el calor hacia la superficie de forma concentrada, mediante sondeos, sondas geotérmicas, colectores horizontales, o mediante intercambiadores de calor tierra-aire enterrados a poca profundidad en el subsuelo (Llopis y Rodrigo, 2008).

Los sistemas geotérmicos de baja entalpía aprovechan la energía interna y la inercia térmica de la tierra, donde aproximadamente entre los diez y veinte metros de profundidad la temperatura del suelo mantiene un equilibrio pese a la oscilación térmica diaria y estacional, de ahí aumenta aproximadamente 3°C cada 100 m de profundidad (VDI 4640, 2010). Esta inercia térmica es la base de los sistemas geotérmicos de baja entalpía que usan como medio de captación sistemas de intercambio de calor con el suelo, destacando en este trabajo los intercambiadores verticales cerrados (*borehole*) y los sistemas abiertos que utilizan aguas subterráneas. Para hacer uso del calor extraído es necesario integrar el sistema con una bomba de calor, que actuará como intermediaria entre el sistema de intercambio de calor o colector y el sistema de distribución interno de la vivienda, aportando el complemento de energía necesario para acondicionar térmicamente el hogar.

Los sistemas geotérmicos de baja entalpía presentan un alto costo de instalación, lo cual constituye una barrera de entrada importante y la hace correr con desventaja frente a los sistemas de energía convencionales. La Figura 1.1 muestra una distribución preliminar de costos iniciales del sistema completo basados en el costo de perforación, precios de mercado de bomba de calor y estanque de acumulación, y costo de radiadores convencionales en Chile. Se aprecia que el ítem intercambiador de calor es el de mayor relevancia en el sistema, lo cual, motiva la realización de proyectos más inteligentes utilizando una estructura existente previamente como pozos, calicatas y alguna otra que pudiera formar parte del sistema intercambiador de calor con la tierra (Estructuras ociosas), disminuyendo de esta forma los costos iniciales.

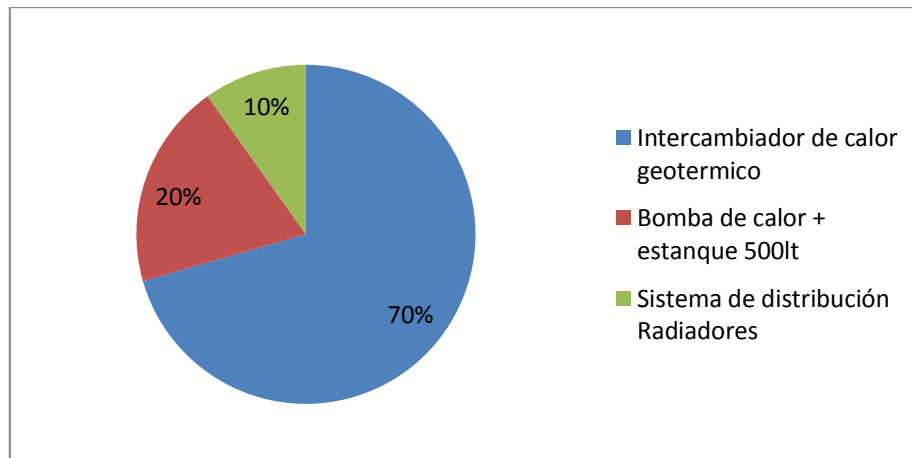


Figura 1.1: Distribución de costos de implementar un sistema geotérmico abierto con dos pozos de 50 m para una vivienda tipo en la Zona Centro Sur de Chile. Elaboración propia.

Los diseños de sistemas geotérmicos de baja entalpía con bomba de calor son altamente usados en muchos países de Europa, en Estados Unidos y Canadá teniendo muy buenos resultados en la calefacción de viviendas y en el acondicionamiento térmico de edificaciones en general, se distinguen dentro de estos sistemas una diferenciación por el tipo de intercambiador de calor que utilizan, siendo los de mayor utilización los sistemas cerrados, verticales y horizontales, y en menor medida los abiertos con uso de aguas subterráneas. Estos sistemas han tenido un explosivo aumento en los últimos 25 años, convirtiéndose en una excelente alternativa a los sistemas convencionales de calefacción y refrigeración (Lund, 2004).

Una parte fundamental para la viabilidad del desarrollo de sistemas geotérmicos son las normativas vigentes en Chile que regulan el uso del recurso geotérmico (Ley 19.657, 2000), como también las que regulan los derechos de agua para uso no consuntivo (Código de Aguas, 1981) que forman parte de la legislación chilena. Es de importancia para el futuro de este tipo de tecnologías contar con leyes adecuadas que puedan facilitar y potenciar el uso de este tipo de tecnologías, contando con procesos legales expeditos y claros para poder hacer uso del recurso geotérmico.

## 1.1 Objetivos

### Objetivo general:

El objetivo general de esta investigación es la evaluación técnica, económica y legal de sistemas geotérmicos de baja entalpía para usos en calefacción de viviendas, integrados con bomba de calor y sin sacrificio del confort térmico en Chile.

### Objetivos específicos:

- i) Evaluación de estructuras existentes en viviendas, tales como pozos o norias que puedan ser utilizados en los diseños de sistemas geotérmicos, bajando de esta forma los costos iniciales del proyecto.

- ii) Identificar procesos y barreras de la legislación chilena que norma el uso del agua subterránea y el suelo para uso geotérmico de baja entalpía, generando mapas de procesos que permitan esclarecer cómo proceder legalmente al solicitar permisos de uso del recurso geotérmico.

## 1.2 Guía de lectura

Esta memoria se estructura en cuatro capítulos. El primero resume y entrega antecedentes generales y específicos del proyecto, éste pretende informar al lector de cuáles son los objetivos del trabajo, como también dar a conocer los procedimientos que se desarrollan en los capítulos siguientes. En el segundo capítulo se presenta el desarrollo técnico y económico de la investigación, mientras que en el capítulo tercero se abordan los aspectos legales del proyecto, y en el último capítulo se presentan las conclusiones y discusiones finales. Luego se incluye la bibliografía y finalmente una sección de Anexos de la memoria.

Para estructurar la investigación se ha utilizado el método de siete pasos "*horseshoe*" del Center for Integrated Facility Engineering (CIFE) ilustrada en la Figura 1.2 (Fischer, 2006). El "*horseshoe*" es un método iterativo donde cada etapa está en constante revisión para asegurar correlación y consistencia de la investigación.

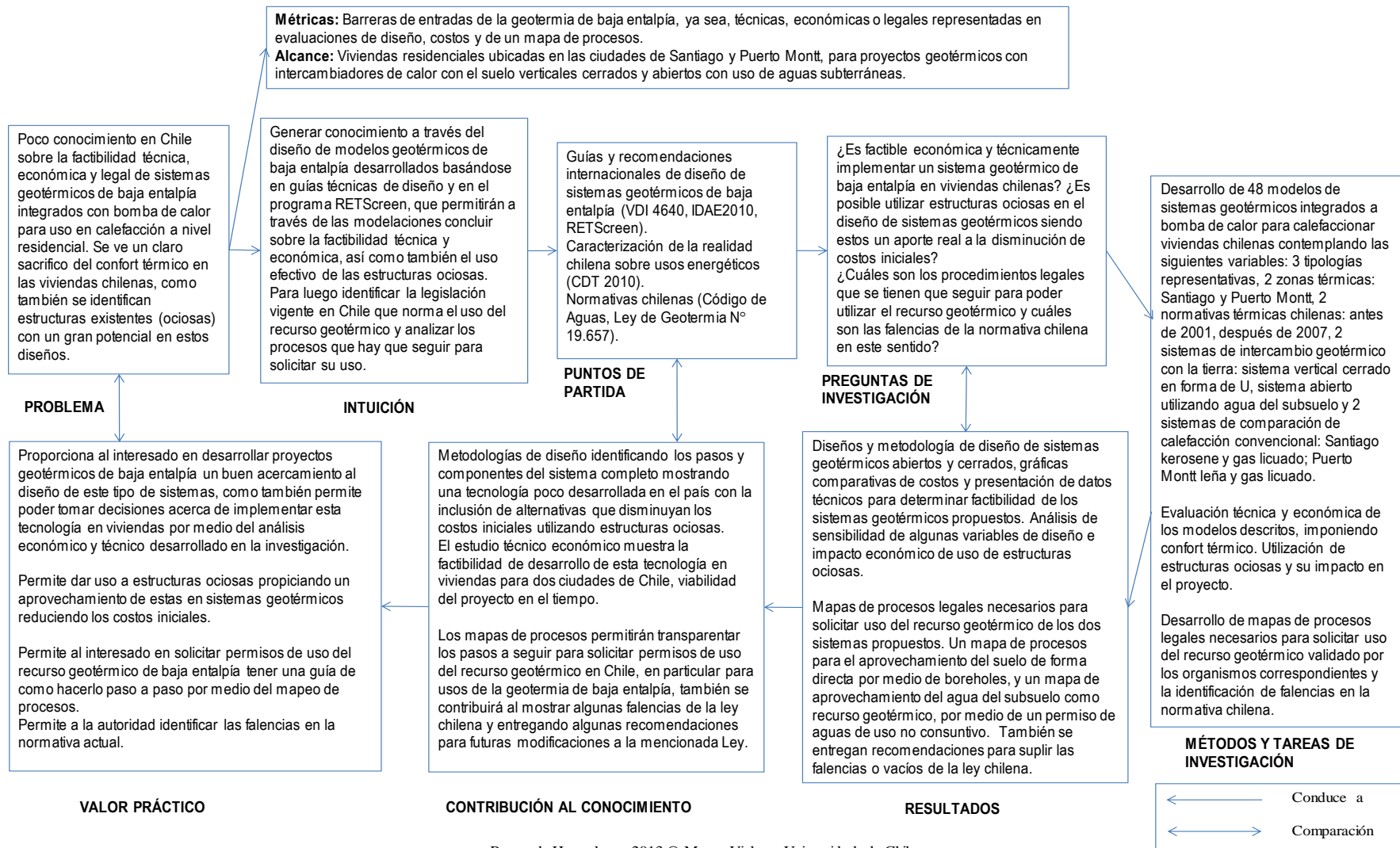
## 1.3 Hipótesis de la investigación

Hipótesis: Se pueden construir sistemas geotérmicos de baja entalpía con bomba de calor en Chile, cuyo uso en calefacción conseguirá confort térmico pudiendo incluir en su sistema estructuras ociosas.

Esta hipótesis se conseguirá probar realizando un diseño completo del sistema geotérmico de baja entalpía, para ello es necesario identificar tres subsistemas:

1. Circuito de intercambio de calor geotérmico, o sistema colector.
2. Bomba de calor geotérmica
3. Circuito de intercambio de calor con la vivienda, o sistema de distribución.

Para lograr verificar la hipótesis se analizarán la factibilidad de los distintos diseños desde el punto de vista técnico como del económico, para luego evaluar también la factibilidad de implementación desde el punto de vista legal.



Research Horseshoe - 2013 © Mauro Vielma, Universidad de Chile

Figura 1.2: Horseshoe, resumen de la investigación.

## 1.4 Puntos de partida

Los puntos de partida tienen relación con la revisión de la literatura y, como su nombre lo dice, es sobre qué bases teóricas se va a construir la memoria. Se podrán identificar dos ítems importantes, que forman parte de los dos grandes ejes de la memoria:

- Diseño de sistemas geotérmicos de baja entalpía.
- Aspectos legales de la geotermia de baja entalpía en Chile.

### 1.4.1 Literatura de diseño de sistemas geotérmicos de baja entalpía

Variada es la literatura acerca de los distintos sistemas geotérmicos de baja entalpía a nivel internacional, pudiendo encontrar consideraciones de diseño, ambientales y de experiencias internacionales generales y específicas de pozos geotérmicos (de Moel, 2010), como también especificaciones de pozos para aprovechamiento geotérmico a través de aguas subterráneas (Geo-Heat Center, 2001).

El diseño de sistemas geotérmicos de baja entalpía tiene un gran desarrollo en Alemania cuyo foco esencial son los *boreholes* y donde la literatura es muy específica abordando variados sistemas de intercambio de calor con la tierra teniendo como referencia la VDI 4640, ésta recomendación de diseño es muy usada por toda la comunidad europea, y es un buen punto de partida para el diseño de estos sistemas.

El desarrollo de sistemas geotérmicos en Norte América es también muy avanzado y a la vez frecuentemente utilizado en sus viviendas. La creación de software de diseños es fundamental para la evaluación y dimensionamiento de sistemas energéticos, en este sentido se utilizará en esta investigación un programa del Ministerio de Recursos Naturales de Canadá llamado RESTScreen, que permite dimensionar los sistemas y realizar evaluaciones energéticas como económicas de los modelos. La base teórica del software se puede encontrar en documentos estadounidenses de la ASHRAE Handbook, Fundamentals de los años 1981, 1985 y 1997 como también de IGHPA Closed-Loop/Ground-Source Heat Pump Systems de 1988 que forman parte de las bases teóricas utilizadas por la comunidad internacional y por el software escogido (RETScreen, 2005).

También como parte de la revisión bibliográfica, se estudiaron guías de diseño españolas (IDAE, 2010) que abordan detalladamente el método de dimensionamiento del tiempo que funcionará el sistema para satisfacer la demanda energética de las viviendas.

Por otro lado el Estudio de usos finales y curva de oferta de conservación de la energía en el sector residencial realizado por la Corporación de Desarrollo Tecnológico de Chile (CDT, 2010) se convierte en la base del dimensionamiento energético de las viviendas de estudio otorgando datos específicos de consumo energético en los hogares chilenos.

Si bien la literatura de diseño es amplia en diversos países del mundo y no es una tecnología reciente, en Chile es escaso el avance en esta área y existe desconocimiento de la factibilidad de aplicación de estos sistemas en el sector residencial, como también respecto a cuál es el costo real de la implementación de los sistemas geotérmicos de baja entalpía para

calefacción de viviendas. La literatura del tema aplicada a viviendas chilenas es pobre y poco detallada, y no permite al interesado tener un punto de partida para poder decidir si es factible económica y técnicamente el implementar estos diseños en su hogar.

#### 1.4.2 Literatura de aspectos legales de la geotermia de baja entalpía en Chile

La geotermia en Chile ha dado un salto cualitativo al promulgarse en el año 2000 la Ley sobre concesiones de Energía Geotérmica (Ley N° 19.657, 2000), que pretende remover barreras de entrada y agilizar las concesiones de exploración y explotación del recurso geotérmico. Algunos estudios identifican las barreras de entrada de la geotermia en Chile (Saldivia, 2011; Pirazolli, 2008), pero lamentablemente todos estos estudios están orientados a geotermia de alta entalpía, generalmente para generación eléctrica.

Al no existir una normativa específica del tema, se trabajará con dos casos que corresponden a los dos tipos de intercambiador de calor con la tierra. En este caso para uso de sistemas abiertos se estudiarán los derechos de agua que contempla la solicitud de aprovechamiento de agua del subsuelo para uso no consuntivo (Código de Aguas, 1981) dependiente de la Dirección General de Aguas (DGA). Para el aprovechamiento del suelo como reservorio térmico correspondiente al uso de sistemas de intercambiador de calor verticales cerrados (*boreholes*), se trabaja con la Ley de Concesiones Geotérmicas (Ley N°19.657, 2000), como también con documentación emanada por el Ministerio de Energía de Chile, que cabe destacar, es el responsable de otorgar los permisos de exploración y explotación geotérmica.

### 1.5 Preguntas de investigación

Las preguntas de investigación resumidas en la Figura 1.2 se definen identificando las falencias o limitaciones que surgen de la revisión de la literatura expuesta en la Sección 1.4.

- ¿Es factible económica y técnicamente implementar un sistema geotérmico de baja entalpía en viviendas chilenas? ¿Es posible utilizar estructuras ociosas en el diseño de sistemas geotérmicos siendo éstas un aporte real al diseño y a la disminución de costos iniciales?
- ¿Cuáles son los procedimientos legales que se tienen que seguir para solicitar el uso del recurso geotérmico y cuáles son las falencias de la normativa chilena en este sentido?

### 1.6 Metodología general

La metodología general de este trabajo se basada en el método iterativo “*Horseshoe*”. Esta sección tiene por objetivo entregar mayores antecedentes de la investigación y de la forma que serán abordados los dos grandes ejes de desarrollo:

- 1) Diseño y análisis técnico-económico de Sistemas geotérmicos de Baja entalpía
- 2) Aspectos legales de geotermia de baja entalpía.



Estos dos ejes comprenden áreas de desarrollo distintas pero que se complementan al unir la parte técnica con la legal.

#### 1.6.1 Metodología general de diseño y análisis técnico-económico de sistemas geotérmicos de baja entalpía

La metodología de trabajo en esta área comenzará con la identificación de dos tipos de sistemas geotérmicos que se estudian en esta investigación, sistemas verticales cerrados con intercambiador geotérmico en forma de U y sistemas abiertos que hacen uso de aguas subterráneas.

Se identifican las construcciones o tipologías de estudio representativas, como también las zonas térmicas donde se centrará la investigación, se determinan las cargas térmicas de calefacción de las viviendas en varios escenarios con confort térmico de 19° C, para luego, por medio del software RETScreen realizar las modelaciones de los distintos sistemas dimensionándolo y realizando en él un análisis económico comparativo con sistemas de calefacción convencionales.

Se escoge la bomba de calor más adecuada para cada modelo ajustándose al mercado nacional actual para ser ingresada al mencionado programa.

El sistema de distribución al interior de la vivienda se dimensiona utilizando radiadores convencionales y los conformados por Fan Coil considerándolo también en el análisis económico de RETScreen.

El análisis que se realiza de los datos lleva a evaluar estructuras ociosas a nivel económico y técnico como de factibilidad de uso en viviendas chilenas y también su impacto en el costo inicial del proyecto.

#### 1.6.2 Metodología general de desarrollo de aspectos legales de sistemas geotérmicos de baja entalpía

La metodología de trabajo en esta área consiste en revisar la literatura existente y las leyes vigentes en Chile que regulan el uso del recurso geotérmico, se identifican los diferentes procesos para constituir un derecho de aprovechamiento geotérmico y de aprovechamiento de aguas subterráneas, generando diagramas o mapas de procesos legales.

Para el estudio de los procesos legales para constituir un derecho de aprovechamiento del recurso geotérmico se trabaja con la Ley de Geotermia (Ley N°19.657) y para el desarrollo de los mapas de procesos de la solicitud de un derecho de agua de uso no consuntivo se estudia la normativa vigente de aguas (Código de Aguas, 1981).

## **2. CAPÍTULO II: DESARROLLO Y DISEÑO DE SISTEMAS GEOTÉRMICOS DE BAJA ENTALPÍA**

### **2.1 Introducción al Capítulo**

En el presente capítulo se abordan el diseño y la evaluación técnica-económica de sistemas geotérmicos de baja entalpía, como también se presentan antecedentes generales del proyecto describiendo los sistemas geotérmicos a analizar, y todos los supuestos bases del estudio. Se presenta el desarrollo completo del informe exceptuando los aspectos legales que se describe en el Capítulo 3.

### **2.2 Descripción de sistemas geotérmicos de baja entalpía**

La energía geotérmica superficial utiliza el calor en los estratos superiores de la Tierra (hasta 400 metros) y del agua subterránea. Esta energía se basa en el calor irradiado por el sol y el flujo de calor desde el interior de la Tierra a la superficie. Es conveniente para la calefacción o refrigeración de edificios y para calentar el agua. A profundidades de alrededor de 20 metros, y dependiendo de las condiciones geológicas hasta un máximo de 40 m, las temperaturas en los estratos superiores de la Tierra están sujetas a las fluctuaciones estacionales. A profundidades cercanas a los 20 m, un equilibrio prevalece entre el exterior y la temperatura interior de la Tierra. En este nivel, las fluctuaciones climáticas ya no se ven, y la temperatura es de aproximadamente la temperatura media anual en el lugar (DENA, 2013).

En la Figura 2.1 se aprecia esquemáticamente el comportamiento de la temperatura en el suelo que según VDI (2010) en Alemania el equilibrio se da entre los diez y veinte metros de profundidad destacando que bajo esta zona neutra, que es definida como la zona donde la oscilación de la temperatura no es mayor a 0,1 K, se tendrá una contribución creciente del flujo de calor geotérmico de aproximadamente 3 K por cada 100 m de profundidad.

Para el caso chileno la temperatura de equilibrio del suelo en Santiago alcanza valores de 15°C (Muñoz, 2011) y unos 11°C en Puerto Montt (Rosa, 2009). Esta es la energía que la geotermia de baja entalpía aprovecha para la climatización de los edificios, captándola a través de diferentes sistemas de intercambio de calor o colectores. Desde estos colectores, el calor es transferido a su vez a las bombas de calor, que actúan como intermediarias entre el sistema de intercambio de calor con el suelo y el sistema de distribución, responsable de climatizar las viviendas.

El sistema de aprovechamiento de la energía geotérmica de baja entalpía se basa en tres elementos principales.

- Circuito de intercambio de calor geotérmico con la tierra
- La bomba de calor geotérmica
- Circuito de distribución de calor en la vivienda

Los sistemas de estudio que se desarrollan en la investigación corresponden a dos de los sistemas de mayor utilización a nivel mundial de aprovechamiento de la energía geotérmica, los cuales corresponden a los sistemas abiertos con uso de aguas subterráneas, y los sistemas de intercambiador de calor cerrados verticales en forma de U.

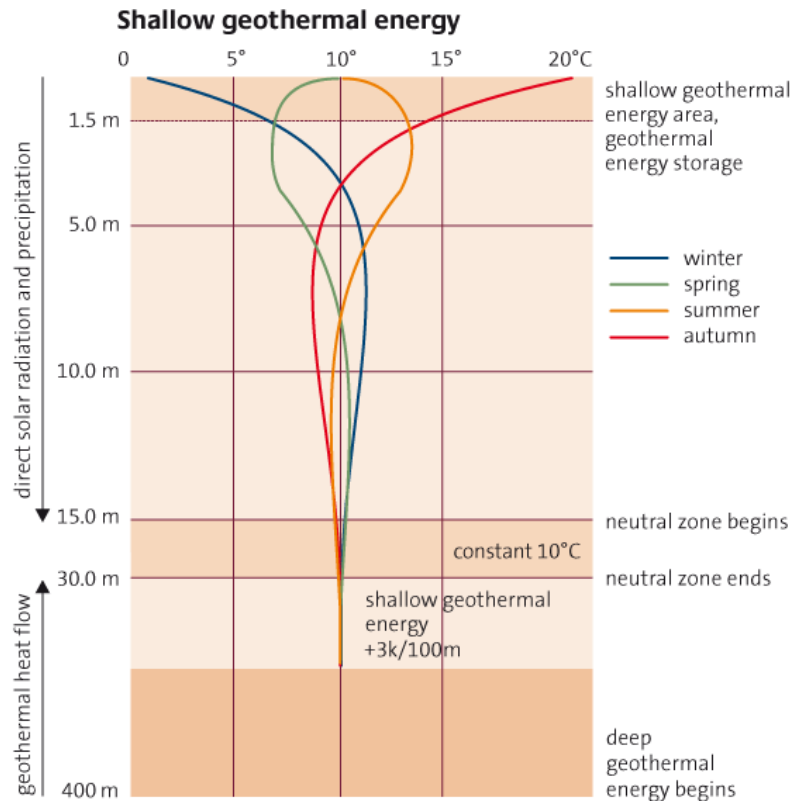


Figura 2.1: Comportamiento de las temperaturas del suelo cercanas a la superficie. (DENA, 2013).

## 2.2.1 Circuito de intercambio de calor con la tierra

Los sistemas geotérmicos de intercambio de calor con el suelo pertenecen a dos grandes grupos a nivel mundial: Los sistemas abiertos de uso de agua subterránea y los circuitos cerrados que se pueden instalar horizontal y verticalmente en pozos o lagos (Lund, 2004).

El estudio contempla el desarrollo de dos diseños distintos de utilización del recurso geotérmico: El aprovechamiento de las aguas subterráneas en pozos verticales y el aprovechamiento del suelo por medio del intercambio de calor a través de pozos o *boreholes* de circuito vertical en forma de U, que son detallados a continuación.

### 2.2.1.1 Sistema Geotérmico de baja entalpía de circuito abierto con uso de aguas subterráneas

Los sistemas geotérmicos de baja entalpía de circuito o lazo abierto con uso de aguas subterráneas son los más antiguos y bien establecidos de los sistemas de bomba de calor geotérmica (Rafferty, 2001). Constituyen cerca del 15% del total de instalaciones de baja entalpía en Estados Unidos (Lund, 2004), y han sido objeto de diversos estudios técnicos internacionales y publicaciones científicas (Geo Heat Center, 2001) como también de múltiples manuales y recomendaciones de diseño (VDI 4640, 2001).

El sistema que se estudia en esta sección es el de uso indirecto de aguas subterráneas como se ve representado en la Figura 2.2. Los sistemas abiertos indirectos emplean un intercambiador de calor entre el bucle edificio y el agua subterránea. Se emplea el agua subterránea como reservorio térmico que circula a través de tuberías desde el pozo de producción. Luego hace el intercambio térmico con la bomba de calor, para después ser vertida al pozo de inyección.

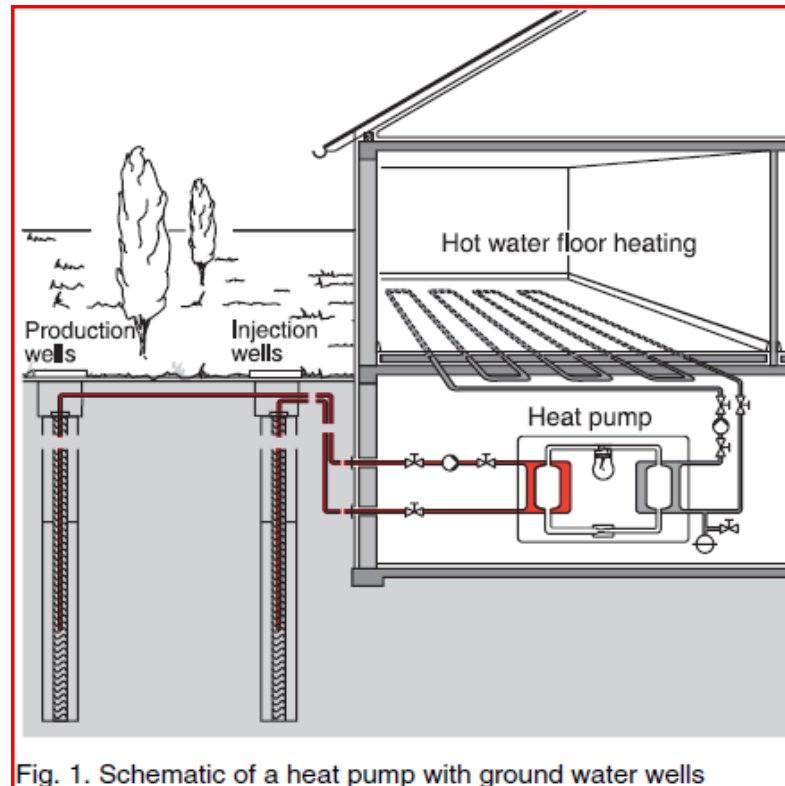


Figura 2.2: Pozos de sistema abierto (VDI 4640, 2001).

### Pozos geotérmicos de extracción de aguas subterráneas.

El sistema de intercambio de calor está constituido por dos pozos, uno de producción, donde se extraerá el caudal necesario de agua, y el otro de inyección donde se introduce el agua a una temperatura menor. El pozo de producción tiene que ser capaz de proporcionar el agua necesaria para asegurar el funcionamiento de la bomba de calor durante todo el ciclo anual. Éste debe ser diseñado cuidando parámetros hidráulicos, químicos y constructivos, contemplando caudal máximo extraído, nivel de depresión de la napa al momento de la extracción, profundidad y diámetro del pozo, como profundidad de extracción y posición de la bomba dentro del mismo (Rafferty, 2001).

El pozo de inyección tendrá que tener una profundidad adecuada para recibir la inyección del agua extraída del pozo de producción que generalmente es devuelta en su totalidad variando la temperatura del agua de extracción en  $\pm 6K$ . Este tiene que ser perforado en la dirección del flujo de las aguas subterráneas a una distancia suficiente del pozo de producción para evitar afectar sus características geotérmicas (VDI 4640, 2001).

En la Figura 2.3 se muestra un ejemplo de pozos de producción e inyección logrando identificar algunos componentes como bombas, filtros y bomba de calor, y a la vez un ejemplo de su dimensionamiento.

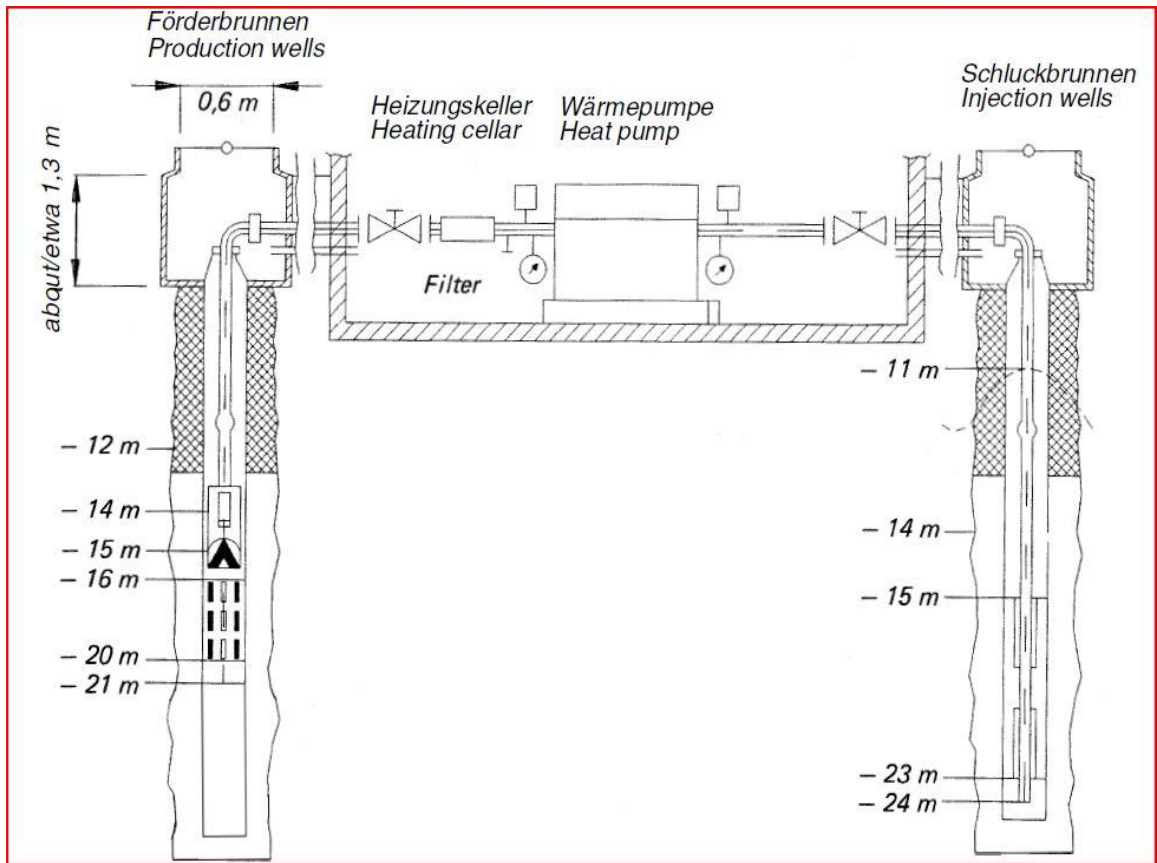


Figura 2.3: Ejemplo de sistema de pozos de producción e inyección (VDI 4640, 2001).

### 2.2.1.2 Sistema Geotérmico de baja entalpía de circuito cerrado vertical en U

Los sistemas geotérmicos de baja entalpía con intercambiador de calor vertical son los más usados a nivel mundial, constituyen el 46% del total de las instalaciones en Estados Unidos, siendo gran parte, aplicaciones residenciales (Lund, 2004). Los sistemas verticales cerrados funcionan bajo un concepto distinto al sistema anterior, realizan un intercambio de calor directo con la tierra por medio de pozos verticales, es decir, el intercambio se realiza a través de sondas geotérmicas consistentes en un tubería en U embebida en la tierra por el cual circula un fluido que traspasa calor al medio en el que se encuentra. En la Figura 2.4 se puede ver representado esquemáticamente los tres ejes de desarrollo, el intercambiador de calor vertical en una perforación o *borehole*, el sistema compuesto por la bomba de calor y el sistema de distribución.

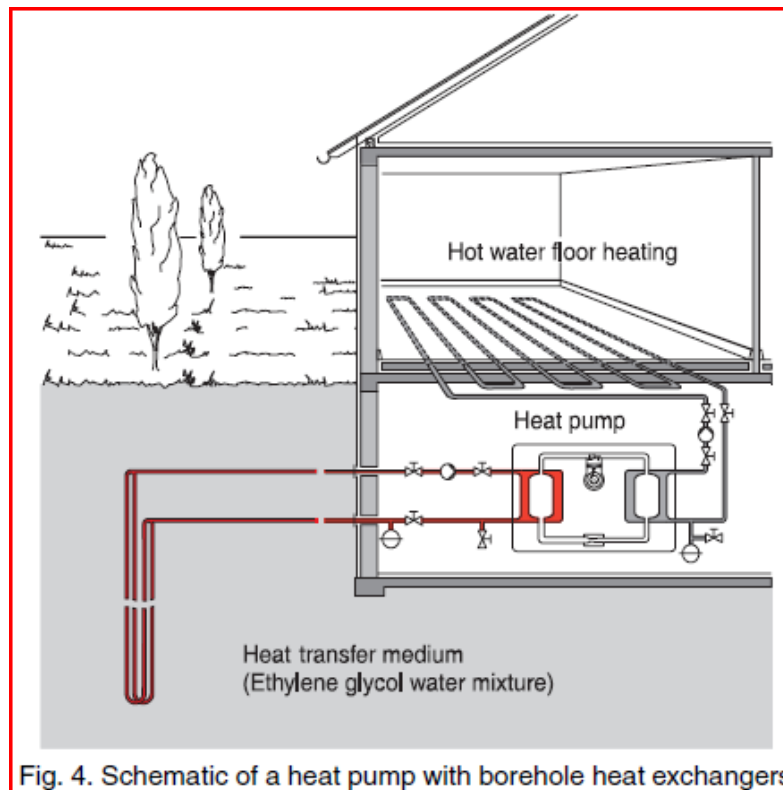


Fig. 4. Schematic of a heat pump with borehole heat exchangers  
 Figura 2.4: Pozos de sistema vertical cerrado (VDI 4640, 2001).

### Pozos geotérmicos (*boreholes*)

Los pozos generalmente tienen una profundidad de entre 10 y 200 m, pudiendo requerir más de un pozo por instalación, es necesario que los fluidos que circulan dentro de la tubería tengan la velocidad suficiente para generar un flujo turbulento, y así tener un mayor intercambio con el medio. Se recomienda también que el retorno del fluido al intercambiador de calor geotérmico no exceda los límites de  $\pm 11$  K de temperatura en la base de operación y  $\pm 17$  K cuando se tengan las demandas punta (VDI 4640, 2001).

Las sondas geotérmicas verticales pueden tener diferentes configuraciones, como tuberías en U simples o dobles embebidas dentro del *borehole* vertical, representado en un esquema de planta en la Figura 2.5. En esta investigación se trabaja con un sistema particular de sonda geotérmica, que corresponde a una tubería simple U por *borehole*.

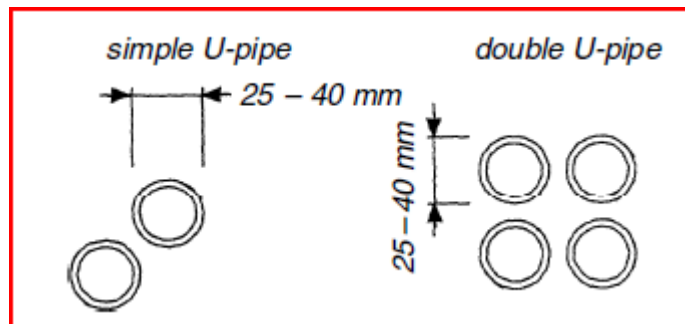


Figura 2.5: Diferentes modelos de intercambiador de calor de la sonda geotérmica mostrado esquemáticamente en su sección transversal (VDI 4640, 2001).

Estos sistemas dependen de las características del subsuelo, siendo los principales parámetros, la conductividad térmica, la difusividad térmica, el calor específico y contenido de humedad del terreno, como también los efectos de la temperatura del agua subterránea (de Moel, 2010).

### 2.2.2 Bomba de calor

La bomba de calor es la base del sistema de calefacción, sin ella no se podría elevar la temperatura extraída del suelo eficientemente. En la Figura 2.6 se presentan los principios básicos de funcionamiento de la bomba de calor geotérmica.

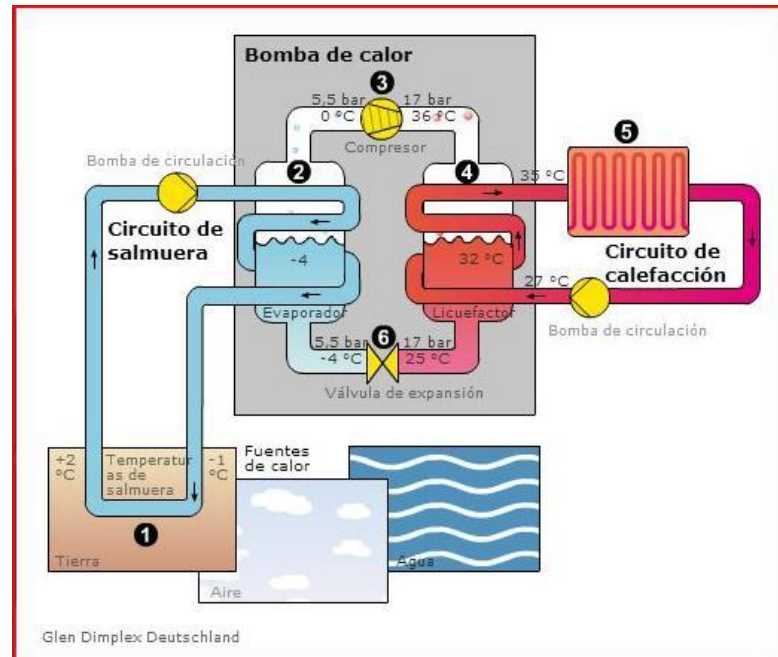


Figura 2.6: Bomba de calor (Detalles técnicos: Bomba de calor, n.d.).

La bomba de calor funciona con un sistema de circuito cerrado con dos intercambiadores de calor, un compresor eléctrico y una válvula de expansión mecánica. En su interior circula un fluido frigorífico que es el encargado de transportar el calor desde un foco caliente a un foco frío por medio de cuatro procesos: evaporación, compresión, condensación y expansión del fluido.

La bomba de calor integrada al sistema geotérmico funciona básicamente en seis pasos que se detallan a continuación (Energylab, 2011a). Cabe destacar que la entalpía es una cantidad de energía cedida o absorbida por un sistema termodinámico, es decir, es la cantidad de energía que un sistema puede intercambiar con su entorno.

- Reservorio térmico a través del uso de agua subterránea en circuito abierto o de intercambiador vertical cerrado (1). Para el primer caso se extrae agua del pozo de producción como se verifica en la Figura 2.2, y para el segundo caso se tendrá un circuito cerrado con salmuera o agua glicolada que intercambia calor con el pozo geotérmico.
- En el proceso de **evaporación** (2) el refrigerante absorbe calor del circuito de intercambio de calor geotérmico para evaporarse, aumentando su entalpía.
- En el proceso de **compresión** (3) por medio de un compresor eléctrico, el gas aumenta su presión, aumentando su temperatura y consecuentemente su entalpía.

- En el proceso de **condensación** (4), el gas caliente y comprimido cede calor al circuito de calefacción (distribución) y se comienza a condensar, bajando, por tanto su entalpía.
- En la distribución de calor en la vivienda que también se hace a través de otro circuito cerrado, el fluido que recorre en su interior absorbe calor elevando su temperatura, para posteriormente retornar con una temperatura menor realizando el intercambio de calor con el circuito de bomba de calor.
- En el proceso de **expansión** (6), el refrigerante en estado líquido a alta presión sufre una caída de presión. Su entalpía no cambia.

Las bombas de calor geotérmicas son eficientes porque utilizan energía que viene de la tierra, como también la necesaria para alimentar al compresor en un sistema cerrado donde casi no existen pérdidas de energía. Estas bombas de calor miden su eficiencia por medio del coeficiente de desempeño, COP: Relación entre la potencia/energía térmica entregada en el condensador y la potencia/energía eléctrica consumida en el compresor.

$$COP = \frac{Q_{out}}{W_{el}}$$

*COP: Coeficiente de desempeño (Coefficient of performance)*

*$Q_{out}$ : Energía térmica total cedida para calefacción*

*$W_{el}$ : Energía eléctrica consumida por el compresor*

El COP depende, en gran medida, de la temperatura del recurso geotérmico pero, en líneas generales, su valor suele estar comprendido entre 3 y 4, pudiendo llegar a 5 (Llopis y Rodrigo, 2008). Estos valores son básicamente la eficiencia de esta tecnología que supera en el mayor de los casos el 300%.

El gas que circulará dentro de la bomba de calor será el HFC R-407C o R-410<sup>a</sup> que son aceptados como refrigerantes y tienen un muy buen comportamiento en este tipo de sistemas.

### 2.2.3 Sistema de distribución de calor en la vivienda

Los sistemas de intercambio de calor con la vivienda o sistema de distribución pueden ser el encargado de entregar el calor desde la bomba de calor a la vivienda. Los sistemas de distribución pueden ser de muchos tipos variando su eficiencia y costo, entre ellos se destacan losa radiante, Fan Coils y Radiadores. Si bien las losas radiantes es el sistema de mejor desempeño para calefacción de viviendas utilizando la energía geotérmica no es incluido en el diseño de los sistemas de estudio, debido a que tiene un alto costo de instalación y dificultades de construcción en viviendas existentes.

Con motivo de cubrir un porcentaje mayor del espectro de las viviendas chilenas se opta por seleccionar dos tipos de sistemas de distribución, que se destacan por ser sistemas completamente compatibles de instalar en viviendas existentes, con un costo menor al de las losas radiantes y de fácil acceso en Chile (Energylab, 2011b). Por lo cual, se analizan dos sistemas de distribución distintos, el compuesto por radiadores convencionales y el de Fan Coils que serán detallados en la Sección 2.8.



## **2.3 Contexto nacional, supuestos y bases del estudio**

El desarrollo del proyecto se basa en analizar desde un punto de vista técnico y económico sistemas geotérmicos de baja entalpía en Chile para uso residencial en calefacción, específicamente en Santiago y Puerto Montt. Para ello es importante conocer cuál es el contexto nacional y local de las viviendas, zonas térmicas, precios de combustibles y sistemas de calefacción más utilizados por las familias chilenas, como también analizar la inclusión de normativas que regulan el comportamiento térmico de las edificaciones.

Se utiliza como base de este capítulo el “Estudio de usos finales y curva de oferta de conservación de la energía en el sector residencial de Chile” (CDT, 2010), el cual, permitirá fundamentar supuestos y hacer representativa y aplicable la investigación a gran parte de las viviendas en las zonas de estudio.

### 2.3.1 Supuesto de confort térmico 19°C para la investigación

El confort térmico según la Norma ISO 7730 es definida como “Esa condición de la mente en la que se expresa satisfacción con el ambiente térmico”, y es adoptada también por la Organización Mundial de la Salud como “Un estado completo de bienestar físico, mental y social” (Palma, 2007). Situación anhelada en las viviendas, pero en Chile la mayoría de las viviendas no alcanza el confort térmico por motivos económicos (Chapple, 2008) y por la deficiente aislación térmica de la envolvente de la vivienda, sin embargo esta situación no es estable, y se espera que en un tiempo se alcance a suplir esta necesidad, por lo cual, se considerará en la investigación el consumo real de energía que se debiera tener para lograr la temperatura de confort dentro de las viviendas de 19° C de forma permanente.

Cabe destacar que al ser un proyecto de calefacción se busca regular las temperaturas inferiores al mencionado valor de confort, sin considerar las temperaturas que excedan los 19°C, es decir, el supuesto de confort térmico se cumple cuando la vivienda logra obtener valores mayores o iguales a los 19°C, ya que, no se contempla en el diseño sistemas de enfriamiento de la vivienda cuando las temperaturas exteriores superen el confort térmico.

### 2.3.2 Zonificación térmica y zonas de interés

La reglamentación térmica nacional con la cual se trabaja, divide el país en 7 zonas de acuerdo a la temperatura media del lugar o más bien con respecto a la diferencia de temperaturas entre una interior de base y la temperatura exterior por medio del método de Grados- Día correspondiente al Artículo 4.1.10 de la Ordenanza General de Urbanismo (Decreto Supremo 47, 2006).

Se agrupan a modo de simplificación estas zonas en tres grupos debido a su comportamiento térmico, definiendo Zona Norte 1 y 2, Zona Centro 3, 4 y 5 y Zona Sur 6 y 7, nombrándolas GTZB, GTZC y GTZD respectivamente (CDT, 2010).

La investigación se centrará en dos ciudades representativas de la zona centro y sur que son las que tienen mayor requerimiento energético de calefacción, dejando fuera del estudio a la zona norte. Santiago es la ciudad escogida en la zona centro, siendo en gran parte representada

por la zona térmica 3 y Puerto Montt correspondiente a la zona 6 descrita en el Manual de aplicación de reglamentación térmica (Instituto de la Construcción, 2006), lo que se ilustra en planos de zonificación térmica en Anexo A.

### 2.3.4 Reglamentación térmica de viviendas

El desarrollo de las normativas chilenas en el ámbito de la aislación térmica de viviendas se puede dividir en tres etapas. Hasta antes del año 2001 no existía una norma que regulara sus valores sino que solo recomendaciones de parte del Ministerio de Vivienda y Urbanismo, para que luego en el año 2001 se modificara la Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones (art. 4.1.10 de la Ordenanza General de Urbanismo) y se incluyó la reglamentación de techumbres. En el año 2007 se modifica nuevamente la ordenanza, esta vez regulando la envolvente térmica contemplando muros, pisos y ventanas (Palma, 2007).

Tomando en consideración el porcentaje de viviendas construidas en Chile según su año de edificación, Figura 2.7, y la representatividad que pudieran tener en la investigación, se estudian los casos de viviendas construidas antes del año 2001 y las viviendas construidas después del 2007. Los dos períodos suman cerca del 87% del total construido (CDT, 2010) y son los dos intervalos de tiempo donde se analizarán las viviendas según la reglamentación térmica vigente en el momento de su construcción. Se decide incluir las viviendas construidas después del año 2007 debido a que la rige la reglamentación térmica vigente a la fecha y para que el estudio sea aplicable a viviendas nuevas.

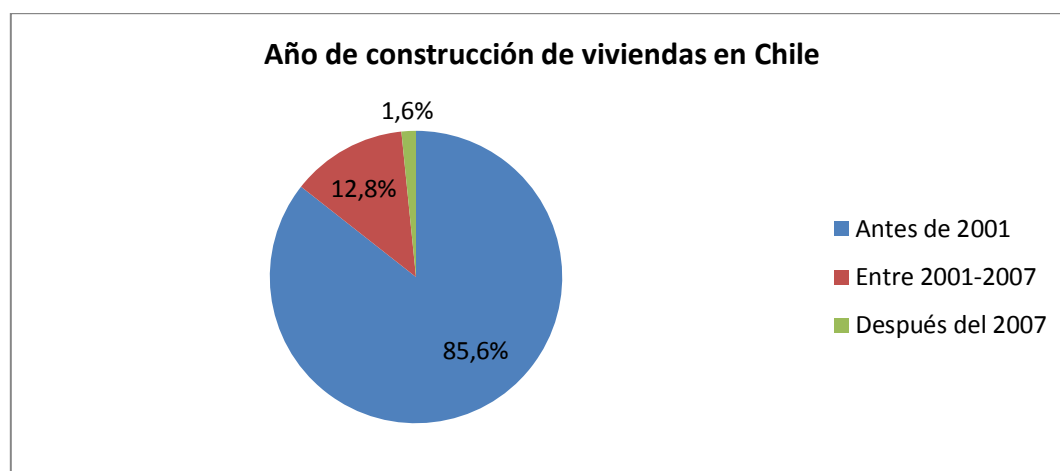








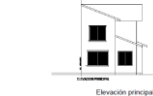



Figura 2.7: Año de construcción de viviendas en base a unidades construidas. (Elaboración propia: Fuente CDT, 2010).

### 2.3.5 Tipologías representativas

Se considera el estudio de tres viviendas tipo, que corresponden a tres tipologías descritas en el “Estudio de usos finales y curva de oferta de conservación de la energía en el sector residencial” (CDT, 2010) y cubren un espectro amplio de la realidad de las viviendas en Chile, específicamente en las ciudades de Santiago y Puerto Montt. Las tres tipologías se detallan en la Tabla 2.1 y fueron escogidas para que representaran un alto porcentaje de las viviendas construidas en las zonas de interés.

Tabla 2.1: Descripción de la tipologías.

Tipologías	Tipo	Materialidad	Superficie útil [m2]		Superficie Total [m2]	Estructuración	
			1er piso	2do piso			
Tipología A	Casa aislada	Abañilería de ladrillo	56,5	-	56,5		
Tipología B	Casa aislada	1er piso Albañilería de ladrillo	63	40	103		
		2do piso estructura de metacón					
Tipología C	Casa pareada	Abañilería de ladrillo	48,4	36,3	84,7		
							

En la Figura 2.8 se presentan estadísticas de las viviendas construidas en Chile para las zonas Centro y Sur ajustadas por la superficie de construcción, se destaca que en Santiago las tres tipologías escogidas representan cerca del 47% de total de viviendas y en Puerto Montt su representatividad llega al 74% (CDT, 2010).

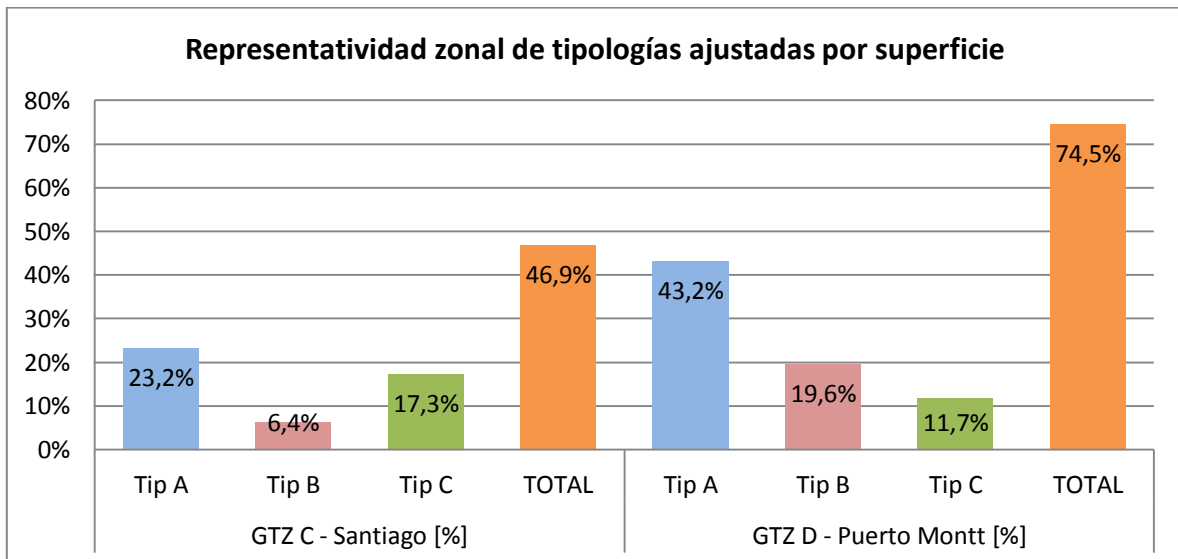


Figura 2.8: Representatividad zonal de tipologías A, B y C ajustadas por superficie (Elaboración propia: Fuente CDT, 2010).

### 2.3.6 Sistemas de calefacción usados en viviendas chilenas y costos de combustibles.

Existen diversos sistemas de calefacción empleados en las viviendas chilenas, destacando la utilización de combustibles fósiles como también biomasa para acondicionar térmicamente las viviendas. El foco de este estudio se centra en residencias pertenecientes a la ciudad de Santiago y Puerto Montt, por lo cual, serán las zonas térmicas de interés la 3 y 6 respectivamente.

Las estadísticas se basan en encuestas a viviendas chilenas (CDT, 2010) sobre utilización de calefactores pudiendo tener más de un tipo de calefacción en ella. La Figura 2.9 presenta los porcentajes de utilización de los dos mayores sistemas de calefacción en las Zonas Térmicas 3 y 6. Se puede apreciar que en la Zona 6 correspondiente a Puerto Montt, en más de un 90% de las viviendas ocupan leña y casi en un 13% utilizan algún calefactor a gas licuado, por ende existen algunas viviendas que tienen calefacción a leña y también a gas licuado a la vez. Mientras que en Santiago los calefactores más utilizados son los que funcionan con gas licuado, con cerca del 49% y de Kerosene con cerca del 34%.

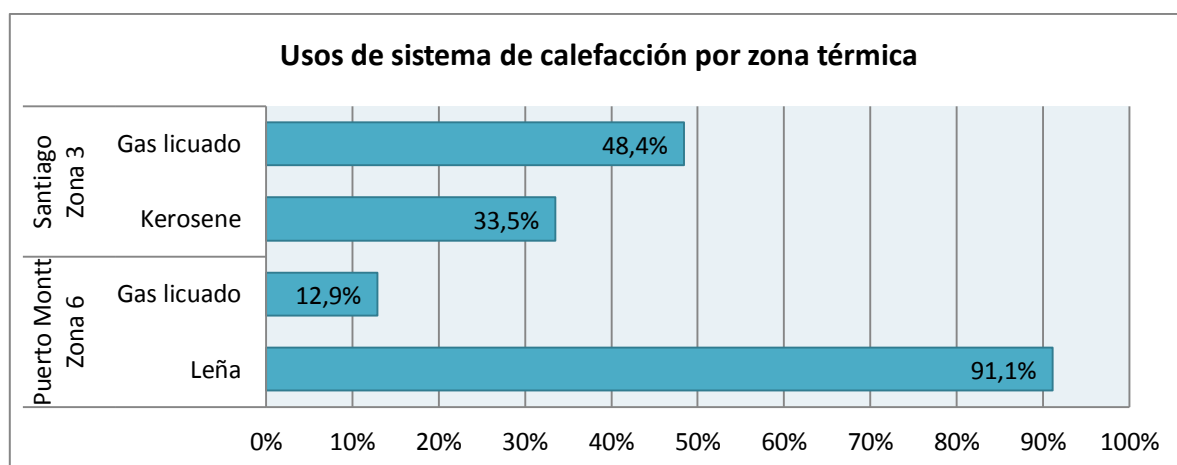


Figura 2.9: Uso de sistemas de calefacción por zona térmica (CDT, 2010).

Los costos de los combustibles en Chile pueden ser una gran barrera cuando se quiere conseguir el confort térmico, y tienen algunas variaciones dependiendo de la región del país donde se requiera su uso. La Figura 2.10 se presenta el costo de los combustibles de los sistemas de calefacción ya descritos identificando la leña como el combustible de menor costo y el gas licuado como el combustible de mayor valor comparativo.

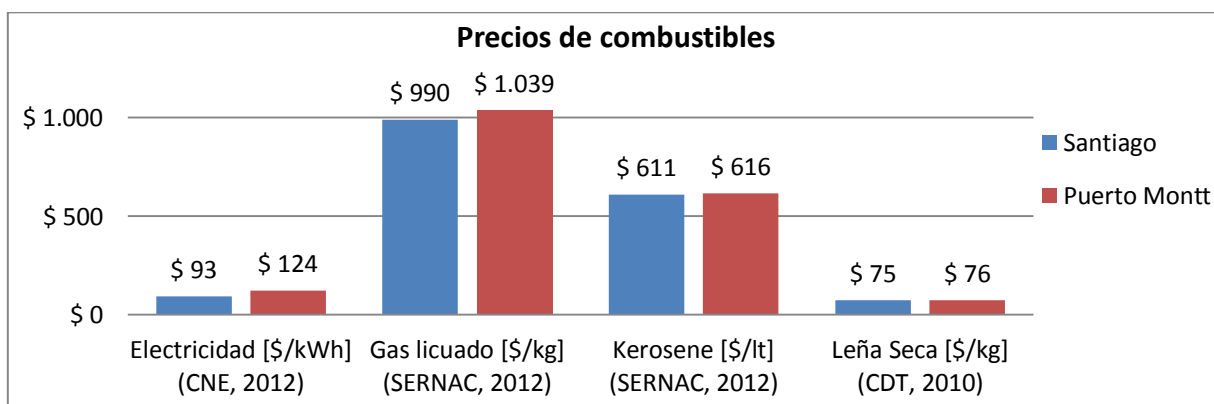


Figura 2.10: Costos de combustibles por región.

Para los sistemas de calefacción descritos se tomará un promedio de eficiencia de cada uno, para posteriormente realizar la comparación con el sistema geotérmico propuesto. En la Tabla 2.2, se entregan los rendimientos de tres tipos de calefactores que serán los que se utilizarán en el desarrollo esta memoria (CDT, 2010).

Tabla 2.2: Eficiencia estacional de equipos de calefacción convencionales (CDT, 2010).

Equipos	Eficiencia
Estufa a gas abierta (mitad con termostato, mitad sin termostato)	0,90
Estufa a kerosene (mitad con termostato, mitad sin termostato)	0,90
Calefactor a leña convencional actual sin termostato	0,64

Se trabajará con los valores expuestos en la Tabla 2.2, pero hay que tener algunas consideraciones a la hora de comparar sistemas de calefacción, ya que, la eficiencia real de estos equipos dependerá del aire extra que se necesite inyectar para asegurar una calidad mínima del aire dentro de la vivienda. La eficiencia de una estufa de combustión directa cae cerca del 50% producto de las renovaciones de aire.

## 2.4 Metodología de la investigación

Analizando todos los antecedentes que fueron expuestos en las Secciones 2.1 y 2.2 se planifica el desarrollo de modelos geotérmicos de baja entalpía con las siguientes variables:

- 3 Tipologías: Tip A, Tip B y Tip C.
- 2 Zonas térmicas: Santiago (Zona 3), Puerto Montt (Zona 6).
- 2 Normativas térmicas: Normativa antes del 2001 (SRT), Normativa después del 2007 (CRT).
- 2 Sistemas geotérmicos: Sistema Abierto con uso de aguas subterráneas, Sistema Vertical Cerrado en forma de U.
- 2 Sistemas convencionales de calefacción de comparación: En Santiago Kerosene y Gas licuado, en Puerto Montt Leña y Gas licuado.

Considerando todas las variables descritas resultan 48 modelos de sistemas geotérmicos de baja entalpía integrados a una bomba de calor, los cuales, abarcan gran parte de la realidad chilena. Para la realización de todos los modelos se asume confort térmico dentro de las viviendas y se compara técnica y económicamente con sistemas convencionales de calefacción.

Los 48 modelos son gráficamente representados en el diagrama de la Figura 2.11 donde se exponen las diferentes variables que tiene cada uno de los sistemas de estudio. Los modelos son desarrollados en RETScreen, programa de evaluación energética que será descrito en el capítulo siguiente y que permite dimensionar los sistemas y realizar análisis económico de los modelos, así como también el dimensionamiento del mismo verificando la factibilidad de construir en viviendas chilenas.

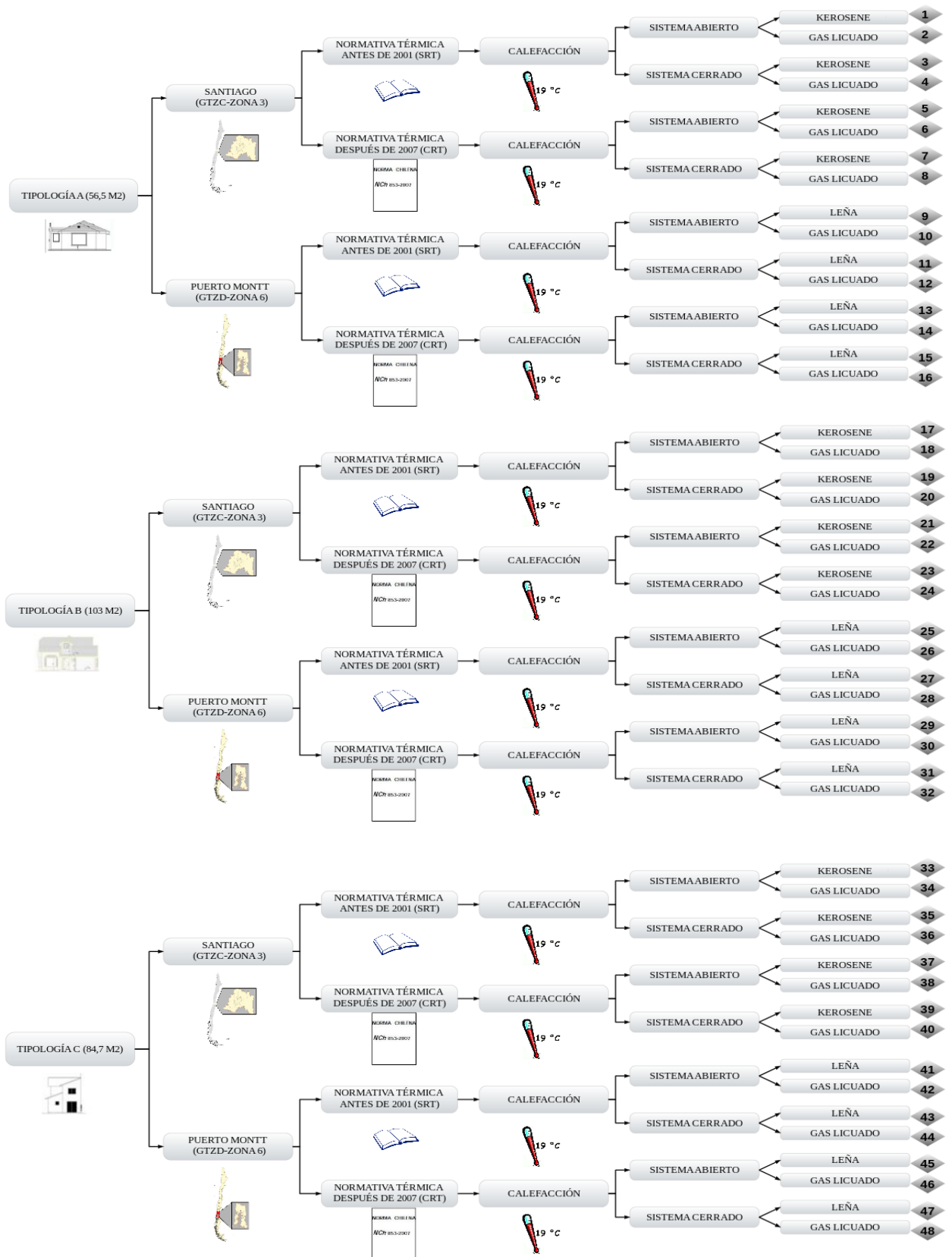


Figura 2.11: Diagrama de modelos realizados en RETScreen. (Elaboración propia).

La bomba de calor se escoge en cada caso para cubrir un 100% de la demanda de calefacción. Para cada modelo se realizan dos diseños de sistemas de distribución, los cuales consisten en el dimensionamiento de sistemas de radiadores convencionales y Fan Coils. Estos sistemas son los encargados de entregar el calor a las viviendas de estudio y son diseñados para satisfacer la demanda energética del sistema, llevando a cabo el intercambio de calor dentro del hogar. Los costos asociados son incluidos en el programa RETScreen permitiendo tener un este ítem dentro de la evaluación económica.

## 2.5 Descripción de programa RETScreen.

El programa RETScreen® International Clean Energy Project Analysis Software ha sido desarrollado por el Departamento de Recursos Naturales de Canadá (Natural Resources Canada, www.nrcan.gc.ca) y cuenta con el apoyo del GEF (Global Environmental Fund), la NASA y otros organismos. Es una herramienta que sirve para el estudio y análisis de sistemas energéticos, en especial y con el objetivo de esta memoria se analizará el área de análisis de proyectos de sistemas geotérmicos de baja entalpía con bomba de calor (RETScreen, 2005).

Este programa trabaja sobre el software Microsoft Excel a través de macros, tiene una base de datos atmosféricos de la NASA, y funda sus cálculos en los documentos de ASHRAE e IGSHPA fundamentalmente, destacando los procedimientos de cálculo de dimensionamiento de los sistemas de intercambio de calor como para la determinación de las cargas de diseño. También se puede destacar que utiliza el método de los Grados-Día para sus cálculos.

### Grados Día

El conteo del Grado-Día permite estimar los requerimientos energéticos anuales en un lugar geográfico dado. El cálculo del Grado-día para calefacción de un día cualquiera, es la sumatoria de la diferencia de temperatura entre la temperatura base o de confort y la temperatura ambiente en cada hora del día (Zomosa, 1993). Cabe destacar que si la temperatura ambiente es superior a la temperatura base se sumará cero, de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$G_{día} = \sum_{i=1}^{24} (\Phi_i - \Phi_{ref})$$

Donde  $(\Phi_i - \Phi_{ref}) > 0$

$\Phi_i = 19^\circ C$  ( $T^\circ$  de confort [ $^\circ C$ ])

$\Phi_{ref} = T^\circ$  ambiente [ $^\circ C$ ]

$G_{día} = \text{Grados} - \text{Día}$  [ $^\circ C - d$ ]

Para la ciudad de Santiago utilizando la base de datos del software RETScreen se tiene un total anual de 1.493 Grados-Día de calentamiento [ $^\circ C-d$ ], y para la ciudad de Puerto Montt se tiene un total de 2.812 [ $^\circ C-d$ ].

### Método de trabajo

La metodología de trabajo del programa se puede ver gráficamente en la Figura 2.12 donde se ve a grandes rasgos cuales son los principales ítems del programa. Se encuentran los datos de entrada correspondientes al tipo de sistema, características del edificio y datos

climatológicos, y de qué forma se combinan para lograr calcular los datos de salida del programa que permiten dimensionar el sistema geotérmico, como también analizarlo económicamente.

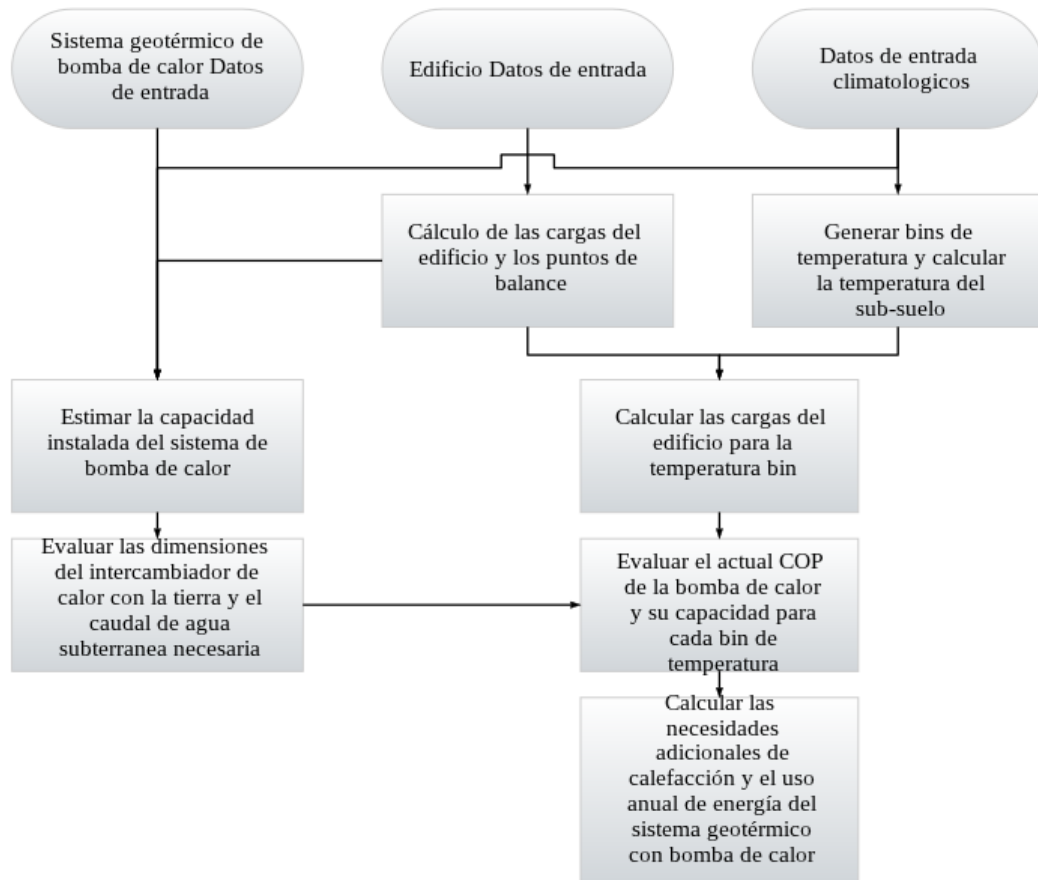


Figura 2.12: Metodología RETScreen (RETScreen, 2005)

## 2.6 Datos de entrada

Luego de exponer en los capítulos anteriores los fundamentos de este estudio se procede al desarrollo de los 48 modelos descritos en la Figura 2.11 en el programa RETScreen. Se trabaja bajo las tres áreas de estudios propuestas en la Figura 2.12 donde se exponen los datos de entrada de los modelos de estudio.

### 2.6.1 Datos de entrada de sistema geotérmico

Como se expuso en la Sección 2.1, en la estructuración de los sistemas geotérmicos se estudian dos tipos de sistemas geotérmicos de baja entalpía que se detallan a continuación:

#### a) **Sistema Geotérmico de Baja entalpía con bomba de calor, y de intercambiador de calor abierto con utilización de aguas subterráneas. Supuestos.**

- Sistema de calefacción cubre el 100% de la demanda.



Se supone que el sistema descrito con bomba de calor corresponde al sistema de demanda base que contempla el 100% de requerimiento total de calefacción sin necesidad de equipos auxiliares.

- Pozos de extracción y de inyección

Los pozos tienen una profundidad de 50 m cada uno, considerando el punto de captación de aguas a los 47 m de profundidad, se asume que los pozos logran cumplir con los requisitos de caudal calculados.

Uso de agua del subsuelo (acuífero) como reservorio térmico y un pozo como receptor del total del agua extraída.

Este supuesto se basa en la alta variabilidad de profundidad de los pozos, encontrando por ejemplo en comunas de la ciudad de Santiago donde el punto de captación se encuentra a 20 m como en otras a 150 m. Por información proporcionada por la empresa “Compañía Chilena de perforaciones Ltda.”, especialistas en perforaciones de pozos profundos, es muy difícil generalizar con respecto a las profundidades de extracción Guimaraens (2012) por lo cual, se optó por tomar un valor fijo para disminuir las variables del problema siendo 50 metros de profundidad un valor real que se puede encontrar en Santiago como en Puerto Montt.

- Tipo de Suelo

Se escoge como suelo de estudio el Suelo pesado-húmedo, este suelo húmedo tiene características de suelo grueso, de gran contenido de gravas y arenas.

En la Tabla 2.3 se exponen algunos valores de tipos de suelo basados en IGSHPA (Rosa, 2009), pudiendo apreciar las características de mayor relevancia del suelo para su utilización en geotermia. Siendo la conductividad térmica la principal característica para el dimensionamiento de los sistemas cerrados verticales, pudiendo destacar que dependiendo del suelo los sistemas geotérmicos tendrán distintos rendimientos.

Tabla 2.3: Propiedades Térmicas de los suelos (Rosa, 2009).

Tipo de Suelo	Conductividad Térmica ( $\lambda$ ) (W / m °C )	Difusividad Térmica ( a ) (m <sup>2</sup> / día)	Densidad ( $\rho$ ) (Kg / m <sup>3</sup> )	Calor Específico (Cp) (W / Kg °C )
Suelo Duro, Húmedo	1,2983	<b>0,0555</b>	2098	0,2677
Suelo Duro, Seco	0,8700	<b>0,0448</b>	2002	0,2328
Suelo Ligero, Húmedo	0,8655	<b>0,0446</b>	1602	0,2910
Suelo Ligero, Seco	0,3462	<b>0,0248</b>	1442	0,2328

- Bomba de calor

Las bombas de calor son las descritas en la sección 2.1 y corresponden a cuatro modelos que cubrirán los requerimientos de todos los sistemas evaluados como se muestra en la Tabla 2.4. Corresponden a bombas de calor de la marca Sunte comercializadas por la empresa ENATIVA, ubicada en Santiago de Chile.

Las bombas de calor se caracterizan fundamentalmente por el coeficiente de desempeño o COP y su capacidad calórica, esta última característica es esencial para el dimensionamiento de los sistemas geotérmicos, ya que, indica la potencia de entrega de la bomba de calor que tendrá que cubrir la demanda térmica máxima de la vivienda, es decir, la carga de diseño calculada para cada uno de los modelos. Se escogen cuatro bombas de diferentes capacidades para satisfacer en todos los 48 modelos propuestos el 100% de la carga de diseño sin equipos adicionales.

Tabla 2.4: Descripción de Bombas de Calor utilizadas en la investigación.

Bombas de Calor Sunte			
Modelo	Pot entrada [kW]	Cap Calórica [kW]	COP Calefacción
DE-27W/S	2,2	8,0	3,64
DW-27C	2,7	10,8	4,00
WW-27C	2,7	13,5	5,00
DW-46C	4,6	16,8	3,65

**b) Sistema geotérmico de baja entalpía con bomba de calor e intercambiador de calor vertical cerrado en forma de U. Supuestos.**

- Sistema de calefacción cubre el 100% de la demanda.

Se supone que el sistema descrito con bomba de calor corresponde al sistema de demanda base que contempla el 100% de requerimiento total de calefacción sin necesidad de equipos auxiliares.

- Tipo de Suelo

Se escoge como suelo de estudio el Suelo pesado-húmedo, este suelo húmedo tiene características de suelo grueso, de gran contenido de gravas y arenas. Se supone el mismo suelo para ambos sistemas geotérmicos.

- Bomba de calor

Las bombas de calor son las descritas en la Sección 2.1 y corresponden a cuatro modelos que cubrirán los requerimientos de todos los sistemas evaluados, como se ilustró en la Tabla 2.4 que muestra las bombas de calor escogidas para desarrollar los modelos.

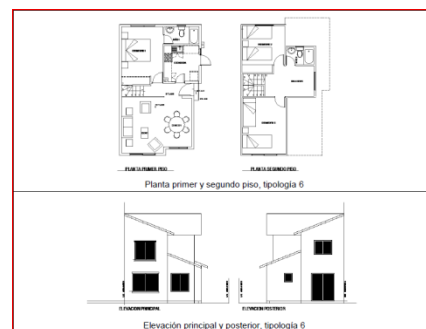
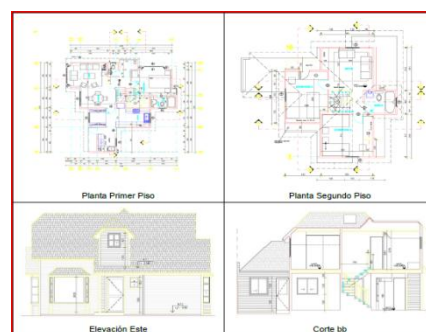
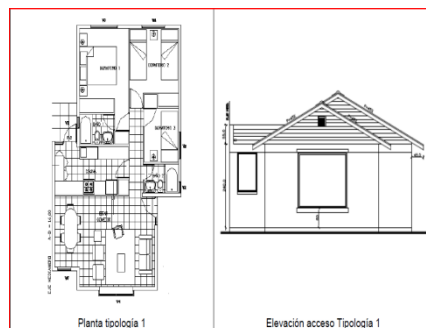
- Intercambiador de calor

Se escogió una configuración estándar para poder hacerlo más aplicable al caso general. El intercambiador consiste en un tubo vertical por pozo (*borehole*) de 31,8 mm de diámetro nominal en forma de U. El líquido circulante se compone de un 25% de glicol. Estos supuestos se fundamentan en los alcances que tiene el programa RETScreen y en los diseños factibles de estudiar en él.

## 2.6.2 Datos de entrada de edificio

Para las edificaciones se trabajará con las tres tipologías propuestas y descritas en la Sección 2.2.4 que a modo de resumen se expondrán las características más relevantes.

- Tipología A:
  - Superficie útil a calefaccionar 56,5 m<sup>2</sup>.
  - 1 piso de albañilería de ladrillo.
  - Casa aislada.
  
- Tipología B:
  - Superficie útil a calefaccionar 103 m<sup>2</sup>.
  - 2 pisos de materialidad mixta.
  - Casa aislada.
  
- Tipología C:
  - Superficie útil a calefaccionar 84,7 m<sup>2</sup>.
  - 2 pisos de albañilería de ladrillo.
  - Casa pareada.



### **Estimación de la demanda energética de tipologías.**

El cálculo de la demanda y consumo de energía de calefacción de las tres tipologías propuestas se obtiene del “Estudio de Usos Finales y Curva de Oferta de Conservación de la Energía en el Sector Residencial de Chile” (CDT, 2010) obtenido de simulaciones energéticas en base a de modelos semi-empíricos que utilizan la “Herramienta de Certificación Energética de Viviendas” (MINVU-PPEE 2008). Este modelo se basa en el método de los grados días de base variable y determina los requerimientos de calefacción para obtener una temperatura interior de 19 °C correspondientes a 20 °C durante el día (16 horas) y 17 °C durante la noche (8 horas).

Se definieron los valores de transmitancia térmica para las viviendas segregado por zona térmica y año de construcción. La Tabla 2.5 muestra los datos para las zonas 3 y 6 correspondientes a Santiago y Puerto Montt respectivamente, como también para viviendas construidas antes del 2001, sin reglamentación térmica (SRT), y las construidas después del 2007, con reglamentación Térmica (CRT). Se obtienen mejoras sustanciales en la normativa de

aislación térmica de muros, techos y pisos, es decir, la inclusión de la normativa térmica el 2007 tienen una exigencia mayor en la envolvente térmica. Un dato interesante se logra apreciar cuando se compara Santiago y Puerto Montt pudiendo apreciar diferencias en los valores de transmitancia térmica para las dos zonas corroborando una mayor exigencia en Puerto Montt que en Santiago.

Tabla 2.5: Valores de transmitancia térmica  $U$  [ $W/m^2 K$ ] por zona térmica y año de construcción (CDT, 2010).

Viviendas			Año Construcción: Antes de 2001 (SRT)				Año Construcción: Después de 2007 (CRT)			
Zona	Tipologías	Materialidad	Ventana	Muro	Techo	Piso	Ventana	Muro	Techo	Piso
Z3-Santiago	A, B, C	Ladrillo	5,8	2,3	3,2	1,4	5,8	1,9	0,47	1,4
Z6-Puerto Montt	A, B, C	Ladrillo	5,8	2,3	3,2	1,4	5,8	1,1	0,28	1,4

Para cada tipología, segregando por año de construcción de las viviendas y su ubicación se obtienen los siguientes valores correspondientes a la demanda energética anual, presentados en la Tabla 2.6. Estos valores fueron obtenidos del mencionado estudio (CDT, 2010) donde se analizaron las tres tipologías, calculando la demanda energética anual en las zonas de interés, como también, tomando en consideración la influencia de la aislación térmica de la envolvente térmica siguiendo los valores expuestos en la Tabla 2.5.

Tabla 2.6: Demanda energética para calefacción anual [ $kWh/m^2$  año]

Demanda energética para Calefacción [ $kWh/m^2$ año]			
<b>Santiago</b>	Tipología A	Tipología B	Tipología C
SRT	326	240	215
CRT	194	159	132
<b>Puerto Montt</b>	Tipología A	Tipología B	Tipología C
SRT	509	379	341
CRT	219	187	157

La Figura 2.13 permite observar de forma gráfica las demandas energéticas de las tres tipologías, localizadas en Santiago y Puerto Montt, mostrando las diferencias del efecto de la inclusión de las normativas de aislación térmica en las dos zonas ya mencionadas.

Al analizar una misma vivienda en las dos zonas térmicas de interés, considerando solamente viviendas sin reglamentación térmica, se obtiene que en promedio las que se encuentran ubicadas en Puerto Montt demandan un 57% más de energía anual para calefacción que las viviendas ubicadas en Santiago. Por otro lado este porcentaje se reduce a un 16% en viviendas que cumplen con la reglamentación térmica mencionada. Esto ocurre debido a que en la zona de Puerto Montt los valores de transmitancia térmica normados son más exigentes que en la zona térmica correspondiente a Santiago, como se resume en la Tabla 2.5.

Cabe destacar que Puerto Montt tiene una menor temperatura media anual, como también una mayor cantidad de horas donde ella se mantiene bajo los  $19^{\circ}C$ , comparado con Santiago, como se estudia en la Sección 2.6.3.

Si se considera en el análisis las mismas tipologías, solo incorporando el cumplimiento de la reglamentación térmica vigente (CRT), se aprecia una disminución cercana al 45% de la demanda de energía con respecto a las viviendas que no cumplen la normativa (SRT).

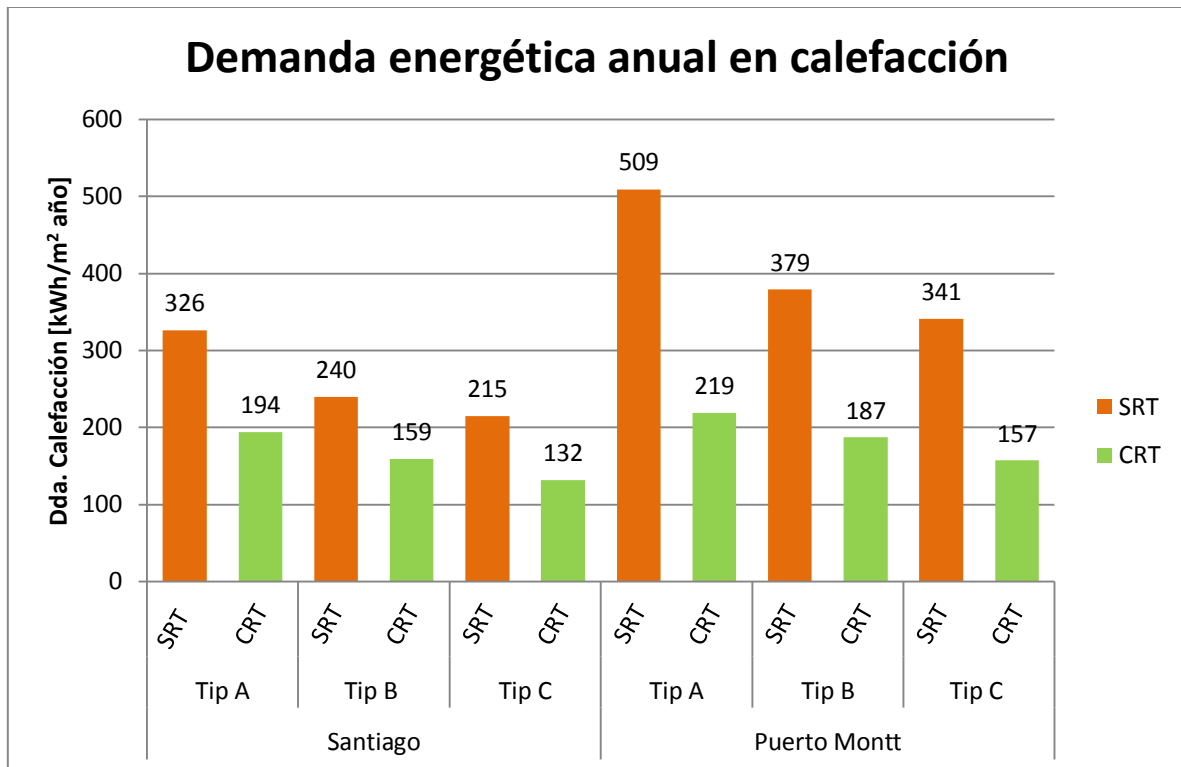


Figura 2.13: Demanda energética anual en calefacción.

Los valores se encuentran dentro de lo esperable para viviendas chilenas donde las construcciones antiguas tienen una demanda promedio de 250 a 350 [kWh/m<sup>2</sup> año], mientras que la normativa que entra en vigencia el 2007 espera lograr valores de 120 a 160 [kWh/m<sup>2</sup> año], como dato y a modo de comparación, la normativa Europea habla de valores menores a 80 [kWh/m<sup>2</sup> año] y las viviendas de alta eficiencia energética logran valores menores a 30 [kWh/m<sup>2</sup> año] considerando un gasto energético total (Román, 2012).

### Cálculo de las cargas de diseño

Las cargas de diseño son usadas para dimensionar y seleccionar la bomba de calor. Éstas están basadas en estándares o condiciones aceptadas para una localidad dada en el día más desfavorable de funcionamiento (IDAE, 2010). Las cargas de diseño calculadas corresponden al dimensionamiento de la potencia del sistema, para seleccionar de mejor forma la bomba de calor.

Para determinar las cargas de diseño se comienza con el cálculo de las cargas de calefacción para el edificio, que corresponden a la potencia nominal de calefacción de diseño, expresada en [W/m<sup>2</sup>].

La carga de calefacción nominal se determina típicamente calculando el factor de pérdidas global de la vivienda, que es simplemente el factor de pérdida unitario expresado en [W/(m<sup>2</sup>°C)], es decir por unidad de superficie interna de la vivienda. Multiplicado por la diferencia de temperatura interior de diseño ( $T_i=19^\circ$ ) y la temperatura exterior de diseño ( $T_{ext}$ ) obtenida de la base de datos del RETScreen como la temperatura de diseño para calefacción, como se expresa en la ecuación siguiente.

$$C_{nom} = U * (T_i - T_{ext})$$

$$C_{nom} = \text{Carga de calefacción nominal} \left[ \frac{W}{m^2} \right]$$

$$U = \text{Factor de pérdidas global} \left[ \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C} \right]$$

$$T_i = \text{Temperatura interior de diseño} [^\circ C]$$

$$T_{ext} = \text{Temperatura exterior de diseño} [^\circ C]$$

Para el desarrollo de esta memoria se utilizará en los cálculos el programa RETScreen que a través de un cálculo inverso por aproximación numérica, es decir, se logra obtener el valor de la carga de calefacción para cada tipología de estudio de la forma inversa, ingresando el valor total de la demanda de energía anual que es el resultado que entrega el software. Estos valores son expuestos en la Tabla 2.7 y graficado en la Figura 2.14.

Tabla 2.7: Carga de calefacción para tipologías.

Carga calefacción para tipologías [W/m2]			
<b>Santiago</b>	Tipología A	Tipología B	Tipología C
SRT	202	149	133
CRT	121	99	82
<b>Puerto Montt</b>	Tipología A	Tipología B	Tipología C
SRT	196	146	131
CRT	84	72	60

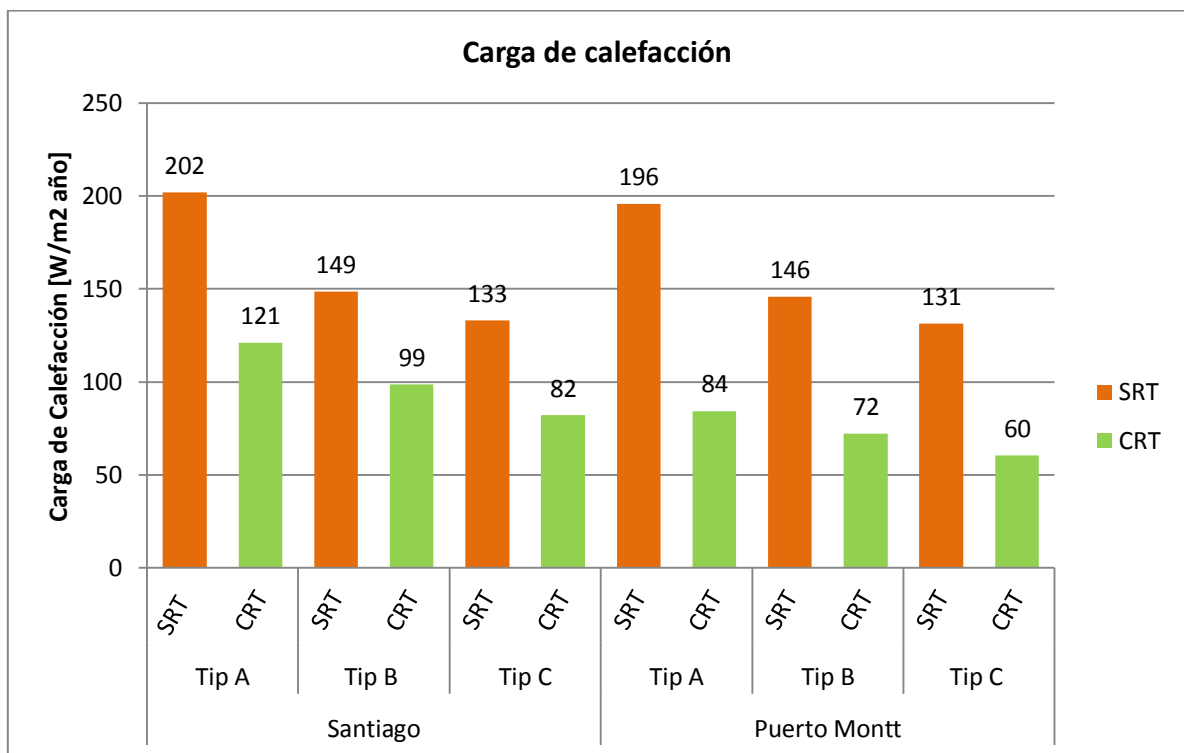


Figura 2.14: Carga de calefacción.

La Figura 2.15 corrobora a través de la relación entre las cargas de diseño de calefacción y la demanda anual de energía, un modelo lineal con el cual trabaja RETScreen, en el cual, las diferentes pendientes de las curvas muestran el efecto de la ubicación geográfica del modelo, por medio de los datos meteorológicos ingresados en el software.

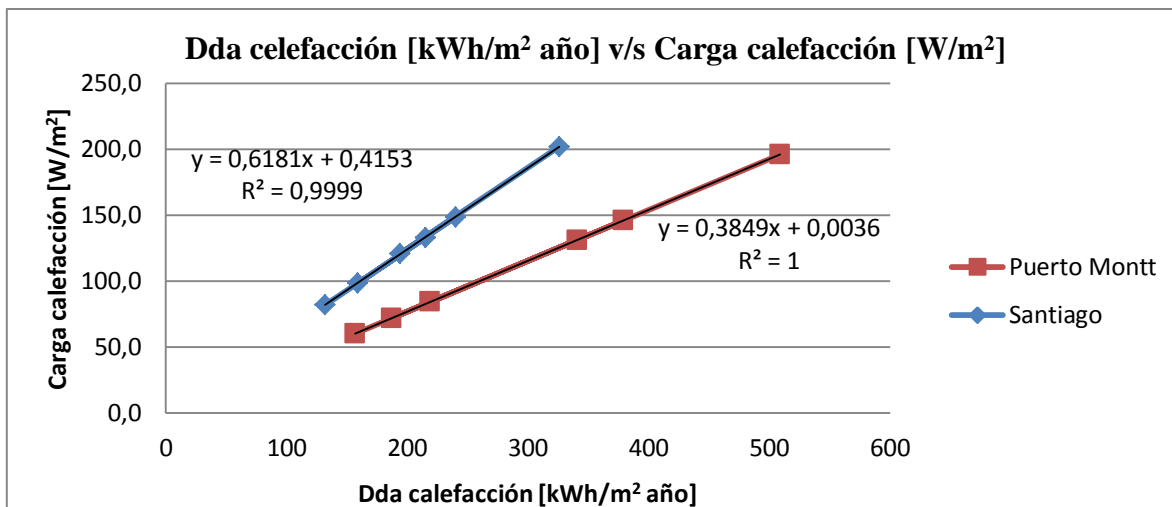


Figura 2.15: Demanda vs carga de calefacción.

Rápidamente luego de tener la carga de calefacción para cada una de las tipologías, se puede obtener la carga de diseño en kW multiplicando los valores expuestos en la Tabla 2.7 por la superficie a calefaccionar que corresponde a la superficie útil de cada vivienda, los resultados son expuestos en Figura 2.16, este es un valor muy importante para el diseño de los sistemas, ya que permite definir la potencia de la bomba de calor que se necesitará en cada uno de los modelos propuestos.

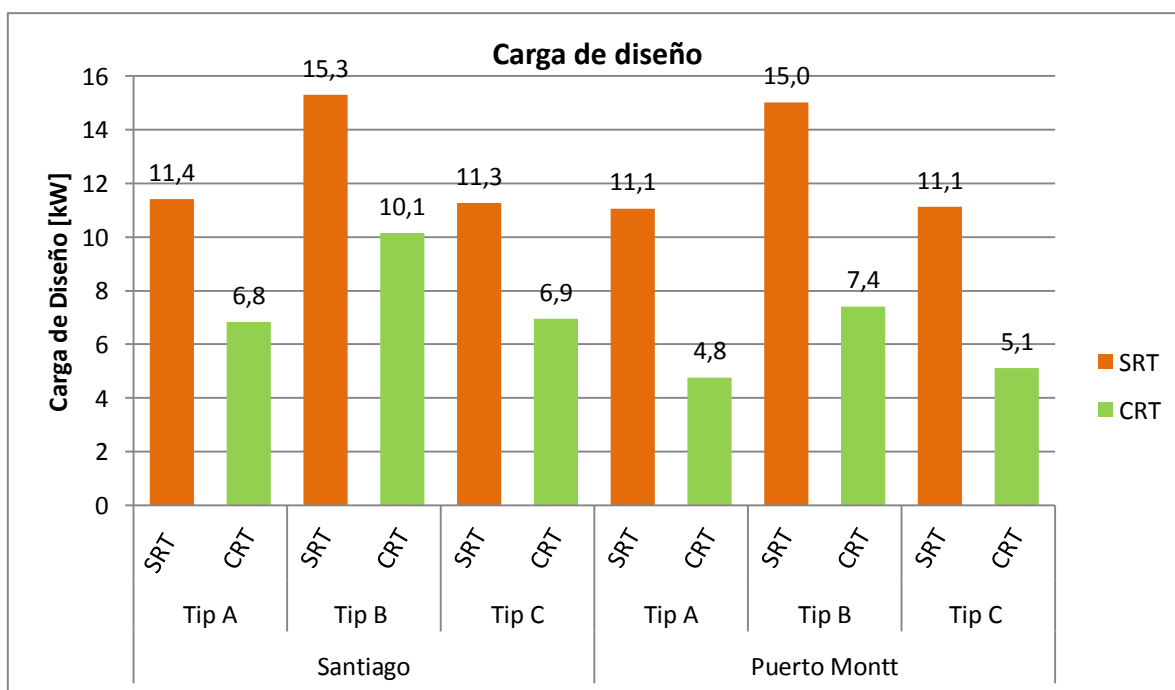


Figura 2.16: Carga de diseño en kW de tipologías.

Del gráfico de la Figura 2.16 se puede apreciar que los valores para una misma vivienda y misma zona térmica tienen variaciones, teniendo una mayor carga que cubrir los modelos que no cumplen con la reglamentación térmica. Pero no es directo entender que la misma vivienda al ser comparada en distintas zonas térmicas tenga como resultado que en Santiago los valores obtenidos sean mayores que en Puerto Montt, tomando en consideración que las temperaturas promedio de Santiago son menores que las de Puerto Montt. Se puede explicar debido a que Puerto Montt tiene un intervalo de tiempo de calefacción más amplio, donde la demanda total se divide en un número de horas mucho mayor, y también otro factor importante es que la carga punta pudiera ser menor debido a que tiene una mayor exigencia en su envolvente térmica como se pudo apreciar anteriormente en la Tabla 2.5.

## Bomba de calor

Con la obtención de la carga de diseño se procede a dimensionar la bomba de calor, recordando el supuesto que el sistema geotérmico logrará el 100% de los requerimientos energéticos, sin necesidad de recurrir a un sistema de calefacción adicional, y en base a los cálculos desarrollados expuestos en la Figura 2.16 se seleccionará la bomba de calor. En la Tabla 2.8 se exponen los 48 modelos que se definieron en la Figura 2.5, para los cuales se selecciona la bomba de calor más adecuada. La selección de la bomba de calor se realiza de forma que la potencia de ésta, logre superar la carga de diseño calculada para cada uno de los modelos.

Tabla 2.8: Selección bomba de calor.

Tipología	Ubicación	Reglamentación térmica	Modelos	Carga de diseño [kW]	Bomba de Calor	
					Capacidad calorífica [kW]	COP de calefacción
Tip A	Santiago	SRT	1,2,3,4	11,4	13,5	5
Tip A	Santiago	CRT	5,6,7,8	6,8	8	3,6
Tip A	Puerto Montt	SRT	9,10,11,12	11,1	13,5	5
Tip A	Puerto Montt	CRT	13,14,15,16	4,8	8	3,6
Tip B	Santiago	SRT	17,18,19,20	15,3	16,8	3,7
Tip B	Santiago	CRT	21,22,23,24	10,1	10,8	4
Tip B	Puerto Montt	SRT	25,26,27,28	15,0	16,8	3,7
Tip B	Puerto Montt	CRT	29,30,31,32	7,4	8	3,6
Tip C	Santiago	SRT	33,34,35,36	11,3	13,5	5
Tip C	Santiago	CRT	37,38,39,40	6,9	8	3,6
Tip C	Puerto Montt	SRT	41,42,43,44	11,1	13,5	5
Tip C	Puerto Montt	CRT	45,46,47,48	5,1	8	3,6

### 2.6.3 Datos de entrada de datos climatológicos

El programa utilizado trabaja con datos meteorológicos de la NASA y es de suma importancia para el dimensionamiento de los sistemas el conocer con exactitud los datos climatológicos de las zonas de estudio. Como se dijo en la Sección 2.4 RETScreen trabaja bajo el método de los Grados-Día utilizando una versión simplificada modificada del *bin method* descrita en ASHRAE Handbook, Fundamentals (1985).



## Grados-Día

Los datos geográficos corresponden en Santiago la comuna de Pudahuel en la estación meteorológica del aeropuerto Arturo Merino Benítez. En Puerto Montt en la estación meteorológica ubicada en el aeropuerto de Tepual, un fragmento de los datos son presentados en la Figura 2.17 donde se exponen los grados días de Santiago y Puerto Montt (Fuente RETScreen). Se logran identificar de las curvas que en Santiago existen entre seis y siete meses donde se requiere calefacción y en Puerto Montt esta situación es distinta destacando que durante todo el año eventualmente se requerirá calefacción, para llegar al confort térmico. En la sección de anexos se encuentran los antecedentes totales meteorológicos como de condiciones de sitio (Anexo B).

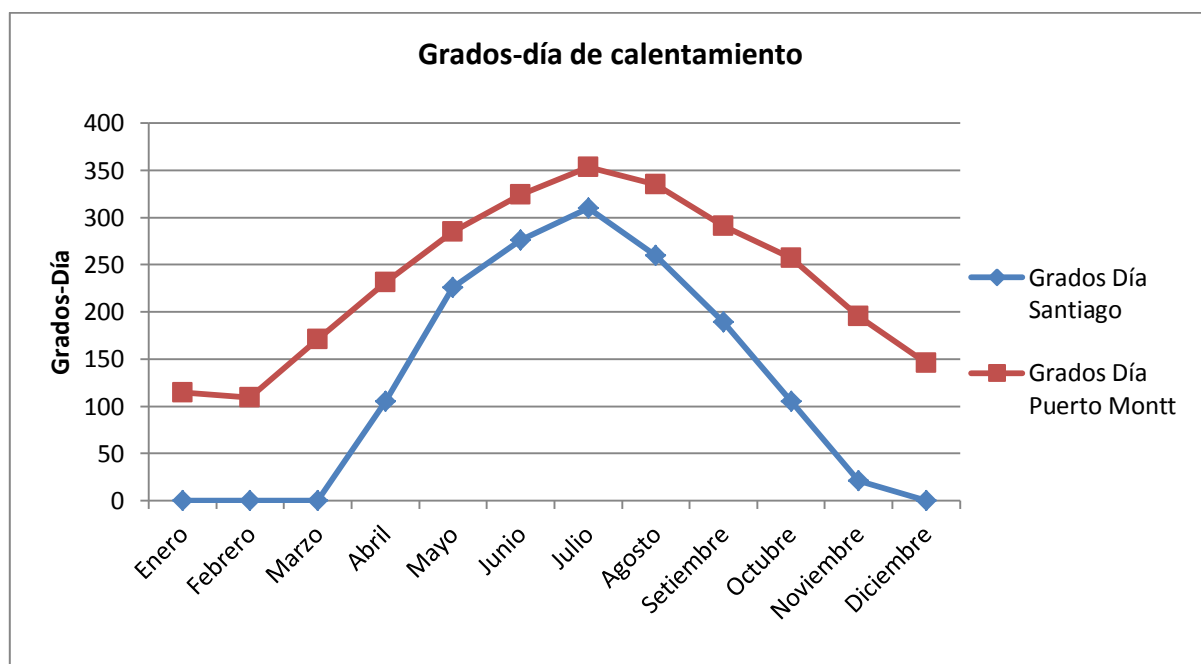


Figura 2.17: Grados-Día de calentamiento Santiago y Puerto Montt.

La Tabla 2.9 presenta las condiciones de sitio con las cuales se trabajará como input en RETScreen. Los datos presentados corresponden a los estudios de Muñoz (2010) y Guggisberg (2012) para los valores obtenidos en Santiago, y Rosa (2009) para Puerto Montt. La temperatura de diseño de calefacción se obtiene de la base de datos de RETScreen.

Tabla 2.9: Condiciones de sitio (RETScreen)

Condiciones	Unidad	Ubicación del Proyecto	
		Santiago	Puerto Montt
Temperatura del suelo	°C	15,3	11
Amplitud de la temperatura del suelo	°C	1,6	0,8
Medido a	m	6	4
Temperatura de diseño de calefacción	°C	0	-0,9

#### 2.6.4 Datos de entrada para evaluación económica

Este es un punto relevante dentro del proyecto, ya que, permite con datos actuales evaluar económicamente el proyecto, realizar comparaciones con sistemas de calefacción convencionales y verificar la viabilidad del proyecto durante sus años de uso.

#### Supuestos económicos del sistema geotérmico de estudio.

- El proyecto de sistema geotérmico propuesto tendrá una vida útil de 15 años.
- La tasa de inflación para la evaluación del proyecto se asumirá de 2,5 % que corresponde a la obtenida en Chile como valor referencial del 2012.

#### Calefacción convencional

Los sistemas comparativos de calefacción que se escogen son los definidos en la Sección 2.2.5 utilizando para Santiago el sistema de calefacción convencional de kerosene y gas licuado, y para Puerto Montt leña y gas licuado. Se consideran los precios de los combustibles mostrados en la Figura 2.10, asumiendo estos para el desarrollo de las distintas evaluaciones.

#### Costos principales de sistemas geotérmicos

A continuación se presentan los principales costos asociados a la inversión inicial de implementación de estos sistemas desglosado en los tres subsistemas: Intercambiador de calor, bomba de calor, sistema de distribución Tabla 2.10. Se destaca que los valores están calculados sin IVA.

Al analizar los datos expuestos se pueden apreciar diferencias de costos entre las bombas de calor variando su potencia, y resulta no ser diferencias muy altas considerando el costo total de la instalación. El ítem de la construcción de pozos es el de mayor importancia dentro de la inversión inicial considerando perforaciones mayores de 35m, por lo tanto el punto crítico de la evaluación económica del proyecto.

Tabla 2.10: Desglose de principales costos de instalación del sistema.

<b>INTERCAMBIADOR DE CALOR</b>				
UF	22500 (Septiembre de 2012)			
US	470 (Septiembre de 2012)			
	unidades	Total en Pesos	Unidad	Fuente
<b>Intercambiador abierto</b>				
Perforación Pozos	7,5 UF/mt	\$ 165.000	\$/mt	Compañía Chilena de Perforaciones Ltda.
Instalación hidráulica		\$ 2.000.000	\$	Compañía Chilena de Perforaciones Ltda.
<b>Intercambiador cerrado</b>				
Perforación de Pozos	7,5 UF/mt	\$ 165.000	\$/mt	Compañía Chilena de Perforaciones Ltda.
Instalación		\$ 1.000.000	\$	Compañía Chilena de Perforaciones Ltda.
<b>BOMBA DE CALOR</b>				
Modelo	Unidades	Total en pesos	Unidad	Fuente
DE-27W/S		\$ 1.100.000	\$	Enativa
DW-27C		\$ 1.720.000	\$	Aguamarket
WW-27C		\$ 1.800.000	\$	Enativa
DW-46C		\$ 2.400.000	\$	Enativa
Fitings y accesorios		\$ 250.000	\$	Enativa
Instalación B. Calor		\$ 400.000	\$	Enativa
Ablandador, extras		\$ 250.000	\$	Enativa
<b>SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN</b>				
Modelo	Unidades	Total en pesos	Unidad	Fuente
<b>Radiadores</b>				
DK 500.0500		\$ 35.203	\$	Anwo
DK 500.1000		\$ 61.570	\$	Anwo
DK 500.1500		\$ 87.420	\$	Anwo
DK 500.2000		\$ 118.440	\$	Anwo
<b>Fan Coil</b>				
MFU012HO-R-BCMR	US 544	\$ 255.680		Cosmoplas
MFU020HO-R-BCMR	US 562,5	\$ 264.375		Cosmoplas
MFU025HO-R-BCMR	US 631	\$ 296.570		Cosmoplas
Instalación por equipo		\$ 50.000	\$/equipo	Enativa
Instalación Tuberías		\$ 500.000		Enativa
Tubería Pex 32 x 2,9 mm	US 3,99	\$ 93.765	\$/50mt	Cosmoplas
Estanque 500lt		\$ 750.000		Enativa

## 2.7 Tiempo de operación

El tiempo de operación de los sistemas geotérmicos corresponde al tiempo efectivo, en horas, que el sistema de calefacción funciona anualmente, para conseguir la temperatura de confort de 19° C dentro de la vivienda de forma continua. En este punto cabe destacar que se estudia un sistema de calefacción, por lo tanto se quiere obtener una temperatura mayor o igual a 19° C durante todo el año, pudiendo en verano sobrepasar con creces el punto de confort deseado.

Para desarrollar el estudio se necesitan las temperaturas horarias de las dos ciudades donde se centra la investigación, Santiago y Puerto Montt. Los procedimientos empleados se basan en el método de las “bin hours” (IDAE, 2010), y son aproximados, teniendo en consideración que un estudio detallado incluiría modelaciones dinámicas y consideraría todas las pérdidas y ganancias de la vivienda.

El procedimiento comienza con la evaluación horaria del mes de mayor demanda de calefacción, que según los datos proporcionados por la base de datos de RETScreen (Figura 2.17) corresponden al mes de julio para Santiago y Puerto Montt.

Se trabaja con el mes de mayor relevancia en calefacción que corresponde al mes de julio, para ello es necesario contar con los datos históricos horarios de temperatura ambiente para las ciudades de interés. Estos datos corresponden a los años 2010, 2011 y 2012 (Wunderground, 2012) que se presentan en detalle en el Anexo C. Los datos corresponden a las estaciones SCEL de la comuna de Pudahuel y a la estación SCTE en el aeropuerto de Puerto Montt en Santiago y Puerto Montt respectivamente.

La Figura 2.18 muestra el comportamiento térmico de las dos ciudades estudiadas, y corresponde a valores promedio de los tres años antes mencionados, graficados de forma de identificar el número de horas mensuales de ocurrencia de las temperaturas en °C.

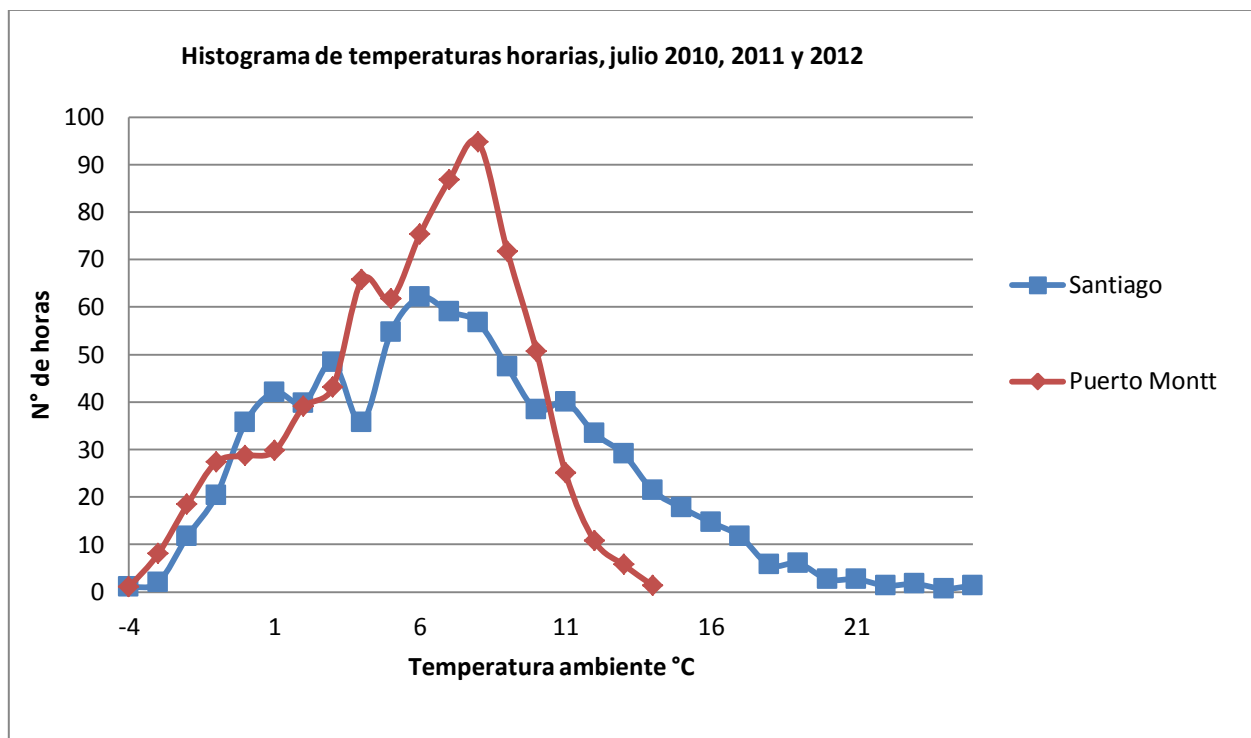


Figura 2.18: Histograma de temperaturas horarias del mes de julio de 2010, 2011 y 2012.

Se puede inferir del gráfico que en Puerto Montt las temperaturas en el mes de julio nunca superaron los 19°C y se puede apreciar que las temperaturas tienen un rango menor fluctuando entre -4 a los 14 °C en Puerto Montt teniendo como valor promedio ambiente 7,2°C, y entre -4 y 25 °C en Santiago, teniendo como valor promedio 5,6°C en el ambiente.

## Horas de funcionamiento de bomba de calor

Para los cálculos del tiempo de marcha del sistema geotérmico se tiene que realizar el cálculo del tiempo de utilización de la bomba de calor, el cual, representa la fracción de tiempo que está en marcha la bomba de calor, y por consiguiente el tiempo de funcionamiento estacional de la instalación. Este valor es de relevancia debido a que determina la cantidad de calor que el sistema va a intercambiar con el suelo a lo largo del año.

Para ello se utilizará un método simplificado asumiendo que la carga térmica es una función lineal de la temperatura ambiente exterior. Se supondrá que el sistema solo demandará calor cuando la temperatura exterior sea inferior a 17°C, asumiendo que las cargas internas de la vivienda lograrán elevar la temperatura del hogar a la deseada temperatura de confort de 19 °C.

Se toma como carga de diseño la entregada por el programa RETScreen con sus bases de datos atmosféricos. La Tabla 2.11 presenta los valores de diseño para las dos zonas de interés en forma de resumen.

Tabla 2.11: Temperaturas de diseño para Santiago y Puerto Montt.

	Temperatura °C
T° diseño Santiago	0
T° diseño Puerto Montt	-0,9
T° detención funcionamiento	17
Carga (17°C)	0

La Figura 2.19 muestra una manera simple se calcular la carga térmica como una función lineal de la temperatura exterior, de este modo, solo se necesita conocer la carga de diseño de calefacción para dos valores de la temperatura exterior. Se asume que cuando la temperatura exterior sea igual a la temperatura de diseño, la carga del edificio será igual a la carga de diseño expresada en la Figura 2.16. Y cuando la temperatura exterior sea igual a 17°C la carga del edificio es igual a cero (IDAE, 2010). Se presenta el desarrollo de la Tipología A, SRT correspondientes a los modelos 1, 2, 3, 4 que se definieron en la Figura 2.11. El cálculo completo de todos los modelos se encontrará en detalle en el Anexo D.

Para determinar las horas de funcionamiento de la bomba de calor y por lo tanto el sistema en general, hay que conocer el tiempo en horas que la temperatura del aire exterior se encuentra dentro de un determinado intervalo, es decir, los “*bin hours*”. En la Tabla 2.12 se muestra el “*bin hours*” para las ciudades de Santiago y Puerto Montt en el mes de julio, que corresponde al mes de mayor demanda. Se representa el número de horas que se ha dado una determinada temperatura en ese mes en intervalos de 1°C. Los datos son el resultado del análisis de los datos meteorológicos para el mes de julio considerando tres años consecutivos 2010, 2011 y 2012.

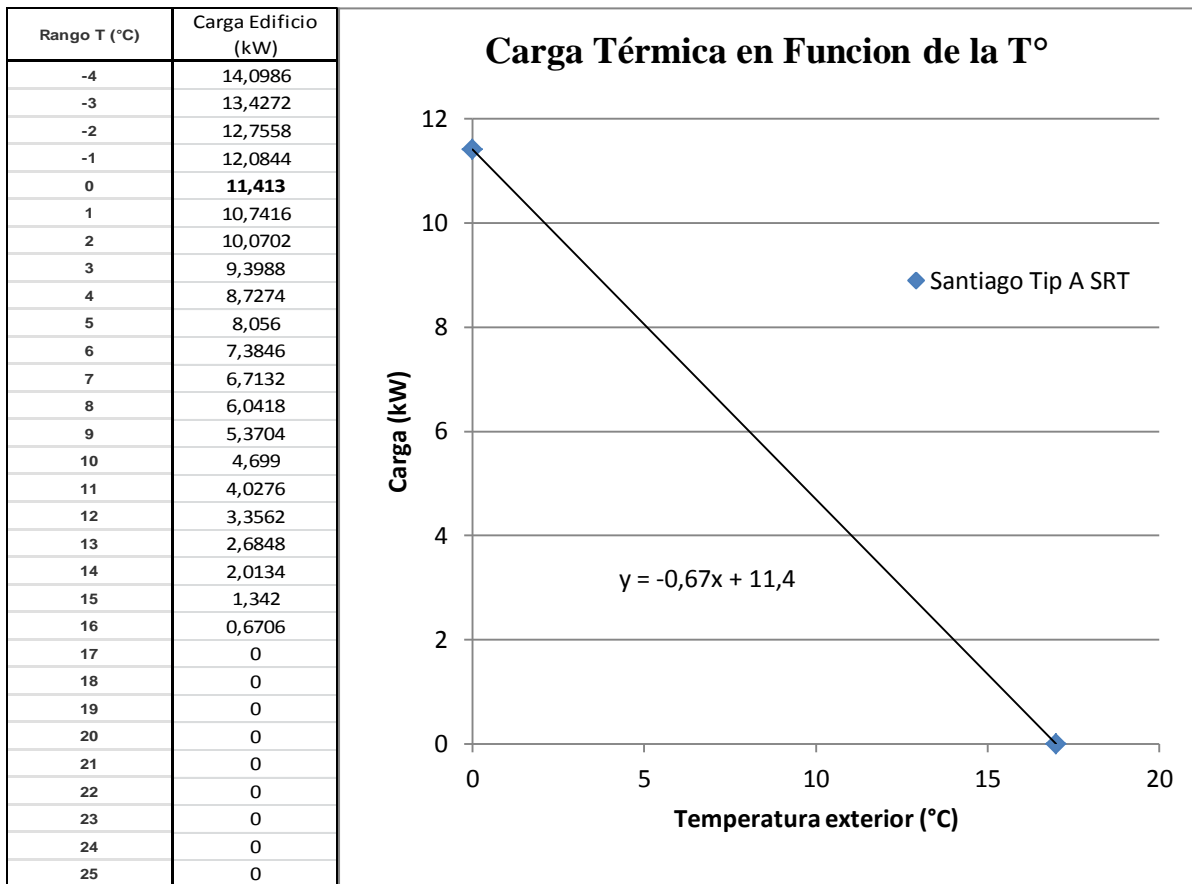


Figura 2.19: Carga térmica de diseño [kW] con respecto a la temperatura exterior, Tipología A SRT Santiago.

Tabla 2.12: Bin hours Santiago y Puerto Montt.

Rango T (°C)	Bin hours Santiago (julio)	Bin hours Puerto Montt (julio)	Rango T (°C)	Bin hours Santiago (julio)	Bin hours Puerto Montt (julio)
-4	1	1	11	40	25
-3	2	8	12	33	11
-2	12	18	13	29	6
-1	20	27	14	21	1
0	36	29	15	18	0
1	42	30	16	15	0
2	40	39	17	12	0
3	48	43	18	6	0
4	36	66	19	6	0
5	55	62	20	3	0
6	62	75	21	3	0
7	59	87	22	1	0
8	57	95	23	2	0
9	47	72	24	1	0
10	38	51	25	1	0

Para el cálculo de las horas de funcionamiento se requiere saber cuál es la potencia de la bomba de calor para cada tipología. Estos datos se exponen en la Tabla 2.8, donde se escoge la bomba de calor para cada modelo.

Teniendo todos los antecedentes, se procede a construir la Tabla 2.13, donde se identifican los siguientes términos:

Fracción Marcha = Carga edificio (kW)/Potencia bomba de calor (kW)

Teniendo presente que cuando la potencia de la bomba de calor sea inferior a la carga del edificio se considerará un valor 1.

Horas Marcha = Fracción Marcha \* Bin hours

Corresponde al total de las horas mensuales donde estará en funcionamiento el sistema por rango de horas.

Tabla 2.13: Cálculo de horas de funcionamiento.

Rango T (°C)	Carga Edificio (kW)	Potencia Bomba de Calor (kW)	Fracción marcha	Bin hours	Horas Marcha
-4	14,10	16,8	0,84	1	0,8
-3	13,43	16,8	0,80	2	1,6
-2	12,76	16,8	0,76	12	8,9
-1	12,08	16,8	0,72	20	14,6
0	11,41	16,8	0,68	36	24,2
1	10,74	16,8	0,64	42	26,9
2	10,07	16,8	0,60	40	23,8
3	9,40	16,8	0,56	48	27,0
4	8,73	16,8	0,52	36	18,5
5	8,06	16,8	0,48	55	26,2
6	7,38	16,8	0,44	62	27,3
7	6,71	16,8	0,40	59	23,6
8	6,04	16,8	0,36	57	20,4
9	5,37	16,8	0,32	47	15,1
10	4,70	16,8	0,28	38	10,7
11	4,03	16,8	0,24	40	9,6
12	3,36	16,8	0,20	33	6,7
13	2,68	16,8	0,16	29	4,6
14	2,01	16,8	0,12	21	2,6
15	1,34	16,8	0,08	18	1,4
16	0,67	16,8	0,04	15	0,6
17	0	16,8	0	12	0
18	0	16,8	0	6	0
19	0	16,8	0	6	0
20	0	16,8	0	3	0
21	0	16,8	0	3	0
22	0	16,8	0	1	0
23	0	16,8	0	2	0
24	0	16,8	0	1	0
25	0	16,8	0	1	0
Santiago, Tipología A SRT (julio)				TOTAL [hr]	295,1

De las tablas anteriores se puede obtener el número total de horas de julio donde el sistema funcionará, para obtener un total anual se trabaja sacando una proporción con los grados días obtenidos de la base de datos de RETScreen adjuntados en Anexo B, por lo tanto se puede tener un total anual siguiendo los siguientes procedimientos.

El mes de julio representa el 100% con respecto a los grados días, ejemplo el mes de junio que tiene 276 grados días va a ser un 89% del valor de julio. Y las horas anuales se calculan considerando que en julio se obtiene el 100% de ahí según los porcentajes calculados en la columna % horas c/r a julio se tendrá que multiplicar por el total de julio mostrados en la Tabla 2.14.

Tabla 2.14: Cálculo de horas anuales de funcionamiento.

Santiago	grados dia calentamiento	% Grad dia mes/total	% horas c/r a julio	Horas anuales
Enero	0	0,0	0,0	0,0
Febrero	0	0,0	0,0	0,0
Marzo	0	0,0	0,0	0,0
Abril	105	7,0	33,9	99,9
Mayo	226	15,1	72,9	215,1
Junio	276	18,5	89,0	262,7
Julio	310	20,8	100,0	295,1
Agosto	260	17,4	83,9	247,5
Setiembre	189	12,7	61,0	179,9
Octubre	105	7,0	33,9	99,9
Noviembre	21	1,4	6,8	20,0
Diciembre	0	0,0	0,0	0,0
<b>Total</b>	<b>1492</b>	<b>100,0</b>	<b>Total hr anual</b>	<b>1420,1</b>

Realizando estos cálculos para todos los modelos se obtienen los siguientes valores ilustrados en la Tabla 2.15. Los resultados obtenidos no son intuitivos, ya que, la misma vivienda con la misma ubicación, solamente cambiando la aislación térmica de ella tiene un mayor valor para aquellas que tienen un menor consumo energético. Esto se debe a que los datos no son comparables, ya que, se escogieron distintas bombas de calor ajustándose a las cargas de diseño de cada modelo. Como se explicita en la metodología descrita para el cálculo de las horas de funcionamiento un factor relevante en ella es la “Fracción marcha” que es el cociente de la carga del edificio por la potencia de la bomba de calor, por lo cual, al escoger una bomba de calor muy ajustada a la carga de diseño del edificio este valor va a aumentar.



Tabla 2.15: Resumen de horas de funcionamiento.

Total anual número de hr	SANTIAGO		PUERTO MONTT	
	SRT	CRT	SRT	CRT
TIP A	1420	1786	3090	2244
TIP B	1901	1959	3371	3491
TIP C	1402	1814	2495	2410

Se puede apreciar que se tienen valores bastante altos debido al funcionamiento continuo dado que se supone 19°C durante todo el año, sin considerar algún porcentaje de uso menor que podría ser más real.

La recomendación de diseño alemana da valores referenciales de 1800 y 2400 horas de utilización anual de distintos suelos, para los cuales, se entrega la capacidad específica de extracción de calor [W/m] que se puede obtener de un pozo vertical. Se verifica una disminución de estos valores en pozos donde la utilización es de 2400 horas debido a una sobrecarga del suelo que hace que el desempeño geotérmico sea menor (VDI 4640, 2001). En Santiago los valores están dentro de los rangos, pero Puerto Montt supera en casi todos los modelos lo expuesto para sistemas verticales. La recomendación va en el sentido de aumentar la potencia de la bomba de calor, para de esta forma disminuir las horas de funcionamiento del sistema.

## 2.8 Sistema de distribución

Se entenderá como sistema de distribución el encargado de tomar el calor movilizado por la bomba de calor y entregarlo dentro de la vivienda por medio de la circulación de fluidos calientes dentro de tuberías. Se trabajará bajo el supuesto que las viviendas ya estaban construidas, por lo que los sistemas escogidos serán radiadores convencionales y Fan Coils, se descartan otros sistemas como losas radiantes, que pudieran ser más eficientes en este tipo de sistemas, por las complicaciones constructivas que reviste realizar su instalación en edificaciones antiguas y por su alto costo inicial (Energylab, 2011b).

El sistema de distribución es fundamental para lograr el confort térmico dentro de la vivienda y tiene varias aristas que permiten logra un confort total dentro de ella, entre estos se pueden identificar la temperatura, humedad, renovación de aire, carga acústica y la velocidad de aire circulante (Peirano, 2009), pero por efectos prácticos solo se centrará el estudio para lograr una temperatura de 19 °C, cubriendo las cargas punta del sistema.

### 2.8.1 Sistema de distribución por radiadores

Para el sistema de distribución por radiadores se trabajará con radiadores de la marca Ocean Modelos DK500 compuesto por dos placas y dos convectores, como se muestra en la Figura 2.20 y con una mayor especificación en la Sección de Anexos E.I.



Figura 2.20: Imagen de radiador DK500 (ANWO).

Como supuesto inicial las temperaturas de trabajo que se toman, son las que corresponden a las temperaturas que el sistema con bombas de calor geotérmicas pueden producir (Energylab, 2011b), y también corresponden a las especificaciones de las temperaturas de trabajo de las bombas de calor escogidas en el proyecto (Anexo F):

- Temperatura de entrada a radiadores: 55°C
- Temperatura de salida de radiadores: 45° C
- Temperatura ambiente al interior de vivienda: 19° C

La empresa ANWO en su informativo llamado “Factores de corrección para dimensionamiento de radiadores Ocean” disponible en Anexo E.2, señala que el funcionamiento de los radiadores convencionales especifica una temperatura de entrada de 90°C, temperatura de salida de 70°C y una temperatura ambiente de 20°C (DIN 4704). Como las temperaturas de trabajo son inferiores se debe utilizar un factor de corrección señalado en el mismo anexo, basado en la Norma DIN 4703.

Con los supuestos de trabajo descritos, se obtiene de la tabla entregada por el fabricante (Anexo E.2) el factor por el cual se tendrá que corregir los rendimientos de los equipos. Tomando en consideración las temperaturas de entrada, temperatura de salida y la temperatura al interior de la vivienda, se obtiene por interpolación simple, el factor de corrección  $F_{corr} = 2,36$ . Esto significa que se tendrá una merma de más del 50% del rendimiento original.

Se trabaja junto al plano de planta de cada tipología, dividiendo éstas por áreas de calefacción. Se calcula un estimado de carga térmica que requiera en su momento punta para cada área a calefaccionar. Por simplificación de cálculos se realiza la estimación de carga para cada área solamente por superficie que cubre.

La Figura 2.21 muestra la metodología de cálculo realizado para la Tipología A correspondiente a la zona de Santiago, para las cargas correspondientes a las calculadas sin normativa térmica, lo que corresponde a los modelos 1, 2, 3 y 4. Los cálculos para las tipologías restantes se presentan en Anexo G.I.

Tipología A	Modelos 1, 2, 3 y 4					
Santiago						
Antes de 2001 (SRT)						
Carga edificio	11,41 kW					
	9820 kcal/hr					
	[m2]	Carga % Superficie [kcal/hr]	Carga * Fcorr			
Sup útil	56,5	9820	23175	Kcal/hr	cantidad	descripción
Comedor	18,5	3215	7588	7560	2	DK 500.2000
Cocina	8	1390	3281	1890	1	DK 500.1000
Baño 1	2,5	435	1025	945	1	DK 500.0500
Baño 2	2,5	435	1025	945	1	DK 500.0500
Dormitorio 1	10	1738	4102	3780	1	DK 500.2000
Dormitorio 2	8	1390	3281	3780	1	DK 500.2000
Dormitorio 3	4,5	782	1846	2835	1	DK 500.1500
Pasillo	2,5	435	1025	1890	1	DK 500.1000
	TOTAL	9820	23175	23625	9	
Caudal circulación		0,98 [m3/h]	Área radiador	6250000 [mm2]		
		0,27 [l/s]		6,25 [m2]		

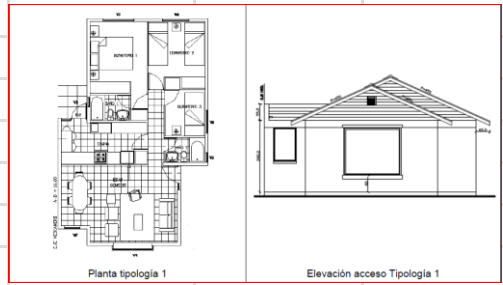


Figura 2.21: Dimensionamiento de sistema de distribución con radiadores.

Para el cálculo del caudal máximo de circulación se trabaja con la siguiente ecuación (Grundfos, 2008).

$$\frac{\Phi \times 0,86}{T_F - T_R} = Q$$

$\Phi$  = Demanda de calor en kW

Factor de conversión (kW en kcal/h) = 0,86

$T_F$  = Temperatura de dimensionamiento de la tubería de alimentación en °C

$T_R$  = Temperatura de dimensionamiento de la tubería de retorno en °C

$Q$  = Caudal nominal en m3/h

Hay que recalcar que en pocos períodos de tiempo se tiene este caudal máximo, siendo en menos de 6% del tiempo que estará funcionando a esta capacidad, pero es un factor importante a la hora de diseñar (Grundfos, 2008). En la Tabla 2.16 se muestran estos caudales máximos calculados con la ecuación anterior.

Tabla 2.16: Caudales máximos de Circulación.

Tipologías	Caudales de Circulación			
	Santiago		Puerto Montt	
	SRT [lt/s]	CRT [lt/s]	SRT [lt/s]	CRT [lt/s]
TIPOLOGIA A	0,27	0,16	0,26	0,11
TIPOLOGIA B	0,37	0,24	0,36	0,18
TIPOLOGIA C	0,27	0,16	0,27	0,12

Los factores de mayor relevancia constructiva en este dimensionamiento, son la cantidad de radiadores que se tienen que utilizar, el área que requieren y el costo que conlleva la construcción del sistema de distribución en base a radiadores convencionales. Los resultados son expuestos en la Tabla 2.17 destacando los tres ítems de mayor relevancia en este tipo de diseños.

Tabla 2.17: Costo total de sistema de radiadores por modelo.

Tipologías	Zona térmica	Modelos	Carga [kW]	Reglamentación térmica	Área Radiadores [m <sup>2</sup> ]	N° Radiadores	Costo de equipos [\$]
Tip A (56 m <sup>2</sup> )	Santiago	1,2,3,4	11,4	SRT	6,3	9	\$ 781.250
		5,6,7,8	6,8	CRT	3,8	6	\$ 468.750
	Puerto Montt	9,10,11,12	11,1	SRT	6,3	9	\$ 781.250
		13,14,15,16	4,8	CRT	2,8	5	\$ 343.750
Tip B (103 m <sup>2</sup> )	Santiago	17,18,19,20	15,3	SRT	8,3	11	\$ 1.031.250
		21,22,23,24	10,1	CRT	5,5	8	\$ 687.500
	Puerto Montt	25,26,27,28	15,0	SRT	7,3	8	\$ 906.250
		29,30,31,32	7,4	CRT	4,0	6	\$ 500.000
Tip C (84,7 m <sup>2</sup> )	Santiago	33,34,35,36	11,3	SRT	6,0	8	\$ 750.000
		37,38,39,40	6,8	CRT	3,8	6	\$ 468.750
	Puerto Montt	41,42,43,44	11,1	SRT	6,0	8	\$ 750.000
		45,46,47,48	5,1	CRT	2,8	5	\$ 343.750

Se puede apreciar que para las viviendas construidas antes del año 2001 sin reglamentación térmica, se tiene un promedio de área de radiador de 6,7 m<sup>2</sup>, lo que comparado con el promedio de los modelos que cumplen la reglamentación térmica de 2007, que tiene como promedio 3,75 m<sup>2</sup>, lo hace mucho más atractivo económica y constructivamente.

En la Figura 2.22 se grafican los resultados obtenidos, teniendo una relación entre área y carga de diseño, se observa que para 1[kW] de carga de diseño se requiere una superficie de radiador cercana a los 0,5 m<sup>2</sup> de radiador. Este resultado es interesante, ya que logra una relación directa entre carga y área de radiador. Se puede inferir que estos sistemas son una buena solución de distribución de calor dentro del hogar cuando las cargas de diseño son bajas, es decir, cuando se tiene un nivel de pérdidas de calor bajo dentro del hogar. Esta situación se da en viviendas que cumplen la reglamentación térmica de 2007 (CRT).

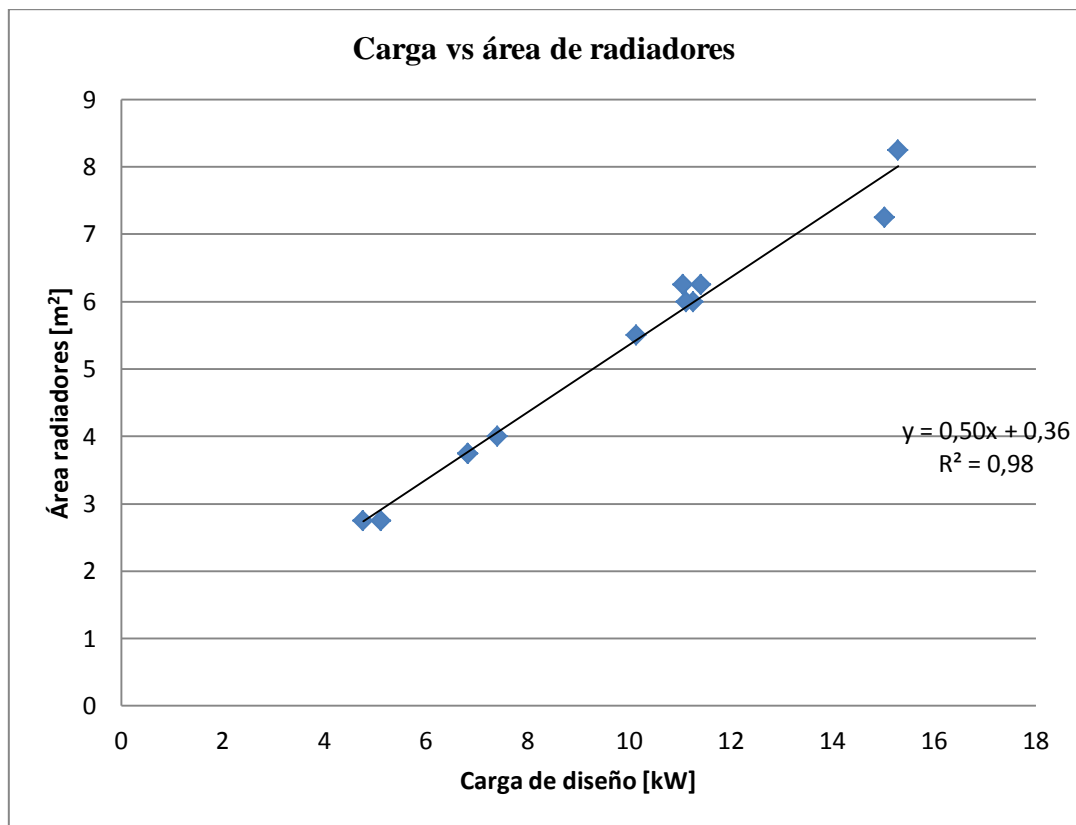


Figura 2.22: Carga de diseño con respecto al área de radiadores.

Si bien en algunos casos donde la carga de diseño es más baja puede tener algún sentido realizar el proyecto de sistema de distribución en base a radiadores, en la mayoría el número de radiadores es excesiva, como también el área necesaria para poder tomar toda la carga de diseño, haciéndolo inviable constructivamente como estéticamente. El factor de corrección aplicado a la eficiencia de los equipos, debido a las temperaturas de operación ya descritas, juega un papel preponderante al momento de diseñar este tipo de sistemas, ya que, el área y por consiguiente el número de radiadores aumenta en más de un 50% comparándolo con las especificaciones iniciales del artefacto para el caso descrito.

### 2.8.2 Sistema de distribución por Fan Coil

Se estudia en este ítem otro sistema de distribución basado en el uso de Fan Coil, que son unidades que están formadas por uno o dos baterías de tubos y aletas y un ventilador, los cuales funcionan mediante un sistema de ventilación forzada.

Para el diseño del sistema de distribución con Fan Coil se trabajará con tres modelos de la marca MCQUAY distribuidos por la empresa COSMOPLAS (Figura 2.23), correspondientes a los modelos MFU012HO, MFU020HO y MFU025HO. Estos artefactos tienen 4 tubos y es un Fan Coil de Piso.



Figura 2.23: Fan Coil (MCQUAY).

Los sistemas descritos tienen la ventaja que no necesitan una alta temperatura de circulación de agua (40-45°C), pudiendo obtener su mayor rendimiento con la temperatura de salida desde la bomba de calor, generando ahorro con respecto a los radiadores convencionales (Energylab, 2011b). Estos sistemas al utilizar un ventilador alcanzan altos rendimientos, pero consumen energía, lo que es necesario tener en consideración en la evaluación del proyecto. Para efectos prácticos y de simplificación en esta memoria no se contemplará el consumo de electricidad para la evaluación del sistema de distribución con Fan Coil.

Las especificaciones técnicas de los tres modelos MCQUAY se adjuntan en la sección Anexos E.II. Las dimensiones de los equipos se muestran en la Figura 2.24.

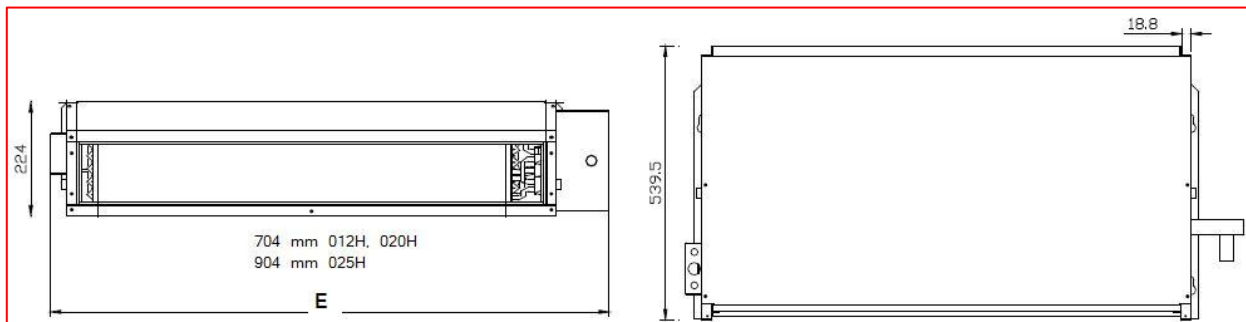


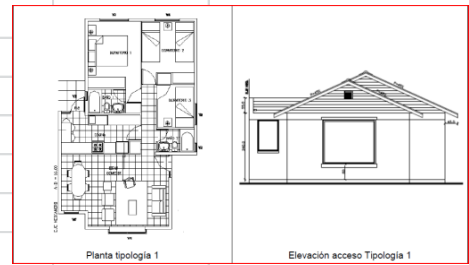
Figura 2.24: Dimensiones de Fan Coil (MCQUAY).

Siguiendo un procedimiento similar al realizado para los sistemas de distribución en base a radiadores, se consigue dimensionar el sistema en base a Fan Coil destacando esta vez el número de Fan Coils necesarios, área total de equipos y el costo de implementación del proyecto de distribución. Se presenta en la Tabla 2.18, el dimensionamiento del sistema correspondiente a los modelos 1, 2, 3, 4 del estudio y para todo el estudio en Anexos G.II.

La distribución de los terminales de calor se hace por medio de la división por áreas o sectores de la vivienda, asignándoles una carga correspondiente a la carga total dividida de forma uniforme por la superficie. Con la asignación de los terminales en los distintos sectores se cubre la demanda total de la vivienda.

Tabla 2.18: Dimensionamiento de sistema de distribución con Fan Coil.

Tipología A	Modelos 1, 2, 3 y 4				
Santiago					
Antes de 2001 (SRT)					
Carga edificio	11,41 kW				
	9820 kcal/hr				
	[m <sup>2</sup> ]	Carga % [kcal/hr m <sup>2</sup> ]	Capacidad Fan Coil		
Sup útil	56,5	9820	Kcal/hr	cantidad	descripción
Comedor	18,5	3215		3732	1 MFU025HO-R-BCMR
Cocina	8	1390		1992	1 MFU012HO-R-BCMR
Baño 1	2,5	435		0	0
Baño 2	2,5	435		0	0
Dormitorio 1	10	1738		2522	1 MFU020HO-R-BCMR
Dormitorio 2	8	1390		1992	1 MFU012HO-R-BCMR
Dormitorio 3	4,5	782		0	0
Pasillo	2,5	435		0	0
	TOTAL	9820		10238	4
Caudal circulación		0,98 [m <sup>3</sup> /h]	Área Fan Coil	1628640 [mm <sup>2</sup> ]	
		0,27 [l/s]		1,63 [m <sup>2</sup> ]	



En la Tabla 2.19 se identifican las características de mayor relevancia para el análisis de este sistema de distribución. Se logra apreciar que el número, y el área de los equipos constituyen una solución real y apropiada constructivamente para todos los modelos geotérmicos propuestos en el desarrollo de la memoria. Los valores presentados son resultado del estudio de todas las modelaciones que se exponen en el Anexo G.II.

Tabla 2.19: Resumen de resultados de dimensionamiento de sistemas de distribución basados en Fan Coil.

Tipologías	Zona térmica	Modelos	Carga [kW]	Reglamentación térmica	Area Fan Coil [m <sup>2</sup> ]	N° Fan Coil	Costo de equipos [\$]
Tip A (56 m <sup>2</sup> )	Santiago	1,2,3,4	11,4	SRT	1,6	4	\$ 1.072.305
		5,6,7,8	6,8	CRT	1,1	3	\$ 767.040
	Puerto Montt	9,10,11,12	11,1	SRT	1,6	4	\$ 1.063.610
		13,14,15,16	4,8	CRT	1,1	3	\$ 767.040
Tip B (103 m <sup>2</sup> )	Santiago	17,18,19,20	15,3	SRT	2,4	6	\$ 1.574.970
		21,22,23,24	10,1	CRT	1,6	4	\$ 1.063.610
	Puerto Montt	25,26,27,28	15,0	SRT	2,3	6	\$ 1.551.470
		29,30,31,32	7,4	CRT	1,1	3	\$ 775.735
Tip C (84,7 m <sup>2</sup> )	Santiago	33,34,35,36	11,3	SRT	1,6	4	\$ 1.063.610
		37,38,39,40	6,8	CRT	1,1	3	\$ 767.040
	Puerto Montt	41,42,43,44	11,1	SRT	1,6	4	\$ 1.063.610
		45,46,47,48	5,1	CRT	1,1	3	\$ 767.040

Al comparar económicamente los costos de los equipos de los dos sistemas de distribución. Se obtiene que en promedio los sistemas que utilizan Fan Coil tienen un 35% de mayor costo en comparación con los sistemas conformados por radiadores convencionales, cuando se analizan solo los valores del costo de los equipos. Pero esta situación se revierte cuando se analiza el costo total de instalación. Considerando que la instalación de cada equipo tiene un costo individual cercano a \$50.000 pesos por radiador, lo que finalmente lo que finalmente los hace ser prácticamente similares en costos iniciales, contemplando el costo de los equipos más el costo de instalación.

Cuando se grafican los datos teniendo una relación entre área y carga de diseño se puede observar en la Figura 2.25 que para 1[kW] de carga de diseño se requerirá una superficie de Fan Coil cercana a los 0,12 m<sup>2</sup> de radiador, lo que es mucho menor a los 0,5 metros de radiador del sistema de radiador convencional.

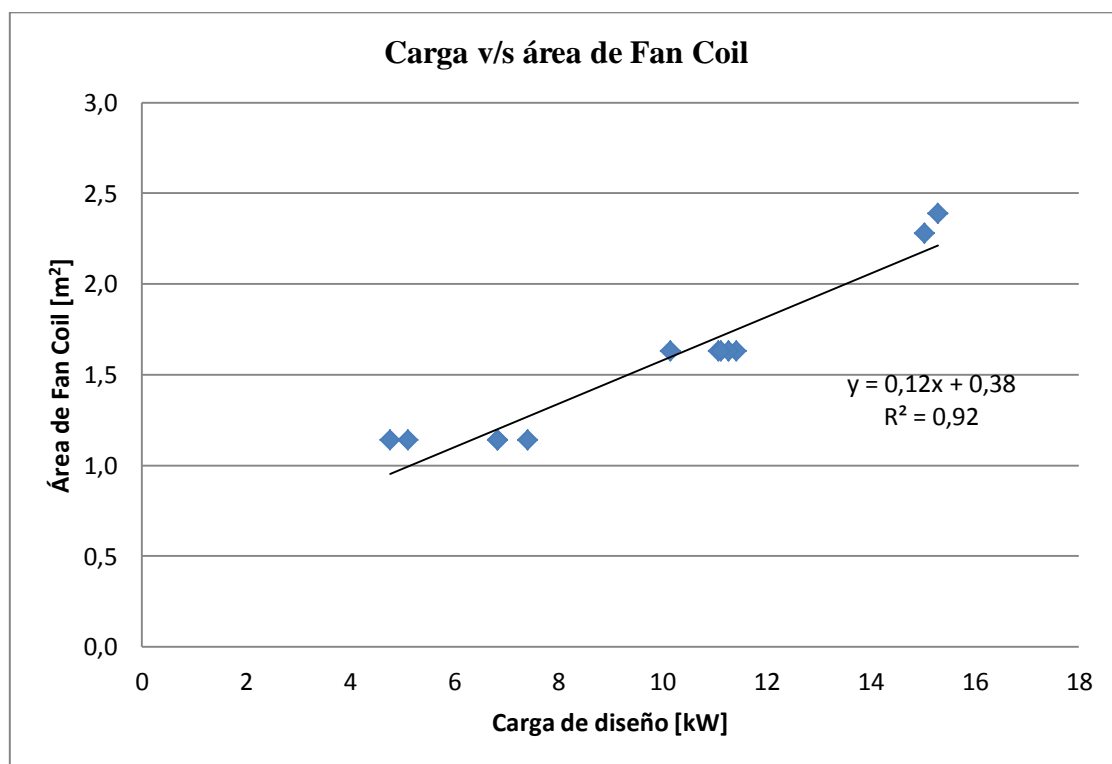


Figura 2.25: Carga de diseño vs área Fan Coil.

El área requerida es cercana a un 30% del área requerida para sistemas con radiadores convencionales, y el número de equipos es considerablemente menor. Comparativamente es una alternativa que tiene muchas ventajas y a nivel global constituye una excelente alternativa que permite tomar toda la carga requerida por diseño.

Debido a que por dentro de la vivienda tendrán que pasar tuberías de agua caliente, las que conducen el calor de la bomba de calor a cada uno de los terminales, se recomienda por motivos constructivos que existan la menor cantidad de equipos dentro de la construcción disminuyendo así los costos de instalación y facilitando constructivamente la solución.



## 2.9 Resultado y análisis del dimensionamiento de los sistemas

Los resultados del análisis de los 48 modelos geotérmicos propuestos, se presentan de forma gráfica para una mejor comprensión de los valores obtenidos centrándose en el dimensionamiento del sistema.

Para sistemas abiertos es de interés el cálculo del caudal que es necesario extraer del pozo para el funcionamiento óptimo del sistema, esta es una de los puntos importantes en el desarrollo de sistemas que utilizan agua subterránea. Para sistemas verticales cerrados es de suma importancia en el dimensionamiento de la profundidad que tendrá el pozo o “*borehole*” necesaria para satisfacer la demanda del sistema geotérmico.

### Sistemas abiertos

En la Figura 2.26 se podrá observar los resultados de las modelaciones teniendo en cuenta que el agua que se está considerando como caudal calculado, corresponde a la que se extrae de un pozo para luego verterla en otro pozo especialmente preparado para ello.

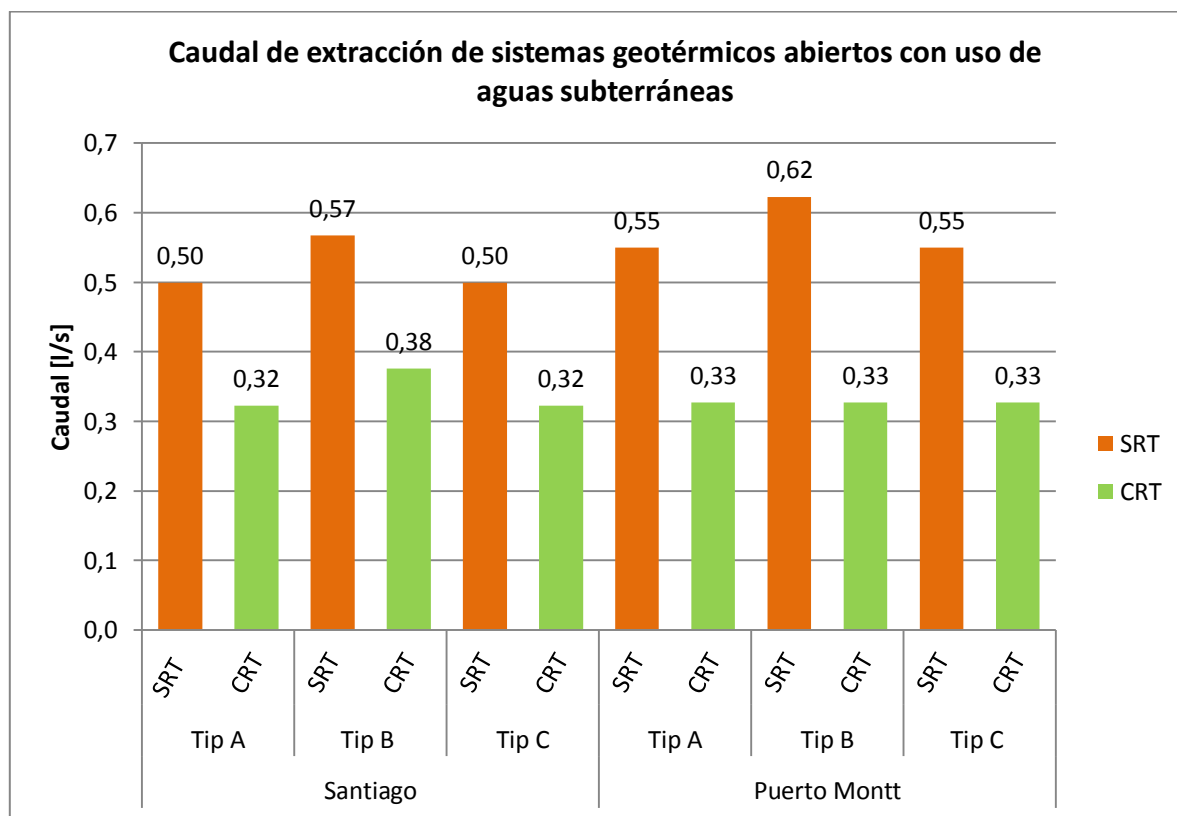


Figura 2.26: Caudal de extracción de sistemas abiertos.

Se puede apreciar que las diferencias no son sustantivas cuando se habla de viviendas que cumplen la reglamentación térmica de 2007, obteniendo un promedio de 0,33 l/s, pero cuando se busca la solución a viviendas que no cumplen la normativa térmica el promedio asciende a 0,55 l/s siendo sustancialmente mayor que el inicialmente descrito.

Se puede decir luego de evaluar caudales de extracción comunes en el aprovechamiento de aguas subterráneas, que incluso el caudal de mayor valor es considerado un caudal bajo por la normativa que regula el uso de aprovechamiento de aguas subterráneas. En este sentido no existirían mayores problemas para el aprovechamiento del recurso para la utilización de sistemas abiertos con uso del recurso hídrico subterráneo.

### Sistemas Verticales cerrados

Para los sistemas verticales cerrados en forma de U será de importancia dimensionar el sistema de intercambio de calor con el suelo, identificando la profundidad de los pozos que constituyen el reservorio térmico de esta tecnología. En la Figura 2.27 se grafican las profundidades que debieran tener los pozos para cubrir la demanda señalada para la carga de diseño calculada anteriormente. Se puede observar que los pozos en Puerto Montt requieren una profundidad mayor que los de Santiago, para iguales tipologías y bajo la misma normativa térmica.

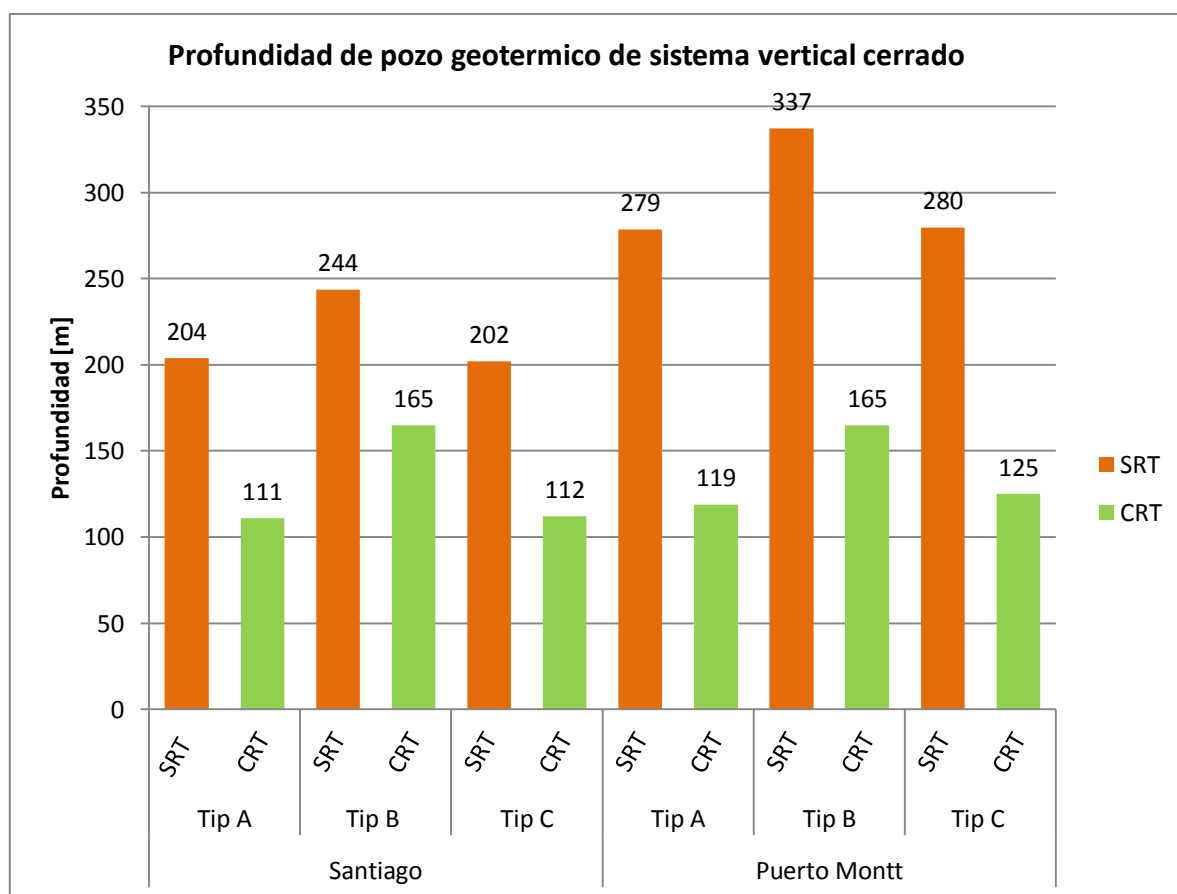


Figura 2.27: Profundidad de pozos geotérmicos para sistemas cerrados verticales.

Las profundidades tienen una variación muy alta, si se consideran viviendas con y sin aislación térmica. Se ve plasmado en esta gráfica como afecta la aislación de las viviendas y el impacto que éste tiene cuando se desean desarrollar proyectos de eficiencia energética. Considerando que en la construcción de sistemas geotérmicos cerrados verticales el costo de la perforación de pozos constituye la actividad crítica del sistema, desde el punto de vista económico se hace más atractivo en términos de costos los proyectos que requieran una menor

profundidad de pozo. Se hacen prácticamente infactibles económica y técnicamente la construcción de pozos tan profundos, generalmente se tienen que efectuar dos pozos para sistemas que requieran profundidades mayores a 150 m.

## **2.10 Análisis técnico**

Según lo descrito hasta ahora en las secciones anteriores, se tiene gran parte de la información técnica de los 48 modelos geotérmicos propuestos, destacando para el sistema geotérmico que usa aguas subterráneas el caudal a extraer, y para sistemas cerrados se destacan las profundidades que necesitan los pozos. Se ha analizado el sistema en sus tres grandes ejes: Intercambiador geotérmico, bomba de calor y el sistema de distribución. El análisis que se hace en esta sección es desglosado por el área de estudio, donde se presentarán solo datos técnicos, divididos por tipo de sistema geotérmico.

### 2.10.1 Análisis técnico de sistema geotérmico de baja entalpía de circuito abierto con uso de aguas subterráneas

Para determinar si el sistema es factible técnicamente de utilizar, se analizan dos áreas críticas que revisten potenciales problemas.

#### Intercambiador de calor

Para los sistemas de circuito abierto con usos de aguas subterráneas, el caudal máximo controlará el diseño. La Figura 2.26 se presenta los resultados de los caudales máximos para cada uno de los modelos geotérmicos estudiados, pudiendo observar que el caudal se reduce cerca de un 40% para la misma casa en las mismas condiciones, solamente mejorando la envolvente térmica.

En promedio la relación entre el caudal máximo y la carga de diseño para cada vivienda es de 0,17 m<sup>3</sup>/h por kilowatt de la carga que hay que tomar para satisfacer las necesidades internas de la vivienda.

Los caudales están dentro de los rangos de operación de este sistema, pudiendo efectivamente para todos los modelos funcionar sin problemas, siempre y cuando se cuente con los pozos de extracción que permitan la utilización de ese caudal.

La Figura 2.28 presenta la superficie de terreno que requieren estos sistemas, la que corresponde a la zona de protección estimativa donde el sistema podría funcionar sin afectar zonas colindantes, es decir, la superficie que necesita la instalación contemplando efectos térmicos derivados del uso del pozo como reservorio térmico y como pozo de inyección. Se puede ver un caso interesante en Puerto Montt donde para las viviendas con reglamentación térmica se les asigna una superficie mínima de 37 metros lo que en Santiago es de 36 m<sup>2</sup>.

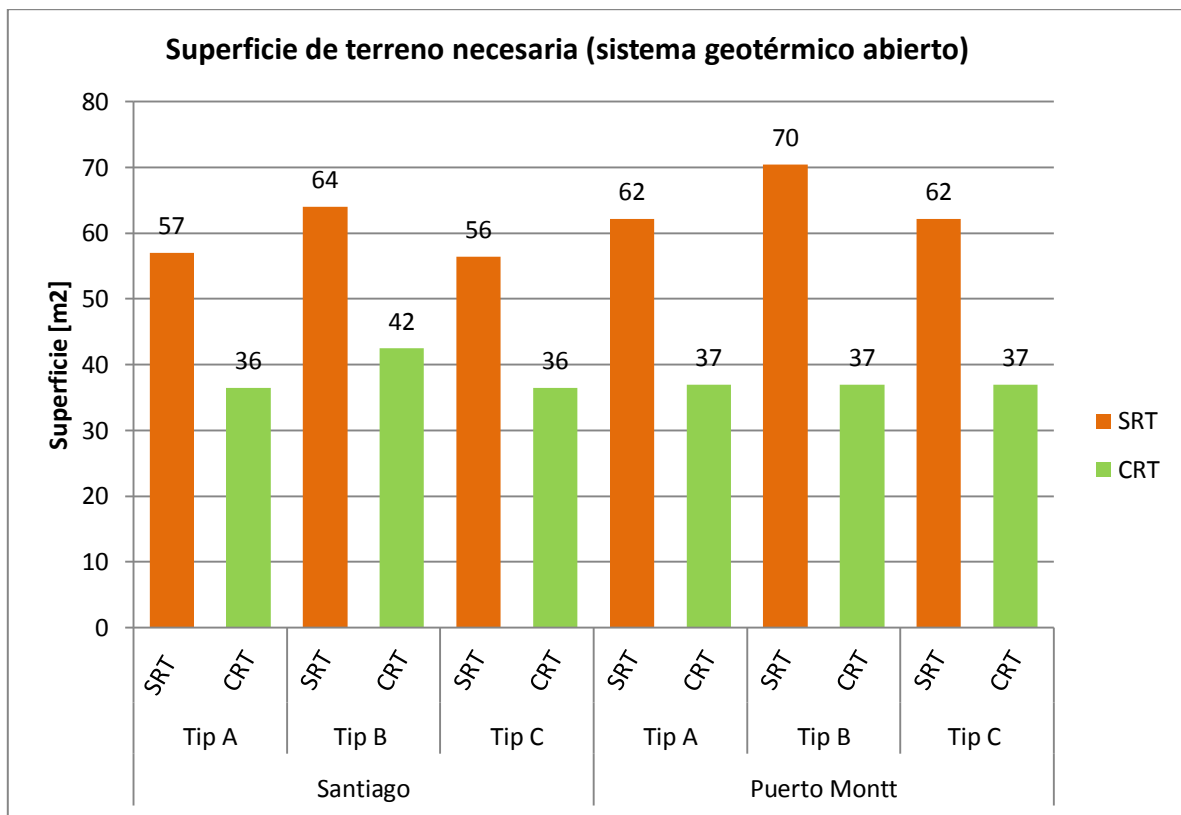


Figura 2.28: Superficie de terreno para sistemas geotérmicos abiertos.

La superficie de terreno necesaria podría eventualmente generar un inconveniente, pero en la mayoría de los casos no es un problema, ya que, no supera la superficie de la vivienda, por lo cual, y considerando que existirán espacios de patio y jardín, no se tomará como un problema y por lo tanto no constituye una fuente de inviabilidad del proyecto.

### Sistema de distribución

Se analizan los dos sistemas de distribución de calor dentro de la vivienda en la Sección 2.7 siendo éstos, radiadores convencionales y Fan Coil.

Los radiadores convencionales al funcionar a una temperatura más baja de la que están diseñados para funcionar, tienen un fuerte descenso en su eficiencia, llegando a mermar su rendimiento en cerca del 55%. Esto hace que los sistemas de distribución sean prácticamente inaplicables dentro de las viviendas debido a su alto número como también a la superficie de radiador que requieren. Es importante mencionar que para algunas viviendas donde el consumo sea bajo son una buena alternativa, ya que, ofrecen una rápida regulación de la temperatura ambiental y reviste facilidad de instalación (Energylab, 2011b).

Los Fan Coil presentan una excelente alternativa a los radiadores convencionales teniendo un alto rendimiento con las temperaturas de operación de la bomba de calor. Se necesitan un bajo número de equipos, como también de espacio que estos ocupan, lo que lo hace sumamente factible de construir. Cabe destacar que estos equipos tienen algunas desventajas, ya que, son ruidosos y tienen una baja inercia térmica, pero aun así se convierte en la mejor alternativa entre las dos estudiadas.

## Resumen

Los sistemas abiertos son factibles de construir en Chile, para las condiciones que se han expuesto en esta memoria, dependiendo de la existencia del recurso de aguas subterráneas en los lugares donde se quiera construir. El sistema de distribución también es factible de construir en viviendas existentes y el sistema de Fan Coil surge como una buena alternativa por sobre el sistema de radiadores, es importante mencionar que el sistema de losa radiante no se estudió debido a que reviste problemas constructivos en viviendas construidas con anterioridad.

### 2.10.2 Sistema cerrado vertical

El sistema geotérmico de baja entalpía con intercambiador de calor vertical cerrado es uno de los más usados en el mundo, y para analizar la factibilidad de desarrollar este sistema en Chile se analizarán algunos resultados que revistan áreas críticas del diseño del punto de vista técnico.

#### Intercambiador de calor

La profundidad del pozo geotérmico es la característica más determinante en éste tipo de sistemas, siendo los modelos pertenecientes a viviendas que no cumplen la reglamentación térmica las que requieren un pozo de mayores dimensiones. Si bien siempre es factible de construir, no sería una estrategia adecuada debido a las altas profundidades que puede este llegar a necesitar. Los promedios de profundidad de pozo para viviendas que no cumplen con la reglamentación térmica vigente es cercano a los 260 m lo que comparado con los 134 m de promedio para viviendas que cumplan la reglamentación térmica es un valor alto.

La superficie de terreno necesaria para que el proyecto no afecte proyectos similares o no vea disminuido su funcionamiento por agentes externos, es calculada para cada uno de los modelos de estudio en el software RETScreen. El valor promedio para las viviendas SRT es de 58,7 m<sup>2</sup> y para las CRT se tendrá un valor promedio de 58,4 metros cuadrados, lo que no reviste una complicación o un impedimento para la realización del proyecto.

#### Sistema de distribución

Al igual que para los sistemas abiertos se podrán obtener mejores resultados con sistemas constituidos por Fan Coil, al otorgar una mejor solución constructiva y estética que los radiadores convencionales. Que al tener una gran área y un gran número de artefactos lo hace ser una alternativa inviable en muchos casos, sobre todo los modelos que no cumplen con la reglamentación térmica.

## Resumen

Los sistemas cerrados son factibles de ser construidos en Chile para las condiciones que se han expuesto en esta memoria, si bien los sistemas descritos son factibles de construir resulta poco adecuado realizar pozos de una profundidad tan alta debido a las dificultades de construcción y costos asociados, como también a la realización de más de un pozo debido a que generalmente se utilizan pozos cercanos a los 100 m de profundidad.

## 2.11 Análisis económico

Uno de los factores más importantes en el futuro de los proyectos energéticos tiene relación con los costos totales asociados a su funcionamiento. Si bien el costo inicial de la instalación completa es fundamental, también es necesario contemplar los costos anuales de operación, comparándola con sistemas convencionales de calefacción analizando el proyecto dentro de la vida útil de éste.

### 2.11.1 Análisis de costos iniciales

En la Figura 2.29 se observan los costos totales de instalación de sistemas geotérmicos agrupados por tipos de intercambiador de calor, zona y reglamentación térmica., llegando a valores muy altos de más de \$40 millones en los casos más desfavorables, lo que reviste claramente una potente barrera de entrada de estos sistemas al mercado de la calefacción residencial.

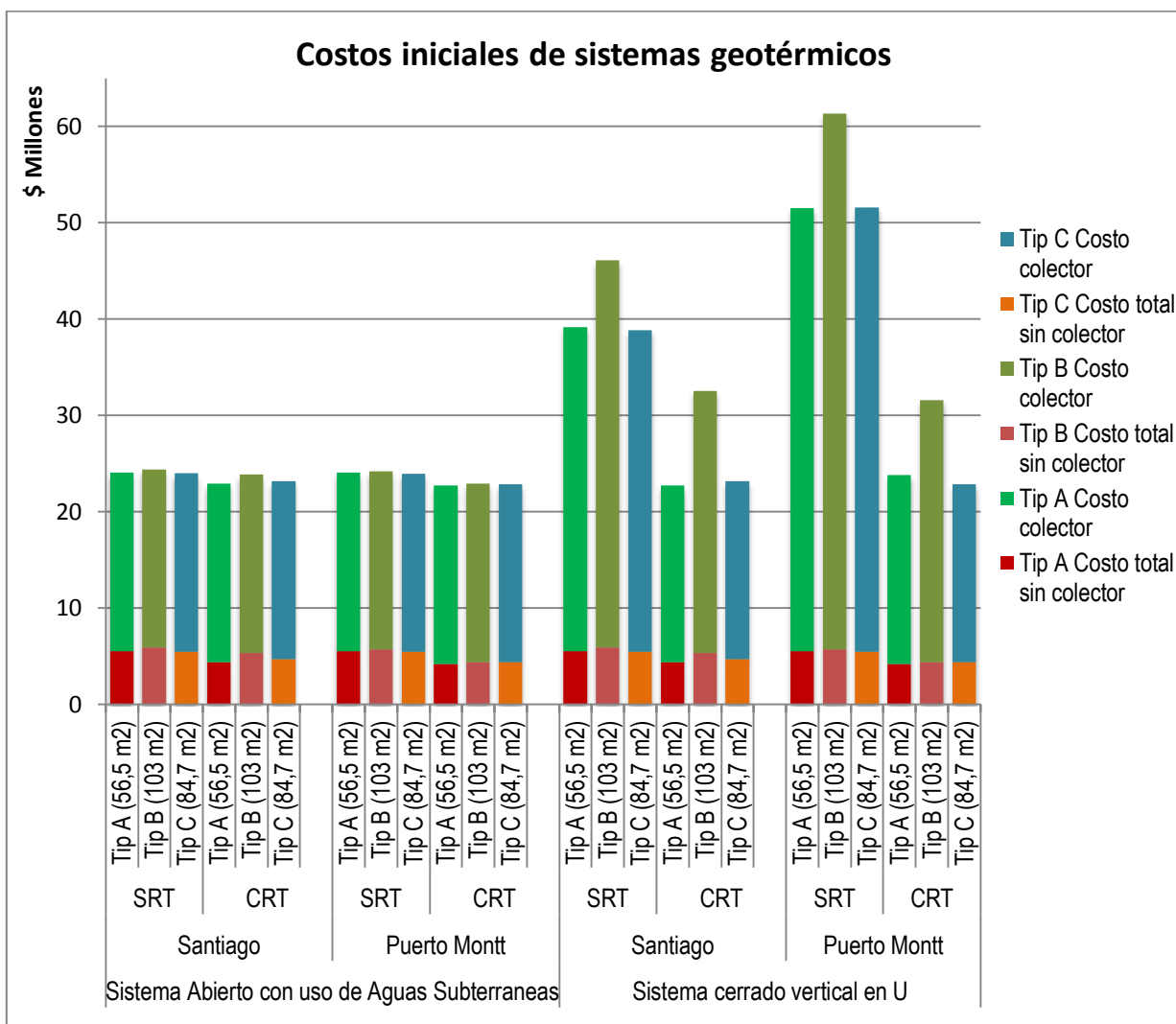


Figura 2.29: Costos de instalación de sistemas geotérmicos.

Cabe destacar de la Figura 2.29 que los valores de la parte superior de cada barra en tonos verdes, incluyen el costo de construir el pozo más su instalación hidráulica y en la parte inferior en tonos rojos se encuentran todos los costos asociados a la bomba de calor, sistema de distribución y el sistema en general.

Descartando los modelos que disparan los costos iniciales de los pozos, que son básicamente las viviendas construidas en Santiago y Puerto Montt sin reglamentación térmica para el caso de sistemas cerrados, se puede obtener un promedio cercano a los \$23 millones solo para la construcción del sistema de intercambiador de calor con la tierra, es decir, los pozos geotérmicos.

En la Figura 2.29, ya presentada, se observa un comportamiento constante en los sistemas abiertos debido a que unos de los supuestos es que en todos los casos se realizarán las modelaciones contemplando dos pozos de 50 m cada uno. En el caso de los sistemas verticales cerrados para las viviendas que no cumplen la reglamentación térmica, se ve un claro aumento de los costos debido a que necesitan mayor profundidad de sus pozos.

Para dimensionar los costos se presentan a continuación en la Figura 2.30 porcentajes promedios y por sistemas geotérmicos, tanto cerrado como abierto. Donde se logra apreciar que la construcción del pozo es el punto crítico de esta tecnología de calefacción desde el punto de vista económico, cerca de un 80% del costo total corresponde al colector geotérmico.

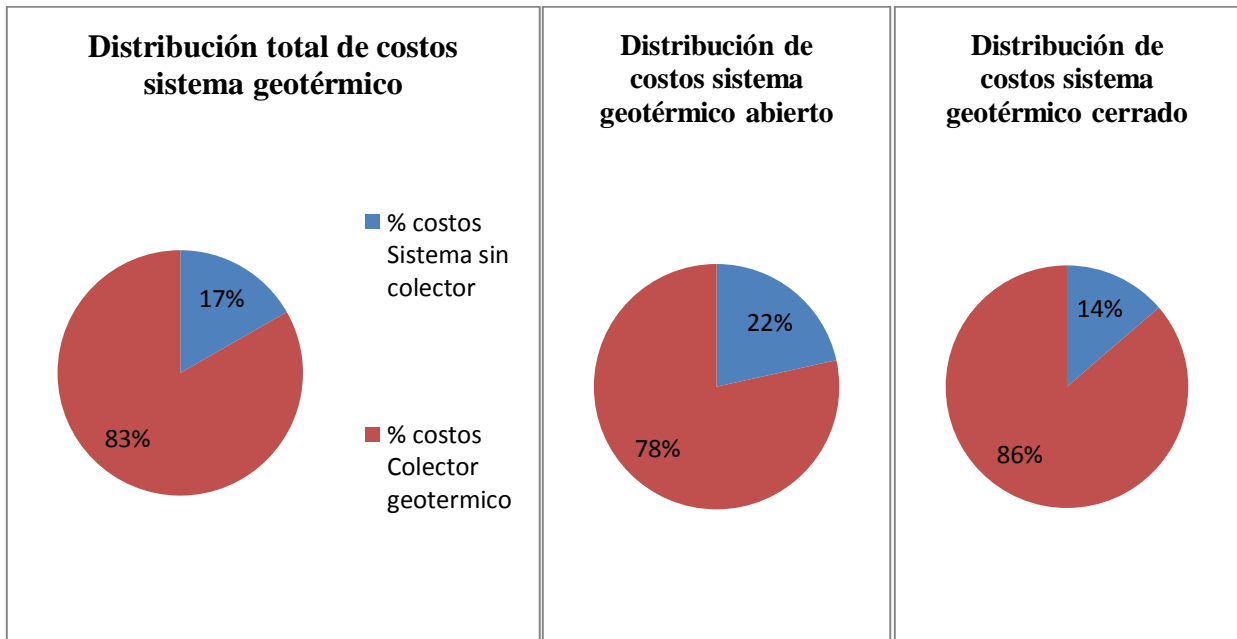


Figura 2.30: Distribución total de costos de sistema geotérmico.

### 2.11.2 Análisis de costos operacionales y comparativos.

Para el análisis de los datos se evalúa el sistema sin el costo inicial del intercambiador geotérmico que reviste una barrera clara de entrada y no permite tener sensibilidad en los datos.

Al realizar el análisis comparativo de los datos como se dijo en la Sección 2.5, se evalúa los sistemas comparándolos con los sistemas de calefacción convencionales más usadas en las dos zonas de estudio.

En la Figura 2.31 se presentan los resultados de la evaluación económica teniendo como base que el proyecto se supuso que tiene un tiempo de vida de 15 años y que se evalúan los dos sistemas bajo el mismo supuesto que es confort térmico durante todo el año con un nivel de ocupación del 100%.

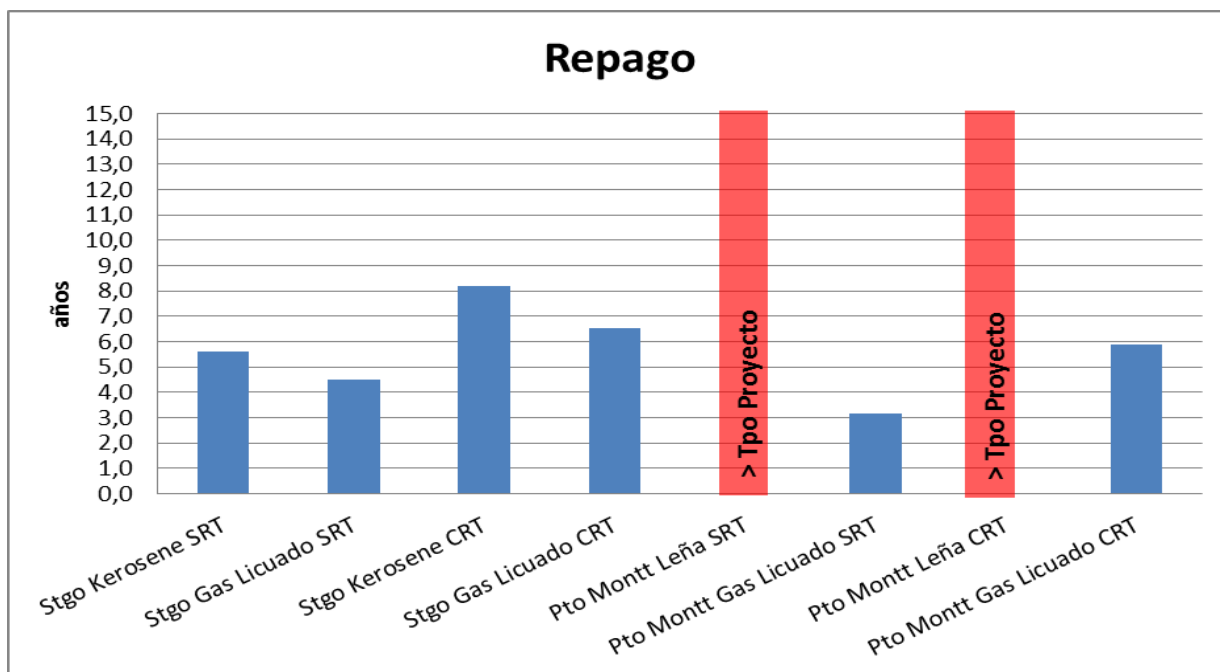


Figura 2.31: Repago del sistema comparándolo con sistemas convencionales.

Se puede ver en la Figura 2.31 que el sistema tiene una recuperación de la inversión dependiendo de la cantidad de energía necesaria para cada sistema, pudiendo inferir que a mayor demanda de energía el sistema tiene una recuperación más rápida debido a que el sistema propuesto tiene una eficiencia mayor.

En el caso del gas licuado existe una recuperación rápida debido al alto costo de este combustible, pero en el caso de la leña pasa exactamente lo contrario, superando la recuperación el tiempo de vida del proyecto. Si bien el sistema geotérmico tiene ventajas comparativas con otros sistemas, se está evaluando solamente la parte económica, en la Figura 2.32 se puede apreciar los costos operacionales promedio del sistema geotérmico comparado con sistemas de calefacción convencionales para las ciudades de Santiago y Puerto Montt.



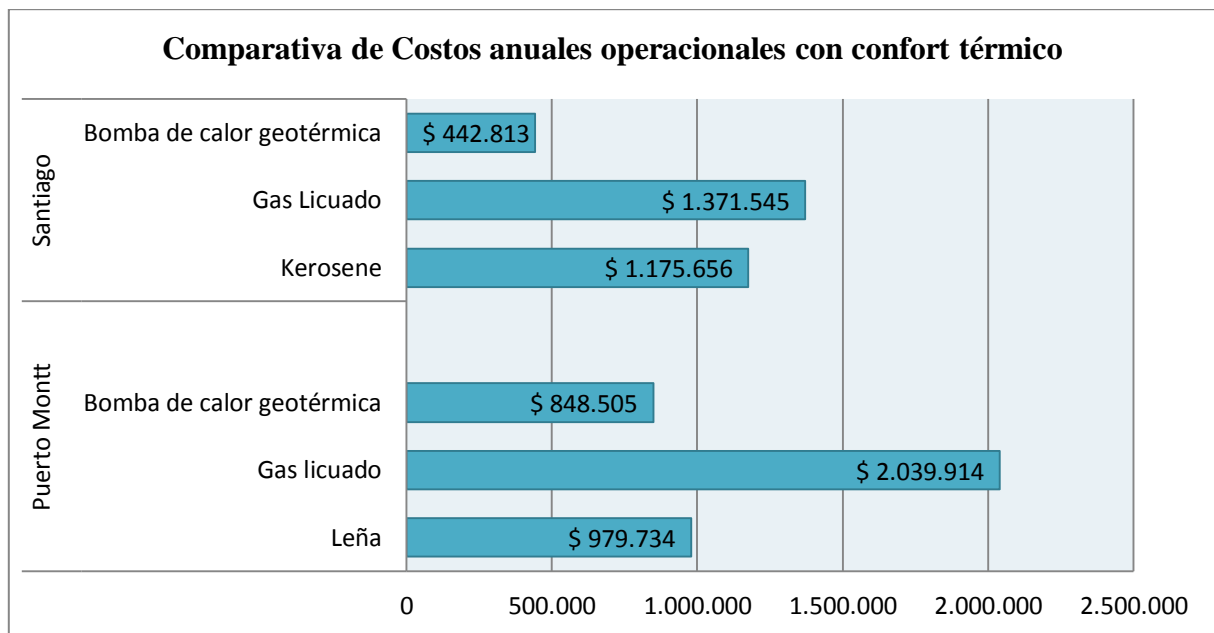


Figura 2.32: Comparativa de costos operacionales anuales de sistemas de calefacción estudiados considerando confort térmico.

Los costos anuales de operación son valores que se calculan imponiendo que en todos los días del año exista confort térmico dentro de la vivienda de 19°C, se aprecia un menor costo operacional del sistema con bomba de calor incluso mejor económicamente que la leña, que es un combustible de fácil acceso y de bajo costo.

## 2.12 Evaluación de estructuras ociosas

El alto costo del sistema intercambiador del sistema geotérmico lleva a buscar algunas alternativas que puedan cumplir como reservorio térmico logrando tomar toda la carga que demanda el sistema para su óptimo funcionamiento, para ello se analizan algunas estructuras que se puedan encontrar en viviendas chilenas.

### **Estanque de 5.000 l.**

Es común encontrar estanques de acumulación de agua en zonas donde se utiliza agua de pozo para diferentes usos, como regadío o consumo doméstico. Estos estanques generalmente se encuentran semi enterrados y tienen las características que se pueden apreciar dos imágenes en la Figura 2.33 en a) una figura esquemática de un estanque de 5000 l y en b) una fotografía de un estanque real en el edificio corporativo de la empresa Compañía Chilena de Perforaciones Ltda. donde existe un estanque como el que se propone en la investigación.

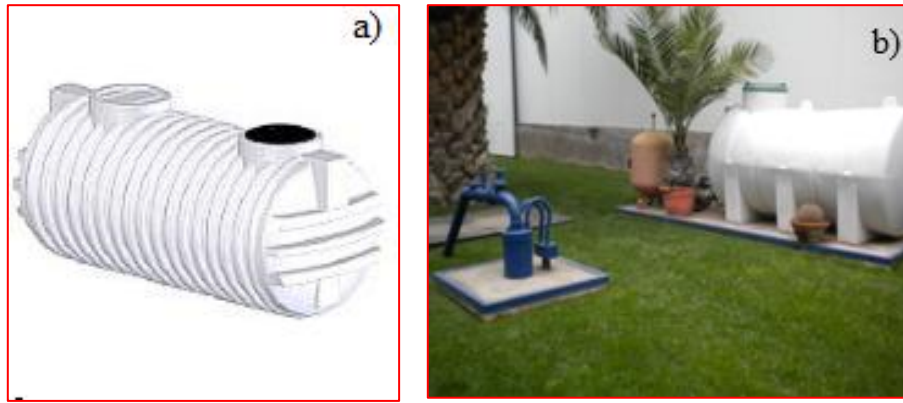


Figura 2.33: a) Estanque tipo de acumulación de agua (imagen referencial) b) Instalación real de estanque de agua (imagen propia de instalación en edificio de Compañía Chilena de Perforaciones Ltda.).

Este estanque de acumulación tendría que tener un loop cerrado dentro de estanque lleno con agua, tomando energía de la radiación solar, como del intercambio que se hace por las paredes de éste con el suelo de contacto. Por evaluación de expertos es rápidamente descartado por la poca inercia térmica que tiene, generando que a las pocas horas de marcha el sistema comience a saturarse bajando su temperatura, impidiendo el adecuado funcionamiento de la bomba de calor.

### **Piscina**

Se piensa utilizar la piscina como reservorio energético teniendo una gran masa de agua podría eventualmente ser una buena alternativa pero debido a las condiciones en las cuales ésta funcionaría el sistema tampoco daría abasto, tendría que ser una piscina de grandes dimensiones expuesta a la radiación solar completa durante todo el día, con una cubierta que evite que exista intercambio de calor con el ambiente. También fue una alternativa que no se explorará en esta memoria al ser una alternativa muy específica y poco replicable, perdiendo la generalidad del estudio. En la Figura 2.34 se presenta un ejemplo del reservorio térmico descrito.



Figura 2.34: Piscina utilizada como reservorio térmico (de Miguel, 2008).

## Pozos de agua

Los pozos de agua tienen un gran potencial para el uso del recurso geotérmico, muchas viviendas poseen pozos de agua a nivel rural como también es muy común en las zonas costeras, habiendo un porcentaje no menor de viviendas que cuentan con éstos por diversos motivos. Los pozos independientes si están secos, abandonados o prestan algún servicio doméstico o de regadío pueden formar parte de una estratégica solución al alto costo inicial de los sistemas geotérmicos.

En Chile existen 350 mil derechos de agua constituidos por la Dirección General de Aguas (DGA) y reconocidos por legislaciones anteriores, como también muchos que no están registrados, ya que no existe una información completa de los pozos ni de los derechos (Pinto, 2012). Por lo cual existe un gran potencial en este sentido.

Los pozos de agua que cumplen los requisitos técnicos de caudal y de derechos legales de extracción de agua forman parte de la alternativa propuesta para sistemas abiertos, disminuyendo el costo inicial del intercambiador de calor a cerca de la mitad del costo inicial, logrando generar un gran ahorro y por consiguiente hacer mucho más rentable y atractivo el sistema geotérmico de baja entalpía con intercambiador de calor abierto usando aguas subterráneas.

Por otra parte si el pozo, que puede ser una calicata, noria o pozo de agua seco u algún otro tipo de perforación constituye una alternativa interesante en el momento de diseñar un sistema geotérmico con intercambiador de calor vertical cerrado, pudiendo eventualmente reducir casi al mínimo los costos iniciales del intercambiador de calor. El problema social es que si el pozo está seco es muy probable que no se quiera utilizar para estos efectos, ya que, implica que se tiene que tapar, perdiendo la alternativa de poder profundizarlo y obtener agua o simplemente que vuelvan los antiguos niveles freáticos.

En la Figura 2.35 a) se muestra una imagen real de un pozo que no se usa, ya que, dejó de ser requerido luego que se instalaron sistemas de agua potable en el sector, y en b) se muestra un pozo de agua profundo utilizado para la extracción de agua. Estas dos alternativas constituyen una buena alternativa y son las escogidas para realizar la integración constructiva.

Generalmente los pozos de riego o de uso doméstico utilizan un caudal menor a los derechos otorgados, pudiendo aprovechar esta situación extrayendo adicionalmente el caudal necesario para la el funcionamiento del sistema geotérmico, pudiendo de esta forma aprovechar incluso las instalaciones como bombas y tuberías para el diseño del mismo.



Figura 2.35: a) Pozo sin uso de extracción de agua (imagen propia de propiedad en la comuna del Tabo, V región, Chile. b) Pozo profundo (imagen propia de instalación en edificio de Compañía Chilena de Perforaciones Ltda.. Pudahuel, Región Metropolitana, Chile).

### **Impacto económico de la integración constructiva de pozos existentes, previos a la construcción de sistemas geotérmicos de uso de agua subterránea.**

Se propone el uso de pozos sub utilizados o bien en situación de abandono o desuso como se expuso anteriormente. Cabe destacar que el sentido de esta propuesta es disminuir el alto costo inicial del sistema, el ahorro se produce en el ítem crítico correspondiente al costo de realizar los pozos de extracción de agua.

En la Figura 2.36 se grafican los eventuales ahorros de esta integración constructiva. El supuesto se basa en que en una vivienda donde se desee instalar un sistema geotérmico de baja entalpía con uso de aguas subterráneas, exista un pozo de extracción de agua. Se estudia el caso que la profundidad de extracción necesaria sea de 50 metros. Para efectos del análisis se realizan estos supuestos manteniendo las condiciones estudiadas con anterioridad a lo largo del desarrollo de la memoria.

El costo del ítem de perforación del pozo disminuye cerca de un 50% en comparación a sistemas sin esta integración constructiva, ya que, se requiere construir solamente un pozo en vez de dos, como fue descrito en el análisis anterior. Los costos totales de instalación disminuyen a menos de 15 millones de pesos. Los datos que son expuestos en la Figura 2.36 se pueden contrarrestar con el caso base, obteniendo una disminución en el costo inicial cercana al 40% .

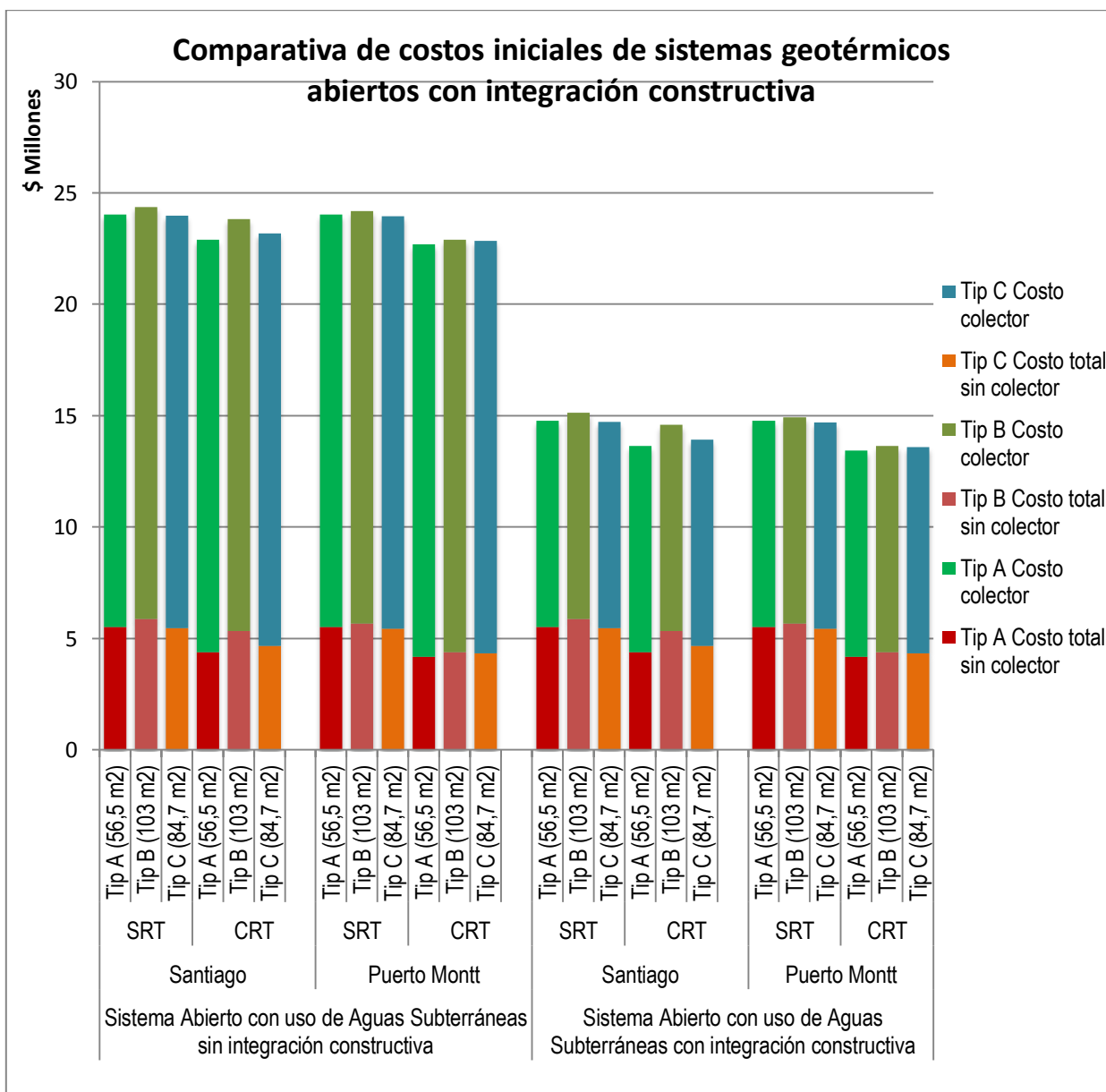


Figura 2.36: Comparativa de costos iniciales de sistemas geotérmicos abiertos con integración constructiva.

En la Figura 2.37 se muestra la nueva distribución de costos iniciales donde se aprecia que ahora el ítem del costo de colector tiende a ser menor, y empieza a equipararse con el porcentaje que representa el costo del sistema de distribución, más la bomba de calor expresada en la gráfica circular. La importancia del sistema colector con este nuevo cálculo, disminuye a un 65% del total de los costos de implementar un sistema geotérmico de baja entalpía de circuito abierto con uso de aguas subterráneas cuando se desarrolla la integración constructiva descrita en esta sección.

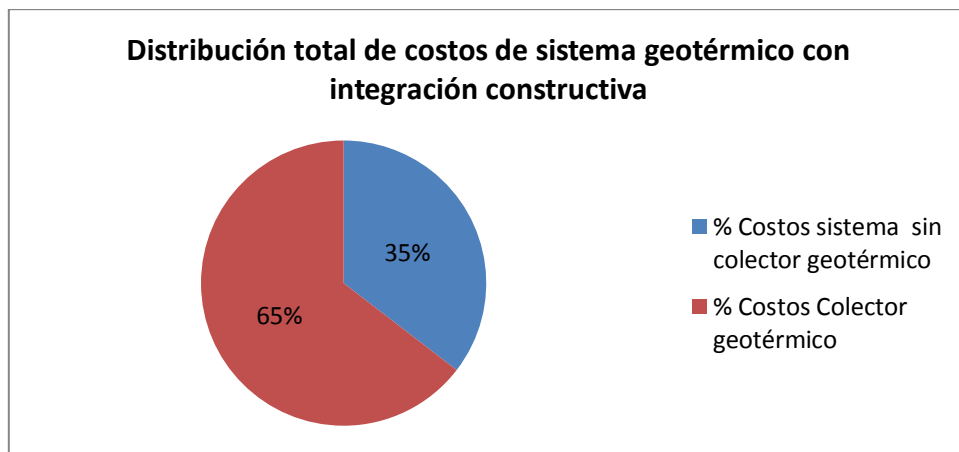


Figura 2.37: Distribución total de costos de sistema geotérmico de baja entalpía abierto con uso de aguas subterráneas con integración constructiva.

## 2.13 Conclusiones

En este capítulo se expone la metodología de diseño de los dos sistemas geotérmicos de estudio, los cuales al ser evaluados en dos zonas del país, con diferentes envolventes térmicas, dependiendo si cumplen o no la reglamentación térmica del 2007, y comparándolas económica y técnicamente con dos sistemas de calefacción convencional. Dan como resultado 48 modelos geotérmicos de baja entalpía, que son evaluados técnica y económicamente en el programa RETScreen, ello arroja resultados del dimensionamiento como de la viabilidad del proyecto desde el punto de vista económico

Si bien todos los sistemas técnicamente son viables de construir, el tener un funcionamiento de más de 2400 horas anuales podría afectar el rendimiento del terreno y del sistema en general bajando su eficiencia. Se concluye que al poner una bomba de mayor potencia bajan las horas anuales de operación, lo que del punto de vista de la inversión inicial no es un aumento significativo del sistema.

El sistema de distribución de calor dentro de la vivienda tiene un mejor desempeño con Fan Coils, que por radiadores convencionales. Esto se debe a que el diseño arroja un excesivo número de terminales y de superficie de radiadores, lo que no ocurre con los Fan Coils que a pesar de tener algunas desventajas como su baja inercia térmica y ruidos se escoge como la mejor alternativa para las viviendas promedio. Esto cambia cuando la demanda energética es muy baja, y por ende los requerimientos de altos números de terminales baja convirtiéndose en una buena solución económica y constructiva. Cabe destacar que las losas radiantes no se contemplaron en el estudio, debido a que reviste complicaciones de instalación en viviendas ya construidas.

La comparaciones económicas con sistemas convencionales de calefacción entregan como resultado, que bajo el mismo supuesto de confort térmico, el sistema geotérmico propuesto tiene un costo de operación menor, logrando en promedio recuperar la inversión en promedio 6 años, siendo la leña el combustible con el cual no se alcanza en la vida útil propuesta la recuperación del capital, debido al bajo costo que tiene.

Se destaca que del punto de vista económico el sistema geotérmico abierto con uso de aguas subterráneas es comparativamente más económico que el sistema de pozos verticales. Se presenta como una alternativa viable siempre y cuando exista disponibilidad del recurso de aguas subterráneas. Los caudales de extracción máximos que en promedio son de 0,5 l/s no revisten una mayor complicación de extracción, ya que es considerado un caudal de extracción bajo.

Los sistemas geotérmicos verticales cerrados son competitivos cuando la demanda energética es baja, es decir, que para viviendas con una buena aislación térmica este sistema es una buena alternativa por sobre el sistema que utiliza aguas subterráneas. La ventaja de este sistema por sobre el abierto reside en que no depende del recurso de aguas subterráneas, siendo de esta manera, una energía de una independencia mayor.

Luego del análisis de los resultados se pudo concordar que el sistema geotérmico tiene una gran barrera de entrada económica basada en el sistema de intercambiador térmico, lo que constituye un problema importante en futuras implementaciones. Al presentar estructuras ociosas este costo eventualmente puede disminuir dependiendo de las características de los pozos, si es un pozo del cual se puede extraer agua, servirá para usos en sistemas abiertos logrando bajar los costos iniciales en cerca de un 40% dependiendo de las características de éste. Si el pozo estuviera seco también constituye un gran potencial debido a que se puede utilizar como un *borehole* que también disminuirá los costos iniciales de la construcción del sistema de intercambiador de calor.

### **3. CAPÍTULO III: ASPECTOS LEGALES**

#### **3.1 Introducción al Capítulo**

En este capítulo se aborda el análisis de las legislaciones que regulan los usos del recurso geotérmico y el uso de aguas subterráneas en Chile. Se presenta el estudio de las normativas que tiene como objetivo, identificar los procesos legales para obtener un derecho de aprovechamiento del recurso geotérmico y de uso no consuntivo de aguas subterráneas, identificando problemáticas en el proceso. Se presenta el desarrollo de mapas de procesos para los dos casos de estudio, formulando un diagrama para cada uno de ellos, luego un análisis de la factibilidad de realizar proyectos geotérmicos en Chile desde el punto de vista legal.

#### **3.2 Aspectos legales generales**

La historia legislativa de Chile con respecto a la geotermia tuvo un salto importante el año 2000 con la publicación de la Ley N° 19.657 sobre concesiones de Energía Geotérmica, la que tiene por objetivo promocionar la industria de la geotermia a través de remover barreras y agilizar los procedimientos para constituir las concesiones de exploración y explotación (CER, 2011). Cabe destacar que los aspectos legales forman parte de los factores más preponderantes en el desarrollo de la Energía Geotérmica, que es definida por la ley como “aquella que se obtenga del calor natural de la tierra, que puede ser extraída del vapor, agua, gases, excluidos los hidrocarburos, o a través de fluidos inyectados artificialmente para este fin” (Art.3°, Ley 19.657).

Si bien es un avance sustancial la creación de la Ley N° 19.657 en el desarrollo de la geotermia en Chile, es muy poco específica a la hora de hablar de geotermia de baja entalpía, y no hace distinción alguna sobre las temperaturas de trabajo ni las magnitudes de los proyectos. Por esto mismo y como ejemplo, no hace diferencia sobre geotermia de alta entalpía para generación eléctrica ubicada en zonas volcánicas y geotermia de baja entalpía utilizada para calefaccionar una vivienda utilizando la inercia térmica del suelo o agua. La magnitud de los proyectos no tiene comparación alguna como tampoco las superficies de terreno utilizadas para su desarrollo.

Diversos autores han abordado la geotermia en Chile viendo temas de incentivos y promociones a las ERNC (Pirazzoli, 2008) o la identificación de las barreras de entrada ya sea económicas, legales e institucionales (Saldivia, 2011), donde se estudian en profundidad diversas aristas del desarrollo de la geotermia como también algunas deficiencias en la normativa actual. Pirazzolli (2008) y Saldivia (2011) basan su estudio en la generación eléctrica de proyectos geotérmicos de alta entalpía y no hacen referencia en específico al desarrollo de la geotermia de baja entalpía, que es el tema de interés de esta memoria, pero es un buen punto de partida, ya que, la legislación chilena abarca la geotermia como un todo y no hace distinción de si es de alta o baja temperatura. Técnicamente para la ley los proyectos geotérmicos que se rigen por ella son los que consisten en la extracción, producción y transformación de fluidos geotérmicos en energía térmica o eléctrica.

Para el caso de uso del agua subterránea los procedimientos y las leyes que lo rigen son distintos, siendo el Código de Aguas (1981) el que regula y norma los procesos que se tienen que seguir para la solicitud de aprovechamiento de aguas subterráneas. Los sistemas geotérmicos de



baja entalpía de circuito abierto con uso de aguas subterráneas descrito en los capítulos anteriores necesitan para su funcionamiento dos pozos, uno de producción y el otro de inyección, donde el agua extraída del pozo de producción es devuelta en su totalidad al pozo de inyección. Para este efecto es necesario estudiar el derecho de agua de uso no consuntivo y su proceso en particular de gestión de solicitudes.

Las normativas que se abordan en este capítulo se enfocan en el punto de mayor interés en el desarrollo de proyectos de geotermia de baja entalpía, que viene dado por el sistema de intercambio de calor con la tierra. Estos sistemas que han sido detallados en el capítulo anterior son:

- a) Sistemas geotérmicos abiertos con uso de aguas subterráneas.
- b) Sistemas geotérmicos de intercambiador de calor vertical cerrado.

Las bases del estudio se enfocan a la identificación de los procedimientos legales que hay que seguir para obtener permisos de usos de suelo o agua que permitan el desarrollo de los distintos sistemas geotérmicos descritos en esta investigación, como también a la identificación de las falencias o problemáticas de las normativas vigentes que rigen el uso del recurso geotérmico, en específico de los sistemas geotérmicos de baja entalpía.

### **3.3 Aspectos legales de sistemas geotérmicos de baja entalpía de intercambiador de calor abierto con uso de aguas subterráneas**

Explorando los procesos legales que se tienen que seguir para la obtención de un derecho de utilización de aguas subterráneas, se encuentran dos caminos, uno consiste en seguir el procedimiento que es descrito en la sección 3.4 sobre concesiones geotérmicas, que contempla el uso del agua subterránea en procesos de explotación geotérmica. El segundo consiste en el estudio de los derechos de aprovechamiento de aguas subterráneas, que en este caso, será de uso no consuntivo, que es definido por el Código de Aguas (1981) como aquel que permite emplear el agua sin consumirla y obliga a restituirla en la forma que lo determine el acto de adquisición o de constitución del derecho.

En esta sección se aborda el análisis de los derechos de agua de uso no consuntivo de aguas subterráneas, siendo la Dirección General de Aguas (DGA) el organismo responsable de la otorgación de los derechos, y es donde se realiza el proceso de solicitud y adjudicación de los mismos.

El sistema geotérmico abierto requiere dos pozos, uno para extraer agua del subsuelo y otro para inyectar el total del agua extraída. El proceso consiste en extraer calor del agua del pozo de pozo de producción, para luego inyectarla en el otro pozo unos grados más baja  $\pm 6$  K (VDI 4640, 2001).

### 3.3.1 Procesos para la obtención del derecho de aprovechamiento no consuntivo de aguas subterráneas

#### **Descripción**

Las aguas subterráneas son bienes nacionales de uso público. Se otorga a los particulares, ya sea, persona natural o jurídica, un derecho de aprovechamiento sobre ellas de acuerdo a los procedimientos y requisitos que se establecen en el Código de Aguas del año 1981.

Este derecho de aprovechamiento puede ser de uso consuntivo o no consuntivo, pero se abordará el caso del derecho de aprovechamiento de aguas de uso no consuntivo que es el tema de interés de estudio de esta memoria.

Para solicitar un derecho de aprovechamiento de aguas, se deberá presentar una solicitud dirigida al Director General de Aguas, y deberá ser ingresada en la oficina de Partes de la DGA de la provincia en que se encuentra ubicado el punto de captación de las aguas que se deseen constituir.

#### **Beneficiarios y requisitos**

Como se dijo anteriormente los beneficiarios serán toda persona natural y toda persona jurídica constituida en conformidad con las leyes chilenas que cumplan con a lo menos todas las menciones que establece el Código de Aguas (Art. 140, Código de Aguas, 1981). Siendo las más relevantes: Individualización del solicitante, la naturaleza de las aguas (subterráneas) y ubicación del pozo de captación; como también el área de protección solicitada; el caudal máximo y volumen anual que se desea extraer; el o los puntos donde se desea extraer e inyectar el agua expresadas en coordenadas U.T.M.; la forma de extraer el agua (mecánica o gravitacional) y el uso de derecho (consuntivo o no consuntivo), como también el ejercicio que puede ser permanente (provisional, cuando corresponda), continuo o discontinuo o alternado con otras personas.

#### **Diagrama de procesos**

Se presenta un diagrama de procesos que permitirá tener una visión amplia de todo el proceso legal desde la presentación de la solicitud hasta que constituya el derecho de aprovechamiento solicitado. La Figura 3.1 muestra el procedimiento que habrá que seguir para obtener el mencionado derecho. Cabe destacar que este proceso no tiene un tiempo límite, solo algunas actividades tienen plazos máximos, como se puede apreciar en el diagrama. Después de ingresada la solicitud y si cumple con los requisitos, tiene que publicar un extracto de la solicitud en medios oficiales, teniendo como plazo máximo 30 días hábiles como se muestra en la Figura 3.2, donde se presenta con un mayor detalle en que consiste este ítem.

El diagrama es aplicado a los derechos de uso de agua no consuntivo, pero es válidamente aplicado para solicitar un derecho de uso consuntivo de agua subterránea. En la Figura 3.1 se presenta un desglose mayor de algunas actividades, que fueron escogidas por tener una mayor relevancia en el proceso. Para ello las dos figuras identifican cada proceso con un número, este facilita la comprensión del diagrama y permite con mayor facilidad verificar cada proceso de la Figura 3.1 con la Figura 3.2.

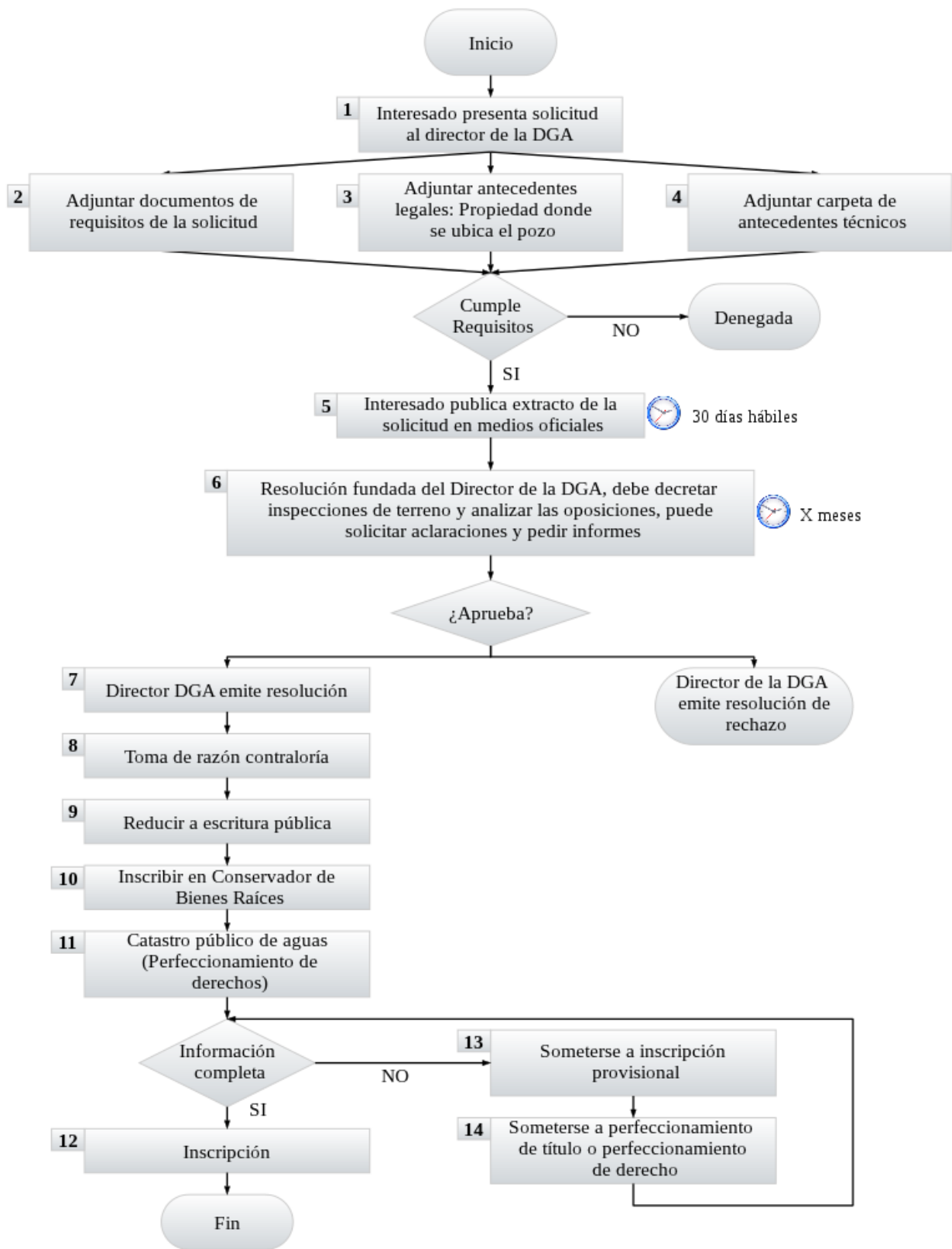


Figura 3.1: Mapa de procesos solicitud de derecho de aprovechamiento de aguas subterráneas (Elaboración propia).

## **Procesos de solicitud de Derecho de aprovechamiento de aguas subterráneas**

Se inicia el proceso presentando la solicitud al Director de la DGA [1] adjuntando todos los documentos legales y técnicos como se muestra en la Figura 3.1 y en mayor detalle en la Figura 3.2, destacando que si el caudal máximo solicitado excede los 100 l/s para la región de Arica y Parinacota y la región Metropolitana o excede los 500 l/s para las demás regiones del país, se tiene que adjuntar una Memoria Explicativa.

Si se cumplen los requisitos el interesado publica en medios oficiales un extracto de la solicitud [5] teniendo un plazo de 30 días para hacer las publicaciones.

El Director de la DGA tiene un plazo indeterminado para resolver la solicitud [6] con toda la información, ya sea, de oposiciones al proyecto como de diferentes informes que pueda solicitar adicionales a los presentados en la solicitud. Dependiendo de las diferentes oposiciones, reclamos, u alguna situación podría retrasarse aún más el proceso, que en promedio es de entre un año y un año y medio.

Si el Director aprueba la solicitud se emite una resolución, tiene que pasar por diferentes trámites legales [8], [9], [10], [11], para su posterior inscripción final [14] o si algo queda pendiente se le otorgará una inscripción provisional [12] hasta que se perfeccione el título de derecho [13] Figura 3.1.

### **Comentarios**

Las solicitudes de derechos de uso no consuntivo de agua subterránea no constituyen un derecho muy frecuente al que se vean enfrentados en la DGA, sin embargo a la fecha se han otorgado este tipo de derechos de utilización del agua subterránea. Por los caudales de utilización, que son considerados bajos (0,7 l/s) no existe mayor reparo por parte de la DGA, pero todas las solicitudes son evaluadas según el lugar de establecimiento del proyecto y sus impactos (División legal (MOP), 2013).

El mayor problema que se identifica en este tipo de solicitudes es el tiempo que toma la constitución de derechos, que en promedio es de un año o un año y medio, esto depende de los reparos a la solicitud, oposiciones, pero básicamente es debido a una alta demanda de solicitudes de derechos, y el insuficiente capital humano para la resolución de los mismos de una forma óptima de parte de la DGA (CIRH, 2013).

Un punto relevante de destacar es que el trámite no tiene costo, sin embargo las publicaciones en medios oficiales, las visitas a terreno y la reducción a escritura pública son costos asociados al solicitante.

Es de importancia realizar la solicitud especificando claramente la ubicación del pozo de extracción como el de restitución teniendo en consideración definirlos por las coordenadas U.T.M. Norte y Este en metros o kilómetros, el dátum y el huso correspondiente. También especificar la distancia entre pozos y el desnivel entre ellos. Todo esto debido a que son los principales errores en las solicitudes y son causales del primer filtro, lo que provoca que sean denegadas, en el paso inicial.



Figura 3.2: Fases para constitución de un derecho de aprovechamiento de aguas (Elaboración propia)

Los caudales necesarios para cubrir la demanda de todos los modelos estudiados en el Capítulo 2, son inferiores a 0,7 litro por segundo, lo que no tendría mayores impactos medioambientales, por ende no se debiera tener reparos en poder asignar un derecho de agua de uso no consuntivo. Por otro lado la Región Metropolitana en gran parte de sus comunas tiene restricción al uso de aguas subterráneas (Art. 65, Código de Aguas), como lo muestra la Figura 3.3 en amarillo y naranja, lo que eventualmente podría ser un punto de conflicto del uso de ésta tecnología en las regiones con prohibición o restricción del uso de agua. En Puerto Montt se aprecia en la Figura 3.4 que no se tienen restricciones de uso de agua lo que no reviste mayores complicaciones de este tipo.

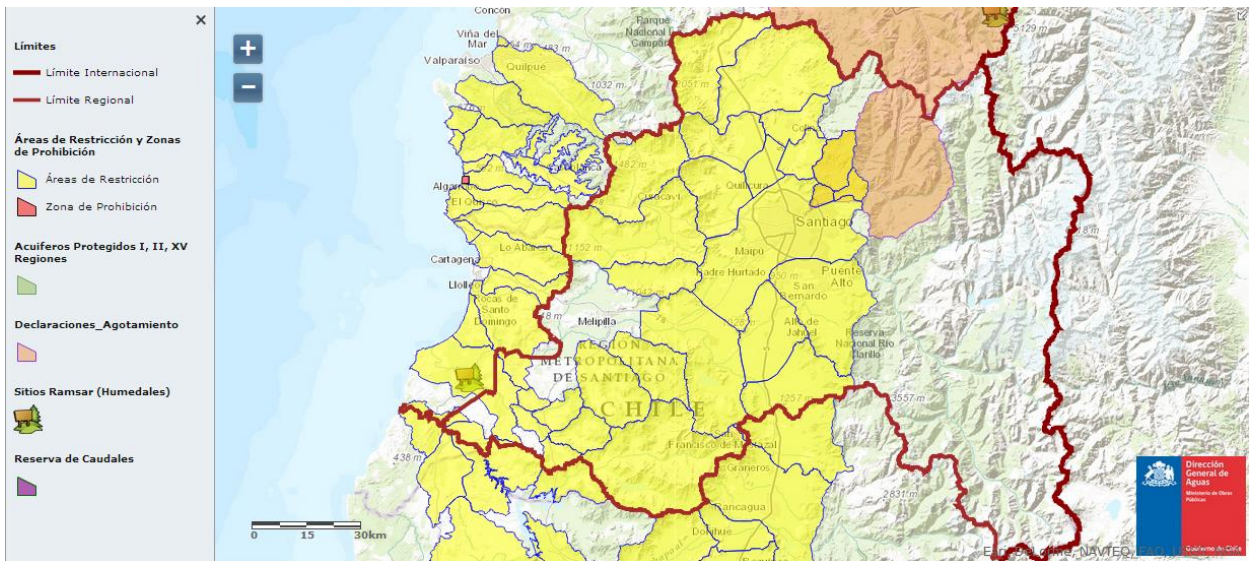


Figura 3.3: Restricciones a los Derechos de Agua. Región Metropolitana, Santiago (DGA, 2013).

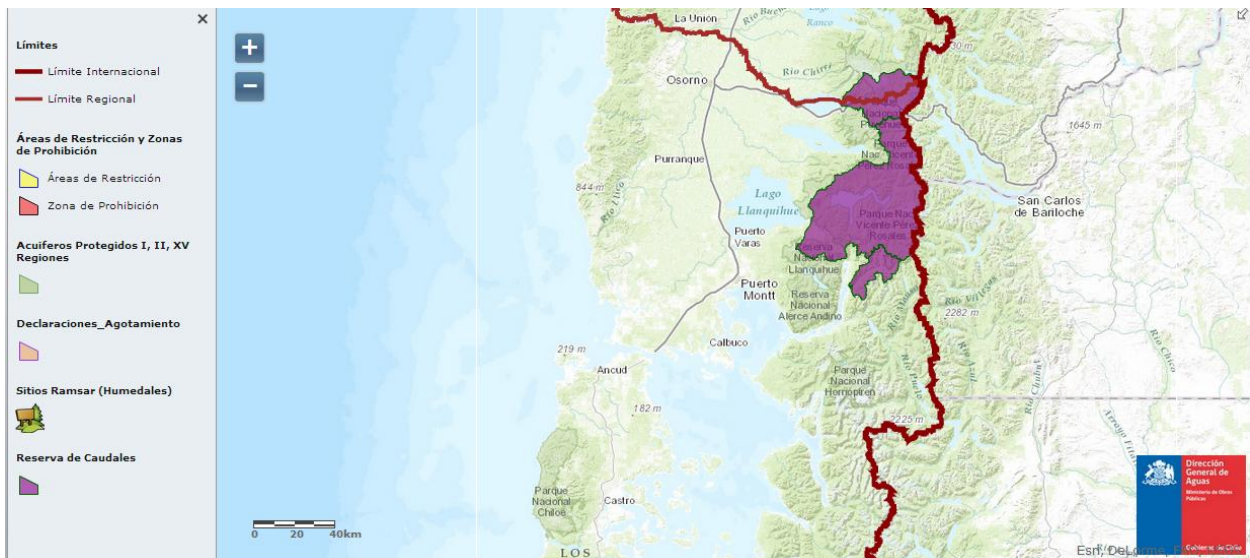


Figura 3.4: Restricciones a los Derechos de Agua. Región de los Lagos, Puerto Montt. (DGA, 2013).

### **3.4 Aspectos legales de sistemas geotérmicos de baja entalpía de intercambiador de calor vertical cerrado**

Apegándose a la ley y teniendo presente que un proyecto de baja entalpía, al igual que uno de generación eléctrica, hace aprovechamiento de “energía geotérmica”, entendida como calor natural de la tierra y, considerando que dicha energía sólo puede ser explorada o explotada previo otorgamiento de una concesión (Art. 3, Ley N° 19.657). Para el desarrollo de un proyecto de baja entalpía, entendido este como aquel que hace uso de energía geotérmica de bajo poder calorífico, es necesario obtener de parte del Ministerio de Energía la respectiva concesión de exploración o explotación, dependiendo de la etapa del proyecto a desarrollar (Ministerio de Energía, 2012).

Como la legislación no hace diferencia entre geotermia de alta y baja entalpía, los procedimientos legales para la obtención de una concesión geotérmica serán los mismos para ellos, sin hacer distinción alguna.

A 12 años de entrada en vigencia de la Ley N° 19.657 ha demostrado ser insuficiente, por lo cual se han enviado al Congreso dos proyectos de ley que introducen modificaciones a la mencionada Ley. Con respecto a esto se han identificado tres eventuales barreras de entrada a la geotermia en el campo legal: los requisitos para ser concesionario, el proceso de licitación y el plazo de concesión (Saldivia, 2011).

Hasta la fecha no existe ninguna normativa ni propuesta que regule y se haga cargo especialmente del desarrollo de proyectos geotérmicos de baja entalpía, como tampoco existen incentivos directos a esta tecnología en particular (Ministerio de Energía, 2012a). El alto costo inicial constituye una de las principales barreras económicas de esta tecnología, que en países que han desarrollado exitosamente la geotermia ha sido paliada por medio de subsidios u otros beneficios, lo que no ocurre hasta el momento en Chile (Saldivia, 2011).

Los procesos legales que hay que seguir para obtener una concesión geotérmica de exploración y/o de explotación son detallados en el punto 3.4.1, donde se abordan con un mayor detalle los pasos del proceso que permitirán una mejor comprensión de los requisitos y tiempos que tiene este ejercicio legal.

#### **3.4.1 Procesos para la obtención de una concesión geotérmica**

##### **Descripción**

Procedimiento que faculta a toda persona natural chilena y a toda persona jurídica constituida de acuerdo a las leyes chilenas a solicitar una concesión de energía geotérmica y a participar en una licitación pública para el otorgamiento de tal concesión. Ésta es otorgada por el Ministerio de Energía y puede ser de exploración o de explotación.

La concesión de exploración faculta al interesado a realizar un conjunto de operaciones que tienen como objetivo determinar la potencialidad de energía geotérmica, confiriendo el derecho de realizar los estudios necesarios, y la concesión de explotación confiere el derecho de aprovechamiento del recurso geotérmico que existe en los límites solicitados (Ministerio de Energía, 2012b).

Se entenderá como concesión de energía geotérmica como un derecho real inmueble, distinto e independiente del dominio del predio superficial, aunque tengan un mismo dueño, oponible al Estado y a cualquier persona, transferible y transmisible, susceptible a todo acto de contrato (Art. 5°, Ley N°19.657 (2000)).

### **Beneficiarios y requisitos**

Como se dijo anteriormente los beneficiarios serán toda persona natural chilena y toda persona jurídica constituida en conformidad con las leyes chilenas que cumplan con los siguientes requisitos: Identificación del solicitante, terreno sobre el cual se solicita la concesión, identificación de la concesión solicitada, antecedentes generales, técnicos y económicos del proyecto y las inversiones proyectadas para su ejecución.

Se hace efectiva la petición entregando en una solicitud formal presentada en carpetas foliadas siguiendo todas las exigencias estipuladas por la legislación en los artículos 12, 13 y 14 de la Ley N° 19.657 (2000).

### **Diagrama de procesos**

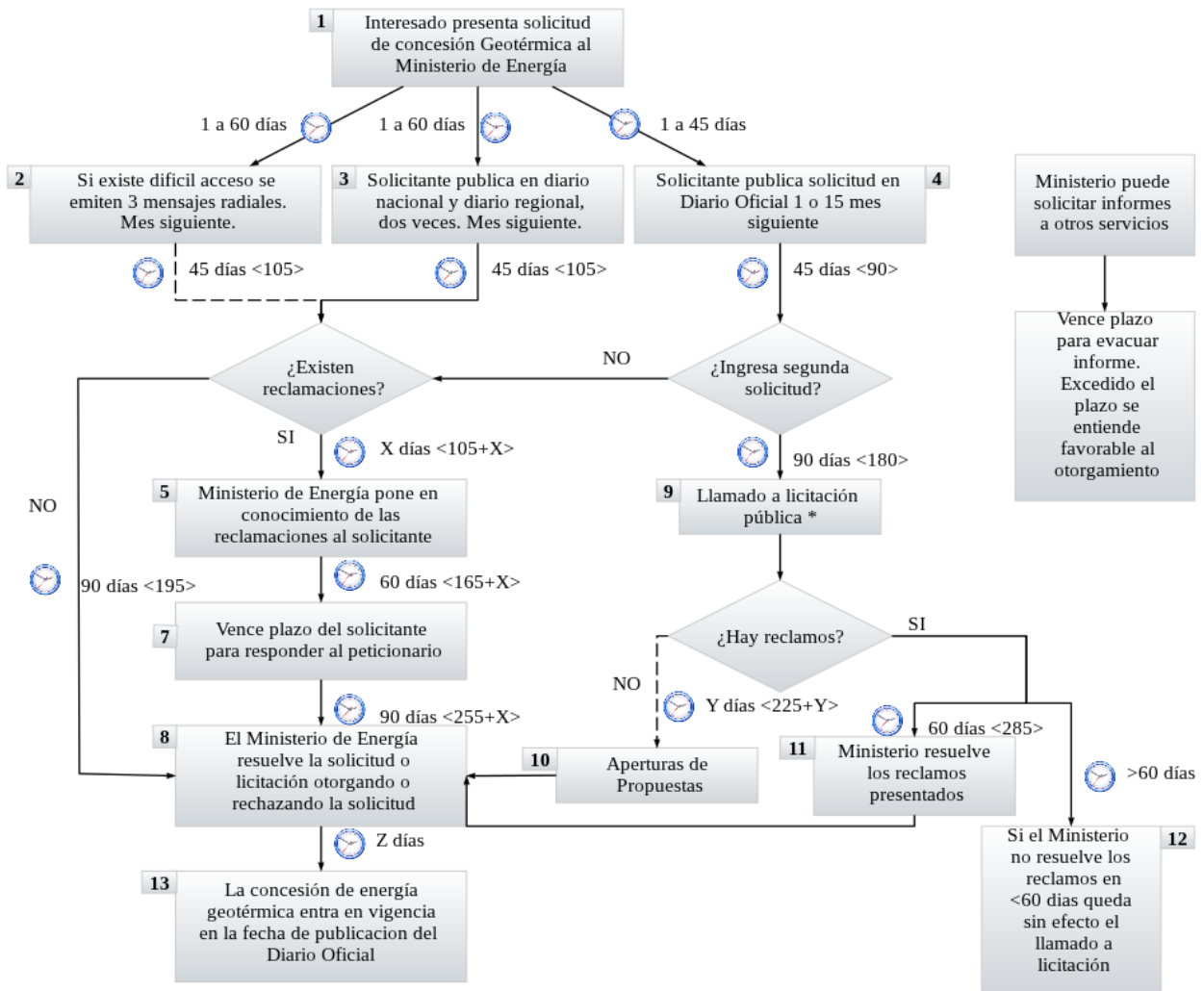
Se presenta un diagrama de procesos en la Figura 3.5, donde se muestra el procedimiento del caso de estudio que corresponde a una solicitud de concesión geotérmica de exploración o explotación de presentación directa y que también puede ser aplicable a los procesos de licitación pública. En proyectos de geotermia de baja entalpía se busca el uso del recurso de baja temperatura sin necesidad de estar en zonas que para la geotermia de alta entalpía es de relevancia.

En la Figura 3.6 se presenta un desglose detallado de los pasos o procesos expresados en el diagrama de la Figura 3.5, abordando los de mayor relevancia para el solicitante de concesiones de energía geotérmica, ya sea, para una concesión de exploración como de una de explotación. Para un mayor entendimiento se enumeran todos los procesos y se muestra a través de iconos los documentos necesarios y requisitos que tiene cada punto que ha sido destacado en la Figura 3.6.

En el diagrama de la Figura 3.5 se observa el proceso general identificando los tiempos que demora cada uno de los pasos, la identificación se hace por medio de iconos que tienen asociado un tiempo. Se puede verificar que el tiempo asociado a la otorgación de las concesiones no es menor a 200 días en proyectos donde no exista ni una clase de oposición de parte de terceros.

Los Diagramas presentados a continuación fueron revisados y validados por el Ministerio de Energía y corresponden a los procedimientos legales necesarios para la constitución de una concesión geotérmica, ya sea, de exploración como de explotación, ajustada a proyectos geotérmicos de baja entalpía. Para el diagrama no se considera la solicitud cuando se trate de una fuente probable que son definidas como zonas calientes, generalmente lugares de interés para realizar proyectos de geotérmica de alta entalpía donde se requiere una energía mayor. En Anexo H se publica un diagrama que si considera las fuentes probables.





<> Tiempo máximo acumulado en cada etapa del proceso expresado en días.

Figura 3.5: Mapa de procesos solicitud de concesión de Energía Geotérmica (Elaboración propia).

### Tiempos de procesos de solicitud de concesión de energía geotérmica basado en la Ley de concesiones de energía geotérmica.

Se presenta la solicitud al ministerio de Energía [1] cumpliendo con todo lo estipulado por la ley (Art. 7, Art. 11, Ley N° 19.657) (Art.12 Reglamento para la aplicación de la Ley N° 19.657) (Decreto Supremo N°32, 2004). Es necesario que luego de la presentación se publique un extracto de la solicitud en diferentes medios de comunicación [2], [3] y [4] como se muestra en la Figura 3.6, teniendo 30 días corridos para su publicación. Después de la publicación en el diario oficial se tendrán 45 días para que se realicen objeciones a la solicitud, pudiendo presentarse reclamaciones de dos tipos:

- Otras personas pudieren solicitar el otorgamiento de la concesión sobre un terreno que comprenda la primitiva solicitud: El Ministerio de Energía en un plazo de 60 días podrá convocar a una licitación pública [9].

- Oposición u objeción al proyecto: Si existiesen reclamaciones y/o observaciones que causen perjuicio a los actores involucrados (Art. 18, Ley N° 19.657), el Ministerio pondrá en conocimiento al solicitante [5] pudiendo aclarar objeciones en un plazo de 60 días.

El Ministerio de Energía luego de tomar todos los antecedentes, pudiendo pedir información a cualquier organismo público o autoridad donde por ley los organismos tienen que pronunciarse en un plazo máximo de 60 días, luego del cual si no tiene respuesta se asumirá que no tienen conflictos con el proyecto, teniendo un plazo de 90 días para tomar una decisión [8] que culminará con un Decreto Supremo de aceptación o rechazo.

El período de vigencia de la concesión de exploración de energía geotérmica tendrá una duración de dos años, desde la fecha de entrada en vigencia de decreto de concesión y podrá por solo una vez ser extendido por dos años previa solicitud del concesionario al Ministerio de Energía, en los últimos 6 meses de vigencia.

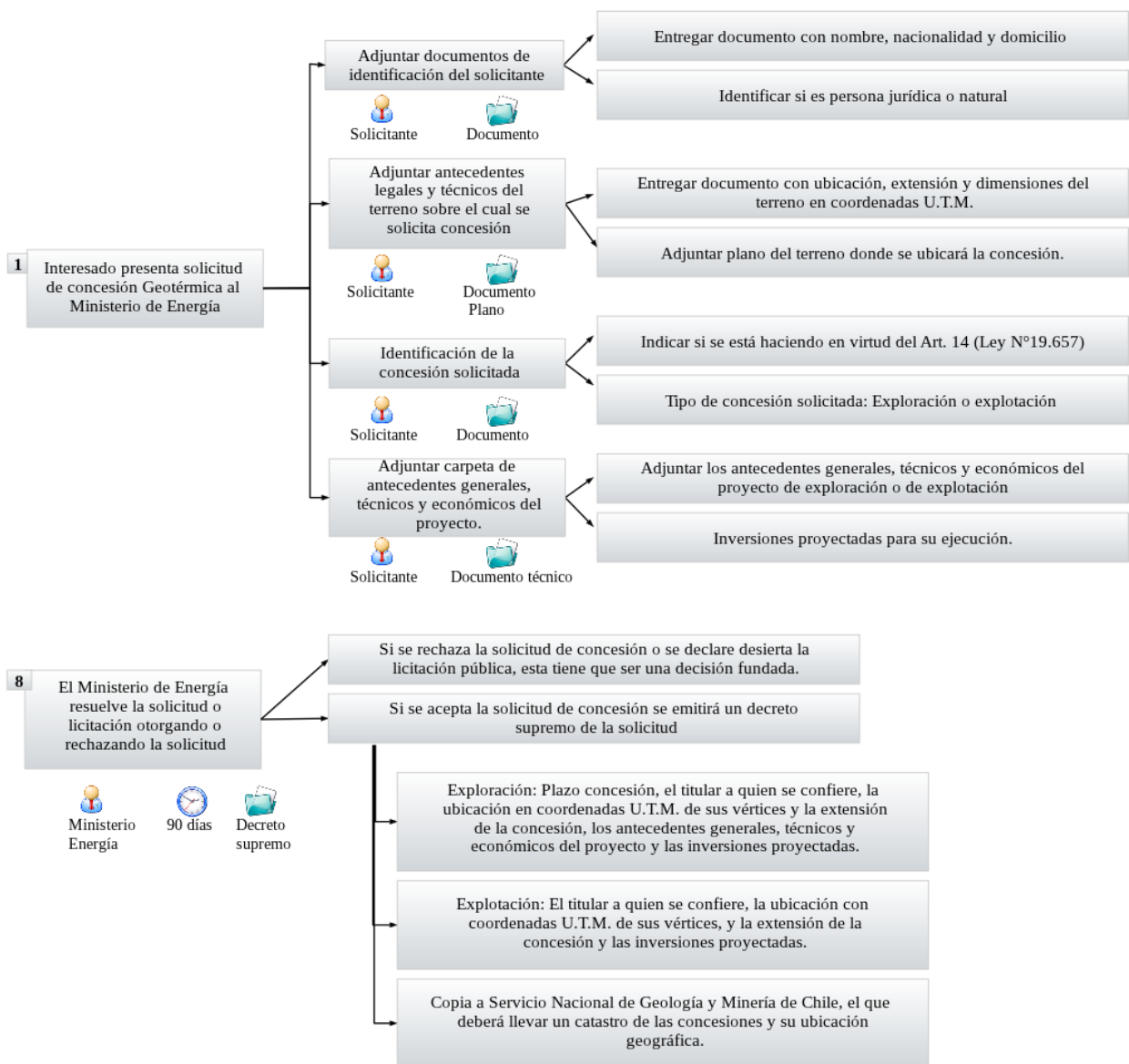


Figura 3.6: Fases de procedimiento para constituir una concesión de Energía Geotérmica.

## Comentarios

El proceso de adjudicación es un proceso que si bien no se ve complicado, reviste algunas aristas que lo hacen un trámite engorroso y no apropiado para gestionar las solicitudes de aprovechamiento geotérmico de baja entalpía.

El tiempo total como se puede apreciar en el diagrama de la Figura 3.5 es en el mejor de los casos, es decir, que no existan reclamaciones ni objeciones al proyecto, se estima un valor superior a 195 días hábiles que depende de la demora en ser publicada en el diario oficial. Según Saldivia (2011) las concesiones ya sea de exploración o de explotación se resuelven generalmente antes de los 450 días, que podría convertirse en un problema para proyectos de baja entalpía para calefacción residencial.

Una arista no menor es el costo del trámite, el cual no tiene costo alguno, excepto si se participa en una licitación pública donde el adjudicatario debe efectuar el pago del precio ofrecido por la concesión (Art. 17 Ley. N° 19.657), el cual corresponde a un porcentaje de la inversión comprometida en el proyecto, que es fijado por las bases de la licitación.

Los costos asociados al solicitante son los de las publicaciones en los diarios y emisoras radiales, como también la publicación del decreto mediante el cual se le otorgue o adjudique la concesión de exploración o explotación.

Pero sin duda el mayor punto de conflicto de esta normativa con el desarrollo de la geotermia de baja entalpía son las desproporcionadas exigencias que tendrían que cumplir este tipo de proyectos para poder completar los requisitos estipulados por el Decreto 32 (2004), que reglamenta la aplicación de la Ley N° 19.657 (2000).

En Chile existe esta normativa es insuficiente y no promueve ni potencia a este tipo de tecnologías. El Ministerio de Energía, consciente de lo desproporcionado de la Ley al ser aplicada a proyectos de baja entalpía está estudiando la creación de una Ley especial para la regulación de proyectos térmicos que utilicen la geotermia de baja entalpía (González, 2013).

En el país se han desarrollado proyectos geotérmicos de baja entalpía pero no han solicitado permisos de explotación ni de exploración, por lo mismo que se ha nombrado en los párrafos anteriores, el Ministerio de Energía toma consideración, pero para no frenar esta industria insipiente no realiza fiscalizaciones ni aplica algún tipo de sanciones, ya que, se conoce la desproporción de exigencias para proyectos de este tipo al ser evaluados con la Ley 19.657 (2000) (González, 2013).

La VDI 4640 (2001) realiza algunas consideraciones de diseño de proyectos verticales que se tienen que tomar en consideración para no afectar el medio ambiente. Una de ellas es la recomendación que no se tengan diferencias de temperaturas mayores de 11°C en funcionamiento normal y de 17°C para las demandas punta. Esta consideración va en el sentido de minimizar los efectos en la composición química de las aguas subterráneas y los efectos en la biosfera en la vecindad de la instalación del sistema. Otro punto que es importante de mencionar es el uso de agua glicolada en los sistemas verticales cerrados que eventualmente podrían contaminar aguas subterráneas de uso humano.

### 3.5 Conclusiones

La Ley sobre Concesiones de Energía Geotérmica (Ley N° 19.657) no hace diferencia entre Geotermia de baja o alta entalpía, teniendo que seguir los mismos procedimientos para ambas, lo que entorpece y conforma una barrera de entrada para proyectos de baja entalpía donde los tiempos son menores, como también las magnitudes son inferiores a proyectos de generación eléctrica.

Se puede decir también que para los proyectos de baja entalpía generalmente la fase de estudio de suelo es de menor tiempo y los estudios son de menor duración e impacto. No queda claro en la Ley si para hacer efectiva la concesión de explotación se tiene que haber pasado por una concesión de exploración, si este fuera el caso, se tendría un lapso de tiempo entre la concesión de exploración y la de explotación cercana a los 3 años.

Los costos asociados a los procesos de obtención de derechos de uso de Agua como los de las Concesiones Geotérmicas no tienen un costo asociado alto, siendo básicamente el pago de documentos y publicaciones en los medios oficiales, lo que no revierte una complicación extra en los procesos descritos. Pero si eventualmente se quisiera participar en un proceso de licitación de concesiones geotérmicas habría que contar con un capital inicial alto que constituye una gran barrera de entrada.

Podrían existir problemas con el uso del recurso de aguas subterráneas en algunas regiones del país, si bien, no existe prohibición de uso de agua en la Región Metropolitana, existe una restricción en casi todas sus comunas lo que podría eventualmente perjudicar esta tecnología y hacerla menos competitiva.

El trámite de derecho de aprovechamiento de aguas es más rápido y menos engorroso en comparación al trámite de concesión de energía geotérmica.

Se puede decir que será de utilidad el hacer una diferenciación entre proyectos de generación eléctrica (alta entalpía) y proyectos que aprovechan la inercia térmica de la tierra de baja entalpía para poder promocionar este tipo de tecnologías y eliminar ciertos tipos de barreras legales, como también poner en regla cómo se tiene que operar legalmente con este tipo de proyectos de forma expedita. Es importante que exista una normativa que regule a los proyectos geotérmicos de baja entalpía evaluando los impactos medio ambientales que tienen estos sistemas, que si bien son bajos, es recomendable normar su uso.

Los mapas de procesos entregados en este Capítulo permiten al solicitante de los derechos de utilización de aguas subterráneas, como de uso del recurso geotérmico conocer los pasos de este proceso identificando tiempos, documentos a entregar y referencias para un mayor detalle si lo requiere. Se puede comprobar que no existe información de fácil acceso de estos mapas por lo que se considera un aporte importante la presentación de éstos en la memoria.

## **4. CAPÍTULO IV: CONCLUSIONES FINALES**

### **4.1 Introducción al capítulo**

En el presente capítulo se presentan las conclusiones de la investigación, elaboradas con toda la información recopilada y generada en el estudio, se comentan los resultados obtenidos, la afirmación de la hipótesis, las contribuciones al conocimiento y se destaca cual es la relevancia práctica de la memoria. Se proponen algunas investigaciones futuras generadas de la inquietud sobre la profundización en alguna área de interés no abordada en este trabajo.

### **4.2 Resultados Obtenidos**

Como resultado de esta investigación se obtiene una metodología de diseño de dos sistemas geotérmicos de baja entalpía distintos, por medio del dimensionamiento del mismo en el programa RETScreen. Los dos sistemas geotérmicos de estudio son el sistema abierto con uso de agua subterránea y el sistema cerrado de pozo vertical en U. Al ser evaluados en tres tipologías distintas, variando su envolvente térmica, y en dos zonas de país imponiendo confort térmico, generan como resultado su dimensionamiento, y también gráficas comparativas de los 48 modelos geotérmicos propuestos. Las viviendas escogidas tienen una alta representación nacional llegando a valores cercanos al 75% de las viviendas en Puerto Montt y a un 47% de las viviendas en Santiago.

Se obtiene que para sistemas abiertos el caudal máximo requerido para cualquier vivienda de estudio fuera inferior a 0,7 l/s y que los sistemas de circuito vertical cerrado tengan pozos en promedio de 135 m para viviendas que cumplen la reglamentación de aislación térmica del 2007 y de 250 m para viviendas que no cumplen la reglamentación térmica.

El estudio tenía por objetivo la evaluación técnica y económica de ambos sistemas para la generación de calor, los cuales tienen dispares resultados, por un lado técnicamente los dos sistemas son realizables, teniendo como reparo para sistemas verticales cerrados en la ciudad de Puerto Montt, el tiempo de operación. Este supera a lo recomendable por la VDI 4640 (2001) para evitar una baja en la capacidad del suelo del pozo geotérmico de 2400 h anuales, esto se debe en parte al supuesto de 100% de utilización de la vivienda, generando en todas las horas del año una temperatura de confort de 19 °C.

También se puede afirmar que el sistema de distribución por medio de radiadores técnicamente no es la adecuada debido al alto número de equipos y a la excesiva área que tendrían que tener estos sistemas para cubrir la demanda en su momento más alto. Constructivamente es inviable la realización de la distribución por medio de radiadores en las viviendas de mayor demanda energética de esta investigación, por lo que se estudia otro sistema en base a Fan Coils que tiene mejores resultados obteniendo una disminución del área requerida en más de un 70% lo que constructivamente es una mejor solución. Es importante destacar que no se consideran las losas radiantes en el estudio debido al alto costo de implementar este sistema de distribución en viviendas ya construidas.

Económicamente se presentan evaluaciones y comparativas con otros sistemas de calefacción convencionales obteniendo que el sistema tiene un costo inicial muy alto,

básicamente por el alto costo de las perforaciones que se utilizan para desarrollar el sistema de intercambio de calor, ya sea, de pozos de extracción de agua o de pozos geotérmicos los que constituyen más del 80% del costo total del proyecto, lo que lo hace ser poco atractivo desde el punto de vista económico, independiente que los costos operacionales sean significativamente menores a sistemas convencionales.

La evaluación de estructuras tales como pozos o norias que puedan existir en la vivienda cobra sentido en la utilización del recurso geotérmico. Si el pozo está seco eventualmente se puede utilizar como *borehole*, teniendo como principal reparo que pocas personas estarían dispuestas a tapan el pozo pensando que podría volver a servir como pozo de extracción de agua, pero en es una opción válida que dependerá de la profundidad de éstos, convirtiéndose en una excelente alternativa. Si el pozo tiene agua puede servir para aprovechamiento de aguas subterráneas para su uso no consuntivo, disminuyendo los costos de instalación en un 40% teniendo que construir solamente el pozo de inyección.

El impacto económico de la inclusión de estructuras ociosas es alto y genera una muy buena alternativa que hace que estos sistemas puedan ser económicamente viables para calefacción de viviendas chilenas obteniendo el confort térmico.

Otro punto fundamental que complementa el estudio de factibilidad lo componen los aspectos legales que corresponden al estudio de las normativas vigentes, las cuales norman el uso del recurso geotérmico. Se generan en base a estas normativas los procedimientos legales para poder obtener un derecho de aprovechamiento del recurso geotérmico y se estudiaron dos casos generando dos mapas de procesos.

Se genera un mapa de procesos que corresponde al aprovechamiento del recurso geotérmico de forma directa, es decir, por medio de *borehole* al hacer circular un fluido a una temperatura por dentro de tuberías realizando el intercambio de calor directamente con la tierra, que corresponde al caso de estudio de sistemas verticales cerrados como se analizó durante toda la memoria, se estudian los procesos gestionados ante el Ministerio de Energía basados en la Ley 19.657 de Concesiones de Energía Geotérmica. También se analizan algunos aspectos de la nombrada Ley y se propone un tratamiento especial para la geotermia de baja entalpía, generando algunas exigencias que pudieran llegar a ser excesivas para la dimensión del proyecto, tomando en consideración lo poco invasivo que son estos sistemas comparados con sistemas geotérmicos de alta entalpía.

Para el estudio de los permisos que debieran ser solicitados para aprovechar el agua del subsuelo, que corresponde a como constituir derechos de aprovechamiento del recurso por medio de la solicitud de derechos de uso no consuntivo de agua, se estudia el Código de Aguas que norma el uso del recurso dependiente de la Dirección General de Aguas (DGA). Se presentan diagramas de flujo que permiten al interesado poder seguir una pauta de procesos en el cual se identifican los tiempos de cada punto, como también se muestran los documentos que hay que presentar en cada etapa y los responsables de cada fase. Se identifica el mayor punto de conflicto en este tipo de solicitudes que corresponde al tiempo total de la constitución de un derecho de agua. Estos derechos pueden demorar en promedio entre un año y un año y medio convirtiéndose en una arista a considerar cuando se realicen proyectos de este tipo y se soliciten derechos de uso de agua no consuntivo.

### 4.3 Comentarios sobre la hipótesis

Los sistemas geotérmicos de baja entalpía con bomba de calor aplicado a proyectos de calefacción, efectivamente se pueden construir en viviendas chilenas, y a la vez se puede alcanzar el confort térmico de 19°C, por medio de sistemas abiertos y cerrados. La principal barrera la constituye el costo inicial que corresponde en más de un 80% a la construcción del sistema intercambiador de calor, es decir, la perforación de los pozos que se requiera en cada uno de los casos.

Los análisis revelan los costos operacionales de cada uno de los sistemas de calefacción estudiados, obteniendo un costo operacional menor en los sistemas geotérmicos. Esto se debe a la alta eficiencia de este sistema, ya que, al utilizar bombas de calor eleva su eficiencia en cerca del 400%, por lo cual, constituye una gran alternativa a los sistemas convencionales de calefacción. Los altos costos iniciales asociados a la construcción del sistema colector, ya sea, de pozos de agua, como de *borehole* justifican la inclusión de estructuras ociosas que puedan bajar los costos de perforación, haciendo que se puedan disminuir los costos iniciales totales en cerca de un 40% con la integración de un pozo ya construido. Esta alternativa de aprovechamiento de los recursos disponibles, genera que el proyecto de calefacción basado en geotermia de baja entalpía pueda ser rentable en el tiempo y se pueda acercar su uso a las viviendas chilenas.

La hipótesis de factibilidad técnica, económica y legal de construcción de sistemas geotérmicos de baja entalpía, es corroborada. Técnicamente el sistema se demuestra que es factible de construir en las dos zonas de estudio, siendo los sistemas abiertos los que revisten una mejor alternativa cuando el requerimiento energético es alto. Económicamente el proyecto corre con desventaja debido a su alto costo de implementación, pero operacionalmente los costos son menores en los sistemas propuestos. Si el sistema disminuye sus costos iniciales se convierte en una excelente alternativa desde el punto de vista económico, ya que, anualmente genera ahorros del 54% promedio, al ser comparado con sistemas de calefacción convencionales.

Legalmente se verifica por medio del estudio de las normativas chilenas, que proyectos geotérmicos de baja entalpía son posibles de construir, al solicitar una concesión de exploración y de explotación para el sistema vertical cerrado, y la solicitud del derecho de uso no consuntivo de aguas subterráneas a través de la Dirección General de Aguas (DGA) para el sistema abierto. Es importante mencionar que estas leyes no son óptimas y requieren de un cambio profundo si se quiere potenciar el uso de esta tecnología.

### 4.4 Contribuciones al conocimiento

Una de las principales contribuciones al conocimiento es la integración constructiva de estructuras de bajo uso u ociosas en el diseño de los sistemas geotérmicos ya descritos. Esta integración constructiva permite dar uso a estructuras ociosas como pozos o norias propiciando un aprovechamiento de éstas en los sistemas térmicos propuestos. Se pueden obtener resultados muy auspiciosos con la utilización de estas estructuras en los diseños geotérmicos, llegando a disminuir cerca de un 40% del costo total si el pozo es un pozo de agua donde se pueda extraer el caudal necesario para el funcionamiento de este sistema, que en ningún caso del estudio superaba los 0,7 l/s.

Los mapas de procesos permiten transparentar los pasos a seguir para solicitar permisos de uso del recurso geotérmico en Chile, en particular para usos de la geotermia de baja entalpía. La contribución al conocimiento desde el punto de vista legal se basa en la identificación de la falencias de la actual normativa, el en caso de la ley de Concesiones Geotérmicas se verifica que no existe diferenciación para proyectos de alta entalpía y proyectos de baja entalpía, lo que genera que los requisitos técnicos para la presentación de los proyectos sea excesiva. El tiempo requerido para resolver las solicitudes en el mejor de los casos de más de 200 días hábiles.

Para los derechos uso de agua no consuntivo, la principal falencia mostrada en los mapas de procesos, es el excesivo tiempo que se demora la DGA en otorgar una resolución, siendo cercano al año y medio como promedio.

La recomendación permite a la autoridad competente mostrar una tecnología insipiente en el país dejando en claro que las normativas no son eficientes y no potencian esta energía para uso residencial. Si bien es necesario establecer una nueva normativa es importante verificar que esta cumpla con algunos estándares internacionales para cuidar el medio ambiente por ejemplo con la regulación de fluidos glicolados inyectados en circuito cerrado vertical, o los rangos de temperatura de operación.

#### **4.5 Relevancia práctica**

La principal relevancia es la generación de metodologías de diseño aplicadas a viviendas chilenas representativas de la realidad nacional identificando los pasos y componentes del sistema geotérmico completo, mostrando una tecnología poco usada en el país con la inclusión de alternativas que disminuyen los costos iniciales.

Los estudios técnico y económico muestran la factibilidad de desarrollo de proyectos geotérmicos de baja entalpía en viviendas para dos ciudades del país y su viabilidad en el tiempo, tomando las situaciones más comunes para obtener una buena representación. Permite al interesado en construir un sistema de estas características, tener una referencia técnica y económica de la implementación de los sistemas geotérmicos descritos y su eficiencia.

El desarrollo de la memoria entrega metodologías de diseño de dos sistemas geotérmicos de baja entalpía, como también permite luego de una evaluación general tomar algunas decisiones en factibilidad con un mejor respaldo.

El desarrollo de la memoria permite dar uso a estructuras ociosas propiciando un aprovechamiento de éstas en los sistemas térmicos propuestos, teniendo un doble fin, dar uso a estas estructuras que eventualmente están sub-utilizadas reduciendo considerable los costos iniciales del proyecto.

La investigación entrega comparativas de variados sistemas, pudiendo a través de estos decidir cuál es el más apropiado para cada caso, las comparativas que se exponen son de los sistemas de distribución de calor dentro de la vivienda, siendo estos los radiadores convencionales que tienen un mejor desempeño en viviendas de buena aislación térmica y los Fan Coil que son una buena alternativa cuando los requerimientos son altos, ya que, tienen una menor superficie necesaria y número de equipos que el sistema de radiadores. También



comparaciones entre distintos sistemas de calefacción convencional, e incluso comparativas de los dos sistemas geotérmicos descritos.

#### **4.6 Futuras investigaciones**

Esta sección tiene por objetivo proponer futuras investigaciones nacidas del desarrollo de la memoria, y son expuestas a modo de apoyo y complemento al estudio realizado.

La presente investigación da pie para la realización de un proyecto real interviniendo una vivienda tipo chilena, se insta a realizar la experiencia de desarrollar el sistema completo midiendo las pérdidas de calor de la casa, dimensionando el sistema geotérmico y el de distribución, para después realizar la intervención de la vivienda midiendo con datos reales, costos iniciales y de operación, como también las distintas eficiencias de los equipos.

Se propone el estudio de otros sistemas geotérmicos de baja entalpía, como el de intercambiador de calor horizontal y los sistemas de intercambiador de calor híbridos, donde se utilizan al máximo los recursos disponibles tales como lagos, piscinas o algún río o canal que se pudiera tener al alcance. Reduciendo eventualmente los costos iniciales del proyecto al combinar más de algún tipo de colector en el mismo sistema.

Se propone realizar la evaluación de los sistemas geotérmicos propuestos, suponiendo un porcentaje de utilización de la vivienda basado en las horas típicas de uso diario. Se podrá suponer que las temperaturas de confort térmico solo se llegan a ciertas horas del día, que efectivamente son las horas donde se utiliza el hogar, logrando disminuir la cantidad de horas de funcionamiento del sistema y por consiguiente el costo de operación de éste.

Se sugiere realizar estudios de sistemas colectivos, es decir, evaluar este tipo de sistemas de calefacción geotérmica en un grupo de viviendas o en edificios de departamentos. Del análisis de los datos obtenidos se desprende que el principal costo inicial es el del sistema de intercambiador de calor geotérmico. Se obtuvo que en sistemas abiertos el costo de los pozos constituye cerca del 80 % del costo total inicial, pero la misma estructura podría satisfacer una demanda más alta solo extrayendo un caudal mayor, es decir, que varias viviendas podrían eventualmente ser calefaccionadas por este sistema si se extrae el caudal necesario para satisfacer los requerimientos de este conjunto de viviendas.

#### **4.7 Conclusiones generales**

La investigación que nace de la inquietud de buscar alternativas energéticas, al mayor gasto de energía en las viviendas chilenas que es la calefacción, y el constante sacrificio del confort térmico genera la búsqueda de sistemas eficientes. Los sistemas geotérmicos de baja entalpía son muy usados en países con un alto desarrollo siendo altamente eficientes, por lo cual, se evalúan estos sistemas basados en la realidad chilena con el objeto de verificar técnica, económica y legalmente si es factible construir sistemas geotérmicos de baja entalpía en el país.

El estudio arroja como resultados que técnicamente es viable de construir estos sistemas y que constituyen una buena alternativa si se quiere alcanzar el confort térmico dentro de las viviendas chilenas, económicamente tiene un costo inicial muy alto que en más de un 80% se explica por las perforaciones de los pozos geotérmicos, por lo cual, se evalúan y proponen utilizar estructuras llamadas ociosas, que corresponden a pozos o norias que eventualmente se encuentren cercanos a la vivienda, pudiendo ser utilizados independiente si el pozo está seco o con agua reduciendo los costos en hasta un 40% del costo inicial total. Convirtiéndose en una alternativa económicamente competitiva comparándola con sistemas convencionales de calefacción convencionales en las dos ciudades de estudio.

Para viviendas bien aisladas el gasto energético es bajo, y es donde se obtienen los mejores rendimientos de los sistemas geotérmicos de baja entalpía de circuito cerrado, llegando a valores cercanos a los costos de instalación del sistema con uso de pozos de agua. Este es un buen sistema que se independiza del recurso hídrico del subsuelo, y por lo mismo es uno de los sistemas más utilizados en Estados Unidos. Pero solo se hace rentable si la demanda de calor es baja ya que, afecta directamente a la profundidad de los pozos.

Los sistemas abiertos con uso de aguas subterráneas se presentan como la mejor alternativa económica si es que existe el recurso hídrico en el subsuelo. Eventualmente es el sistema que pudiera tener los menores costos asociados a la construcción de los pozos, dependiendo de la profundidad de donde se extraiga el agua.

Para el desarrollo en el país de esta tecnología las leyes cumplen un rol fundamental, y en este sentido se identifica que la ley actual sobre concesiones geotérmicas es insuficiente, ya que, no realiza diferencias entre proyectos de alta y de baja entalpía, teniendo las mismas exigencias legales para cada una de ellas. Para los proyectos geotérmicos de baja entalpía son excesivos los requisitos como también son excesivos los tiempos que están involucrados en cada uno de los pasos para constituir un derecho de aprovechamiento del recurso geotérmico. Se insta a realizar una modificación a la Ley N°19.657 sobre concesiones geotérmicas o bien realizar una nueva Ley que permita potenciar el desarrollo de la geotermia de baja entalpía en Chile, donde se hagan diferencias entre proyectos energéticos de alta entalpía y proyectos térmicos de baja entalpía y se regulen las exigencias que tendrán que tener estos proyectos.

Como conclusión final se puede decir que esta tecnología insipiente en el país necesita una normativa que facilite la obtención de derechos de aprovechamiento del recurso geotérmico, esta una energía limpia y muy eficiente que tiene una fuerte inagotable de energía. Es una buena alternativa a los sistemas convencionales de calefacción residencial y tiene un costo operacional menor.

Es necesario continuar con esta naciente industria y este tipo de estudios, para poder disminuir los costos con integración constructiva y con algún tipo de promoción a las nuevas tecnologías por parte del Estado de Chile.

## 5. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Centro de Energías Renovables (CER). 2011. “Driving up the potential of geothermal energy in Chile”. Ministerio de Energía, Chile. pp. 4.

Centro de Información de Recursos Hídricos (CIRH), 2013. “Discusión sobre tiempos de procesos legales de solicitud de derechos de aguas de uso no consuntivo”. [Entrevista personal con Cristian Seguel, Jefe de Área de Sistemas y TI] (Comunicación personal, 3 mayo 2013)

Corporación de Desarrollo Tecnológico de la Cámara Chilena de la Construcción (CDT). 2010. “Estudios de usos finales y curva de la conservación de la energía en el sector residencial”. Chile, 15 septiembre. [Pdf] Disponible en: <<http://www.minenergia.gob.cl/documentos/estudios/estudio-de-usos-finales-y-curva-de.html>> [Consultado 20 marzo de 2012]

Chapple, P., 2008. “Confort térmico en las viviendas”, Revista BIT. Sumario 61, pp. 38-41. Chile, julio 2008.

Código de Aguas, 1981. Ministerio de Justicia, Chile.

de Miguel, I., 2008. Geotermica-Chale [image online] Disponible en: <<http://www.biocarburante.com/category/energia-geotermica/>> [Consultado 24 abril 2013]

De Moel, M., Bach, P., Bouazza, A., Singh, R., M. Sun, J., 2010. “Technological advances and applications of geothermal Energy pile foundations and their feasibility in Australia”. Renewable and Sustainable Energy Reviews 14, 2638-2696. Australia.

Decreto Supremo 32, 2004. Aprueba reglamento para la aplicación de la Ley N° 19.657 sobre concesiones de exploración de energía geotérmica. Ministerio de Minería, Chile.

Decreto Supremo 47, 2006. “Modificación Ordenanza General de la Ley General de Urbanismo y Construcciones”, Ministerio de la Vivienda y Urbanismo, Chile.

[Detalles técnicos: Bomba de calor] n.d. [imagen en línea] Disponible en: <<http://www.dimplex.de/es/profesional/detalles-tecnicos/bombas-de-calor/el-funcionamiento-de-una-bomba-de-calor.html>> [Consultado 20 abril 2013].

Deutsche Energie-Agentur (DENA), 2013. “Geothermal Energy”. [en línea] Disponible en: <<http://www.renewables-made-in-germany.com/en/renewables-made-in-germany-start/geothermal/geothermal-energy/overview.html>> [Consultado 24 abril 2013].

Dirección General de Aguas (DGA), 2013. “Restricciones a los derechos de Agua”. [en línea] Disponible en: <<http://www.arcgis.com/apps/OnePane/basicviewer/index.html?appid=1f120f5a187149e0a0a30c4ab144ddae>> [Consultado 24 abril 2013].

Energylab, 2011a. “Modulo 5: 5.1-Bomba de calor”, Diseño de Proyectos de BCG. Centro Tecnológico de Eficiencia y Sostenibilidad Energética. Santiago de Chile, julio.

Energylab, 2011b. “Modulo 5: 5.3-Sistemas de distribución”, Diseño de Proyectos de BCG. Centro Tecnológico de Eficiencia y Sostenibilidad Energética. Santiago de Chile, julio.

Fischer, M., 2006. “Formalizing Construction Knowledge for Concurrent Performance based Design.” 13<sup>th</sup> EG-ICE Workshop: Intelligent Computing in Engineering and Architecture, Ascona, Switzerland, 25-30 Junio, 186-205.

Geo-Heat Center, 2001. “Geothermal heat pump”. Vol.2, N°1 Oregon Institute of Technology.

González, L. 2013. “Entrevista sobre aspectos legales y técnicos del desarrollo de proyectos de energía geotérmica de baja entalpía desde el Ministerio de Energía. [Entrevista personal, Profesional división energías renovables, Ministerio de energía] (Comunicación personal, 4 abril 2013)

Guggisberg, G., 2012. “Perfeccionamiento del equipo thermal response test y estudio de rendimientos térmicos para el diseño de un sistema geotérmico de baja entalpía en sistemas de entibación”, Memoria para optar al título de Ingeniero Civil. Universidad de Chile.

Guimaraens, M., 2012. Reunión sobre pozos de agua en Chile. [Conversación]. (Comunicación personal, 28 septiembre 2012). (Gerente de división hidrogeológica Compañía Chilena de Perforaciones Ltda.)

Grundfos, 2008. “Sistemas de Calefacción para viviendas”, Manual de Instalador. España.

Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDEA), 2010. “Guía técnica 14: Diseño de sistemas de bomba de calor”. Madrid, España.

Instituto de la Construcción, 2006. “Manual de aplicación Reglamentación Térmica: Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones, Artículo 4.1.10”. Ministerio de Vivienda y Urbanismo, Chile.

Ley N° 19.657, 2000. “Sobre concesiones de energía geotérmica”. Ministerio de Minería, Chile.

Ley N° 20.017, 2005. “Modifica el código de Aguas”, Ministerio de Obras Públicas, Chile.

Llopis, G. Rodrigo, V., 2008. “Guía de la Energía Geotérmica” Fundación de la Energía de la Comunidad de Madrid y Energy Management Agency (UE). Pp 25. Madrid, España.

Lund, J. Sanner, B. Rybach, L. Curtis, R. Hellström, G., 2004. “Geothermal (Ground-Source) Heat Pumps a World Overview”. Geo-Heat Center. Oregon Institute of Technology, USA.

Ministerio de Energía, 2012. Solicitud N° AU002W-000048, Gobierno transparente, Subsecretaría Ministerio de Energía. 12 Diciembre.

Ministerio de Obras Públicas (MOP), 2013. “Discusión sobre aspectos legales de solicitud de aprovechamiento y constitución de derechos de aguas de uso no consuntivo”. [Entrevista personal con División Legal del Ministerio de Obras Públicas” (Comunicación personal, 3 mayo 2013).

Muñoz, M., 2011. “Implementación de Pilas de entibación y sus Anclajes para el aprovechamiento geotérmico”, Memoria para optar al título de Ingeniero Civil. Universidad de Chile.

Palma, R., 2007. “Impacto e implementación de la nueva reglamentación térmica en la construcción de viviendas”, Trabajo de título para optar al título de Ingeniero Constructor. Universidad de la Frontera.

Peirano, J., 2009. “Diseño de una red geotérmica de distribución de calor para el municipio de Coñaripe, X región”. Memoria para optar al título de Ingeniero Civil Mecánico, Universidad de Chile.

Pinto, P. Castillo, B. Orellana, E. Romero, M., 2012. “Los problemas para fiscalizar el uso del agua en Chile”. Ruta de la sustentabilidad, La Segunda, 31 Octubre, pp. 4-6.

Pirazzoli, A., 2008. “Energías renovables no convencionales: incentivos regulatorios para la diversificación de la matriz energética en Chile”. Memoria para optar al grado académico de licenciado en ciencias jurídicas y sociales. Universidad de Chile.

Rosa, R., 2009. “Diseño de intercambiador geotérmico horizontal cerrado para bomba de calor geotérmica aplicada en la calefacción de una edificación con uso de oficina, en Puerto Montt”, Memoria para optar al título de Ingeniero Constructor. Universidad Austral de Chile.

RETScreen, 2005. “Clean Energy Project Analysis: RETScreen Engineering & Cases”. Ground-Source Heat Pump Project Analysis Chapter. Ministerio de Recursos Naturales, Canadá.

Román, R. 2012. “Retscreen: Un programa para Sistemas Energéticos”, Guía para el uso de Retscreen. Universidad de Chile, Mayo.

Saldivia, M., 2011. “Barreras de entrada a la geotermia en Chile”, Taller de memoria: Instrumentos para la elaboración de una política energética sustentable. Proyecto FONDECYT.

VEREIN DEUTSCHER INGENIEURE (VDI) 4640, 2001. “Thermal use of the underground – VDI 4640 part 2 - Ground source heat pump systems”. Beuth Verlag, Berlin. Germany.

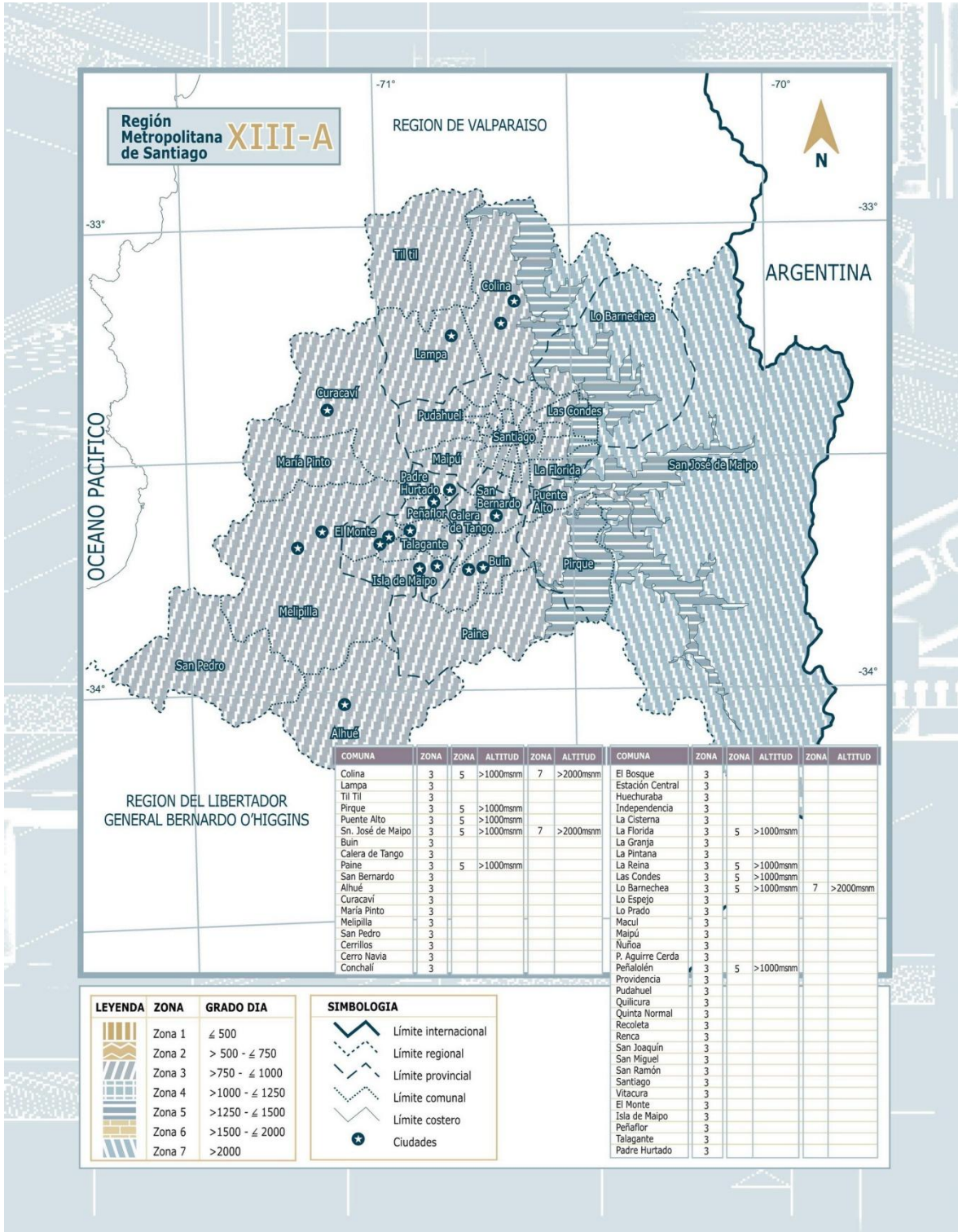
VEREIN DEUTSCHER INGENIEURE (VDI) 4640, 2010. “Thermal use of the underground – VDI 4640 part 1 – Fundamentals, approvals, environmental aspect”. Beuth Verlag, Berlin. Germany.

Wunderground, 2012. “Historia de Santiago/Puerto Montt, Chile” [online] Disponible en: <<http://www.wunderground.com>> [Consultado 3 diciembre 2012].

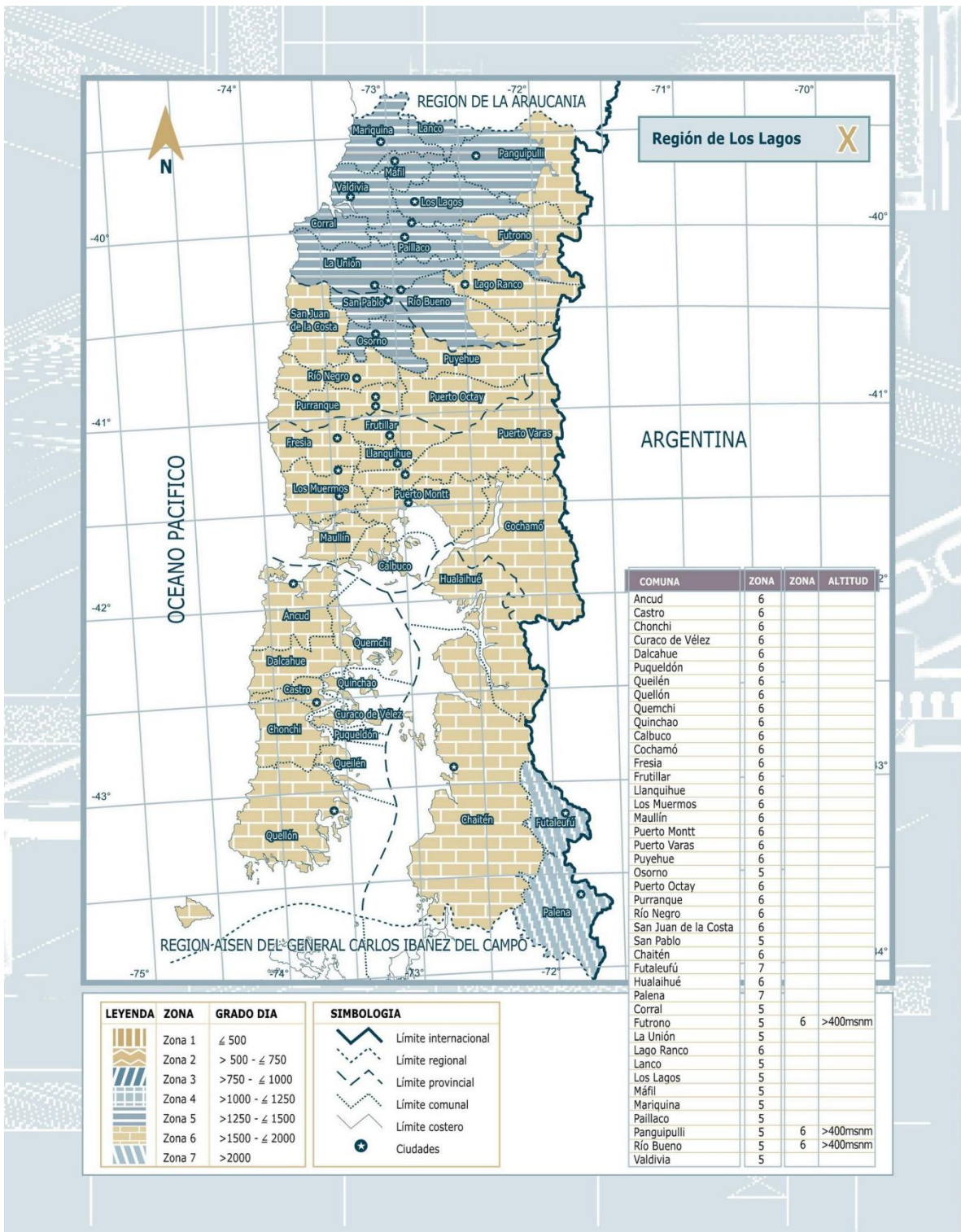
Zomosa, A., 1993. “Manual de proyectos de ingeniería química”, Segunda edición. Santiago, Chile, 618 p..

ANEXOS

ANEXO A: Planos de Zonificación Térmica



Anexo A.1: Plano zonificación térmica Región Metropolitana (Instituto de la Construcción, 2006).



Anexo A.2: Plano zonificación térmica Región de los Lagos (Instituto de la Construcción, 2006).

## ANEXO B: Antecedentes meteorológicos

RETScreen

País - Región: Chile

Provin./Estado: n/a

Ubicación de datos climáticos: Pudahue/Arturo Mer

Latitud: °N -33,4

Longitud: °E -70,8

Elevación: m 474

Temperatura de diseño de la calefacción: °C 0,0

Temperatura de diseño del aire acondicionado: °C 30,7

Amplitud de la temperatura del suelo: °C 21,2

Fuente: Suelo

	Temperatura del aire °C	Humedad relativa %	Radiación solar diaria - horizontal kWh/m²/d	Presión atmosférica kPa	Velocidad del Viento m/s	Temperatura del suelo °C	Días-grado de calentamiento °C-d	Días-grado de enfriamiento °C-d
Ene	20,8	54,5%	7,89	83,1	3,5	21,8	0	335
Feb	20,2	58,0%	6,96	83,1	3,2	20,9	0	286
Mar	18,2	62,6%	5,46	83,1	2,7	17,9	0	254
Abr	14,5	69,7%	3,67	83,1	2,1	12,1	105	135
May	10,7	78,7%	2,42	83,1	1,7	7,0	226	22
Jun	8,8	83,0%	1,88	83,1	1,7	3,9	276	0
Jul	8,0	83,0%	2,22	83,1	1,7	2,5	310	0
Ago	9,6	80,5%	2,93	83,2	1,9	4,2	260	0
Sep	11,7	76,1%	4,17	83,1	2,3	7,4	189	51
Oct	14,6	69,0%	5,75	83,1	2,7	12,3	105	143
Nov	17,3	61,2%	7,29	83,1	3,2	16,6	21	219
Dic	19,7	55,9%	7,91	83,1	3,4	20,3	0	301
Anual	14,5	69,4%	4,87	83,1	2,5	12,2	1.493	1.745
Fuente	Suelo	Suelo	Suelo	NASA	Suelo	NASA	Suelo	Suelo

Medido a: m 10

Anexo B.1: Datos meteorológicos Santiago (Base de datos RETScreen).

RETScreen

País - Región: Chile

Provin./Estado: n/a

Ubicación de datos climáticos: Puerto Montt/Tepual

Latitud: °N -41,4

Longitud: °E -73,1

Elevación: m 90

Temperatura de diseño de la calefacción: °C -0,9

Temperatura de diseño del aire acondicionado: °C 21,2

Amplitud de la temperatura del suelo: °C 11,2

Fuente: Suelo

	Temperatura del aire °C	Humedad relativa %	Radiación solar diaria - horizontal kWh/m²/d	Presión atmosférica kPa	Velocidad del Viento m/s	Temperatura del suelo °C	Días-grado de calentamiento °C-d	Días-grado de enfriamiento °C-d
Ene	14,3	78,9%	5,59	98,6	3,2	14,4	115	133
Feb	14,1	80,4%	5,31	98,6	3,1	14,8	109	115
Mar	12,5	84,0%	3,51	98,6	2,9	12,8	171	78
Abr	10,3	87,8%	2,36	98,6	3,0	9,9	231	9
May	8,8	90,2%	1,39	98,5	3,5	8,0	285	0
Jun	7,2	90,9%	1,01	98,4	3,7	6,4	324	0
Jul	6,6	89,9%	1,21	98,6	3,6	5,7	353	0
Ago	7,2	87,8%	1,92	98,7	3,6	6,4	335	0
Sep	8,3	84,7%	2,79	98,8	3,5	7,5	291	0
Oct	9,7	82,8%	3,72	98,7	3,4	9,4	257	0
Nov	11,5	80,5%	4,70	98,7	3,2	11,1	195	45
Dic	13,3	79,3%	5,33	98,6	3,2	13,0	146	102
Anual	10,3	84,8%	3,23	98,6	3,3	9,9	2.812	482
Fuente	Suelo	Suelo	Suelo	NASA	Suelo	NASA	Suelo	Suelo

Medido a: m 10

Anexo B.2: Datos meteorológicos Puerto Montt (Base de datos RETScreen).



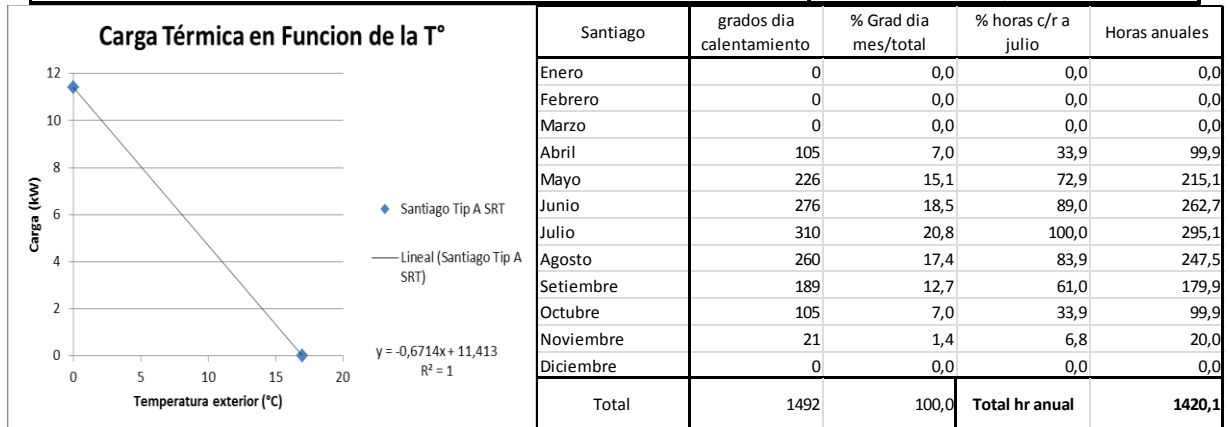






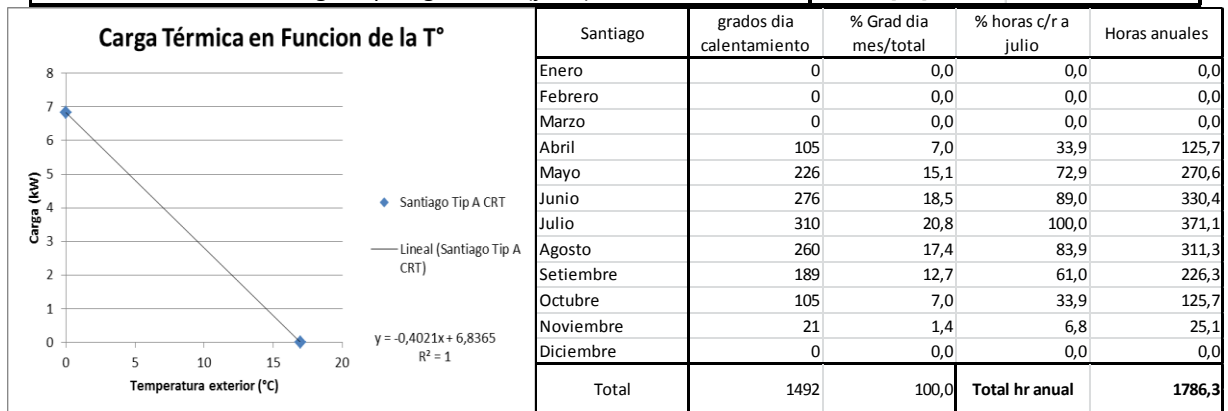
### ANEXO D: Cálculo horas de funcionamiento de sistema geotérmico

Rango T (°C)	Carga Edificio (kW)	Potencia Bomba de Calor (kW)	Fracción marcha	Bin hours	Horas Marcha
-4	14,10	16,8	0,84	1	0,8
-3	13,43	16,8	0,80	2	1,6
-2	12,76	16,8	0,76	12	8,9
-1	12,08	16,8	0,72	20	14,6
0	11,41	16,8	0,68	36	24,2
1	10,74	16,8	0,64	42	26,9
2	10,07	16,8	0,60	40	23,8
3	9,40	16,8	0,56	48	27,0
4	8,73	16,8	0,52	36	18,5
5	8,06	16,8	0,48	55	26,2
6	7,38	16,8	0,44	62	27,3
7	6,71	16,8	0,40	59	23,6
8	6,04	16,8	0,36	57	20,4
9	5,37	16,8	0,32	47	15,1
10	4,70	16,8	0,28	38	10,7
11	4,03	16,8	0,24	40	9,6
12	3,36	16,8	0,20	33	6,7
13	2,68	16,8	0,16	29	4,6
14	2,01	16,8	0,12	21	2,6
15	1,34	16,8	0,08	18	1,4
16	0,67	16,8	0,04	15	0,6
17	0	16,8	0	12	0
18	0	16,8	0	6	0
19	0	16,8	0	6	0
20	0	16,8	0	3	0
21	0	16,8	0	3	0
22	0	16,8	0	1	0
23	0	16,8	0	2	0
24	0	16,8	0	1	0
25	0	16,8	0	1	0
Santiago, Tipología A SRT (julio)				TOTAL [hr]	295,1



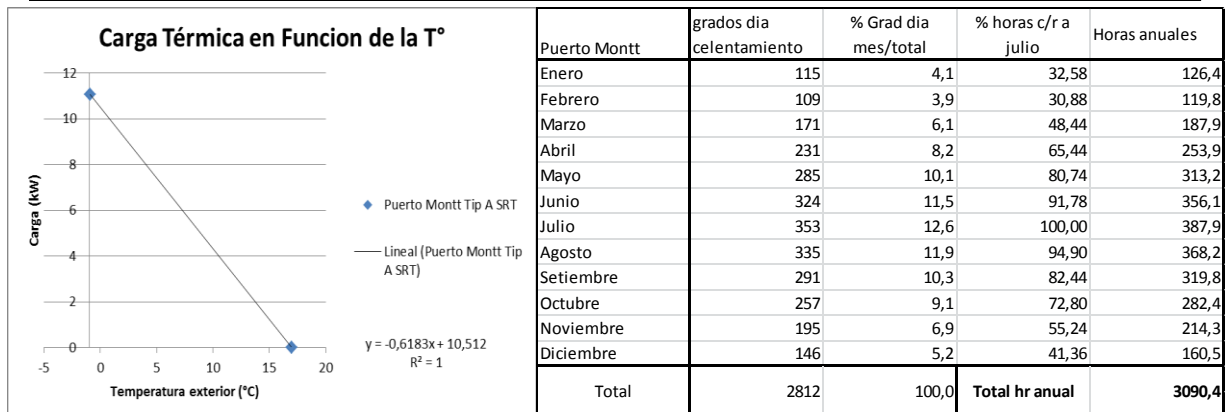
Anexo D.1: Horas de Funcionamiento Sistema Geotérmico Tip A, SRT, Santiago (Modelos 1, 2, 3, 4)

Rango T (°C)	Carga Edificio (kW)	Potencia Bomba de Calor (kW)	Fracción marcha	Bin hours	Horas Marcha
-4	8,44	8	1,00	1	1,0
-3	8,04	8	1,00	2	2,0
-2	7,64	8	0,96	12	11,1
-1	7,24	8	0,90	20	18,4
0	6,84	8	0,85	36	30,5
1	6,43	8	0,80	42	33,8
2	6,03	8	0,75	40	29,9
3	5,63	8	0,70	48	34,0
4	5,23	8	0,65	36	23,3
5	4,83	8	0,60	55	33,0
6	4,42	8	0,55	62	34,3
7	4,02	8	0,50	59	29,7
8	3,62	8	0,45	57	25,6
9	3,22	8	0,40	47	19,0
10	2,82	8	0,35	38	13,5
11	2,41	8	0,30	40	12,1
12	2,01	8	0,25	33	8,4
13	1,61	8	0,20	29	5,8
14	1,21	8	0,15	21	3,2
15	0,81	8	0,10	18	1,8
16	0,40	8	0,05	15	0,7
17	0	8	0	12	0
18	0	8	0	6	0
19	0	8	0	6	0
20	0	8	0	3	0
21	0	8	0	3	0
22	0	8	0	1	0
23	0	8	0	2	0
24	0	8	0	1	0
25	0	8	0	1	0
Santiago, Tipología A CRT (julio)				TOTAL [hr]	371,1



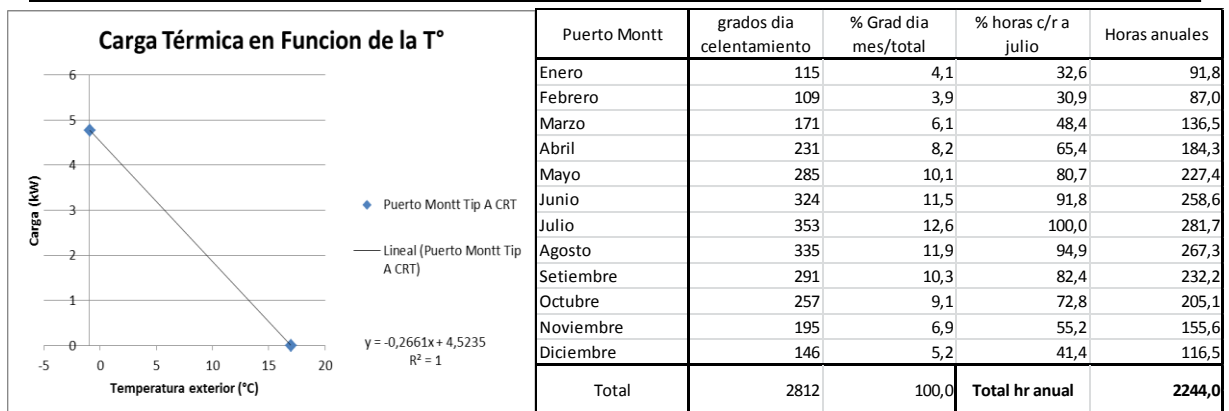
Anexo D.2: Horas de Funcionamiento Sistema Geotérmico Tip A, CRT, Santiago (Modelos 5, 6, 7, 8)

Rango T (°C)	Carga Edificio (kW)	Potencia Bomba de Calor (kW)	Fracción marcha	Bin hours	Horas Marcha
-4	12,99	13,5	0,96	1	1,0
-3	12,37	13,5	0,92	8	7,3
-2	11,75	13,5	0,87	18	16,0
-1	11,13	13,5	0,82	27	22,5
0	10,51	13,5	0,78	29	22,3
1	9,89	13,5	0,73	30	21,7
2	9,28	13,5	0,69	39	26,8
3	8,66	13,5	0,64	43	27,6
4	8,04	13,5	0,60	66	39,1
5	7,42	13,5	0,55	62	33,9
6	6,80	13,5	0,50	75	38,0
7	6,18	13,5	0,46	87	39,7
8	5,57	13,5	0,41	95	39,0
9	4,95	13,5	0,37	72	26,3
10	4,33	13,5	0,32	51	16,2
11	3,71	13,5	0,27	25	6,9
12	3,09	13,5	0,23	11	2,4
13	2,47	13,5	0,18	6	1,0
14	1,856	13,5	0,14	1	0,2
Puerto Montt, Tipología A SRT (julio)				TOTAL [hr]	387,9



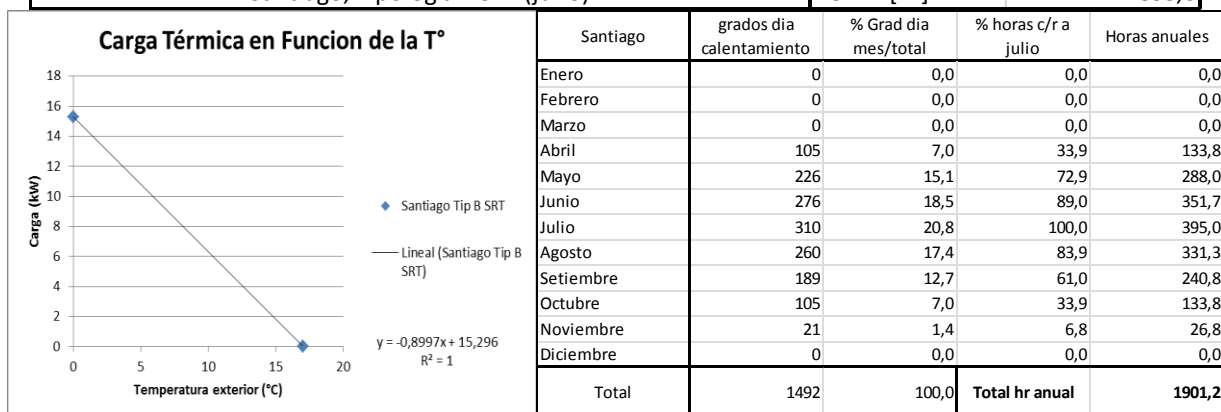
Anexo D.3: Horas de Funcionamiento Sistema Geotérmico Tip A, SRT, Puerto Montt (Modelos 9, 10, 11, 12)

Rango T (°C)	Carga Edificio (kW)	Potencia Bomba de Calor (kW)	Fracción marcha	Bin hours	Horas Marcha
-4	5,59	8	0,70	1	0,7
-3	5,32	8	0,67	8	5,3
-2	5,06	8	0,63	18	11,6
-1	4,79	8	0,60	27	16,4
0	4,52	8	0,57	29	16,2
1	4,26	8	0,53	30	15,8
2	3,99	8	0,50	39	19,5
3	3,73	8	0,47	43	20,0
4	3,46	8	0,43	66	28,4
5	3,19	8	0,40	62	24,6
6	2,93	8	0,37	75	27,6
7	2,66	8	0,33	87	28,8
8	2,39	8	0,30	95	28,3
9	2,13	8	0,27	72	19,1
10	1,86	8	0,23	51	11,8
11	1,60	8	0,20	25	5,0
12	1,33	8	0,17	11	1,8
13	1,06	8	0,13	6	0,8
14	0,80	8	0,10	1	0,1
Puerto Montt, Tipología A CRT (julio)				TOTAL [hr]	281,7



Anexo D.4: Horas de Funcionamiento Sistema Geotérmico Tip A, CRT, Puerto Montt (Modelos 13, 14, 15, 16)

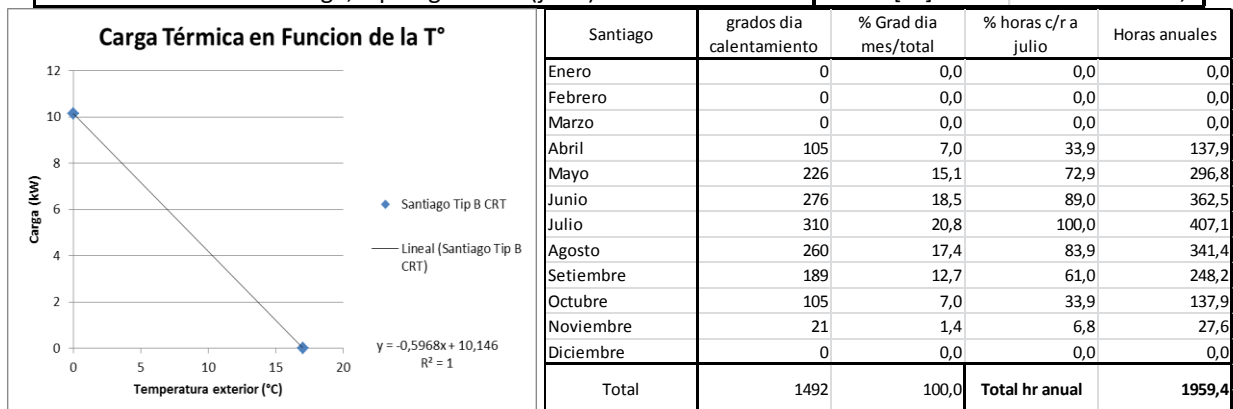
Rango T (°C)	Carga Edificio (kW)	Potencia Bomba de Calor (kW)	Fracción marcha	Bin hours	Horas Marcha
-4	18,89	16,8	1,00	1	1,0
-3	18,00	16,8	1,00	2	2,0
-2	17,10	16,8	1,00	12	11,7
-1	16,20	16,8	0,96	20	19,6
0	15,30	16,8	0,91	36	32,5
1	14,40	16,8	0,86	42	36,0
2	13,50	16,8	0,80	40	31,9
3	12,60	16,8	0,75	48	36,2
4	11,70	16,8	0,70	36	24,8
5	10,80	16,8	0,64	55	35,1
6	9,90	16,8	0,59	62	36,5
7	9,00	16,8	0,54	59	31,6
8	8,10	16,8	0,48	57	27,3
9	7,20	16,8	0,43	47	20,3
10	6,30	16,8	0,37	38	14,4
11	5,40	16,8	0,32	40	12,9
12	4,50	16,8	0,27	33	8,9
13	3,60	16,8	0,21	29	6,2
14	2,70	16,8	0,16	21	3,4
15	1,80	16,8	0,11	18	1,9
16	0,90	16,8	0,05	15	0,8
17	0	16,8	0	12	0
18	0	16,8	0	6	0
19	0	16,8	0	6	0
20	0	16,8	0	3	0
21	0	16,8	0	3	0
22	0	16,8	0	1	0
23	0	16,8	0	2	0
24	0	16,8	0	1	0
25	0	16,8	0	1	0
Santiago, Tipología B SRT (julio)				TOTAL [hr]	395,0



Anexo D.5: Horas de Funcionamiento Sistema Geotérmico Tip B, SRT, Santiago (Modelos 17, 18, 19, 20)

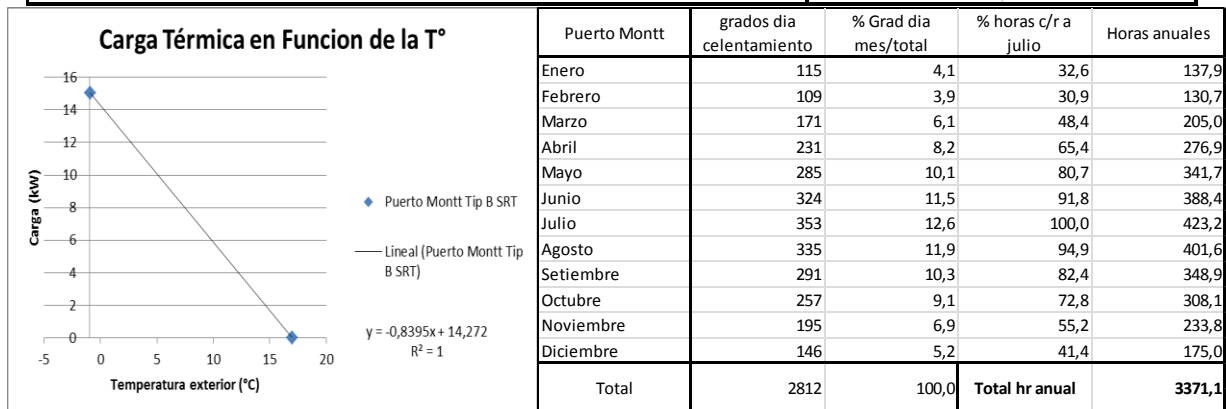


Rango T (°C)	Carga Edificio (kW)	Potencia Bomba de Calor (kW)	Fracción marcha	Bin hours	Horas Marcha
-4	12,53	10,8	1,00	1	1,0
-3	11,94	10,8	1,00	2	2,0
-2	11,34	10,8	1,00	12	11,7
-1	10,74	10,8	0,99	20	20,2
0	10,15	10,8	0,94	36	33,5
1	9,55	10,8	0,88	42	37,1
2	8,95	10,8	0,83	40	32,9
3	8,36	10,8	0,77	48	37,4
4	7,76	10,8	0,72	36	25,6
5	7,16	10,8	0,66	55	36,3
6	6,57	10,8	0,61	62	37,7
7	5,97	10,8	0,55	59	32,6
8	5,37	10,8	0,50	57	28,2
9	4,77	10,8	0,44	47	20,9
10	4,18	10,8	0,39	38	14,8
11	3,58	10,8	0,33	40	13,3
12	2,98	10,8	0,28	33	9,2
13	2,39	10,8	0,22	29	6,4
14	1,79	10,8	0,17	21	3,5
15	1,19	10,8	0,11	18	2,0
16	0,60	10,8	0,06	15	0,8
17	0	10,8	0	12	0
18	0	10,8	0	6	0
19	0	10,8	0	6	0
20	0	10,8	0	3	0
21	0	10,8	0	3	0
22	0	10,8	0	1	0
23	0	10,8	0	2	0
24	0	10,8	0	1	0
25	0	10,8	0	1	0
Santiago, Tipología B CRT (julio)				TOTAL [hr]	407,1



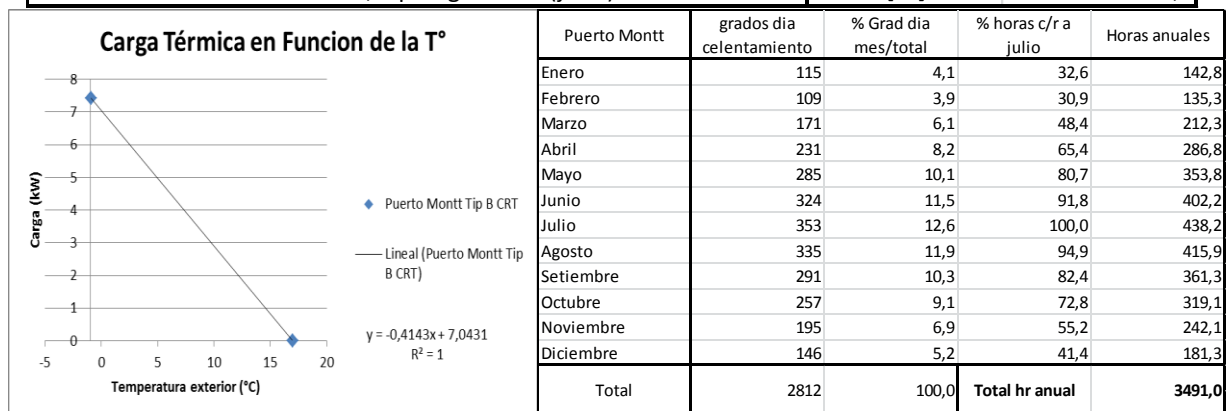
Anexo D.6: Horas de Funcionamiento Sistema Geotérmico Tip B, CRT, Santiago (Modelos 21, 22, 23, 24)

Rango T (°C)	Carga Edificio (kW)	Potencia Bomba de Calor (kW)	Fracción marcha	Bin hours	Horas Marcha
-4	17,63	16,8	1,00	1	1,0
-3	16,79	16,8	1,00	8	8,0
-2	15,95	16,8	0,95	18	17,4
-1	15,11	16,8	0,90	27	24,6
0	14,27	16,8	0,85	29	24,4
1	13,43	16,8	0,80	30	23,7
2	12,59	16,8	0,75	39	29,2
3	11,75	16,8	0,70	43	30,1
4	10,91	16,8	0,65	66	42,7
5	10,07	16,8	0,60	62	37,0
6	9,24	16,8	0,55	75	41,4
7	8,40	16,8	0,50	87	43,3
8	7,56	16,8	0,45	95	42,6
9	6,72	16,8	0,40	72	28,7
10	5,88	16,8	0,35	51	17,7
11	5,04	16,8	0,30	25	7,5
12	4,20	16,8	0,25	11	2,7
13	3,36	16,8	0,20	6	1,1
14	2,52	16,8	0,15	1	0,2
Puerto Montt, Tipología B SRT (julio)				TOTAL [hr]	423,2



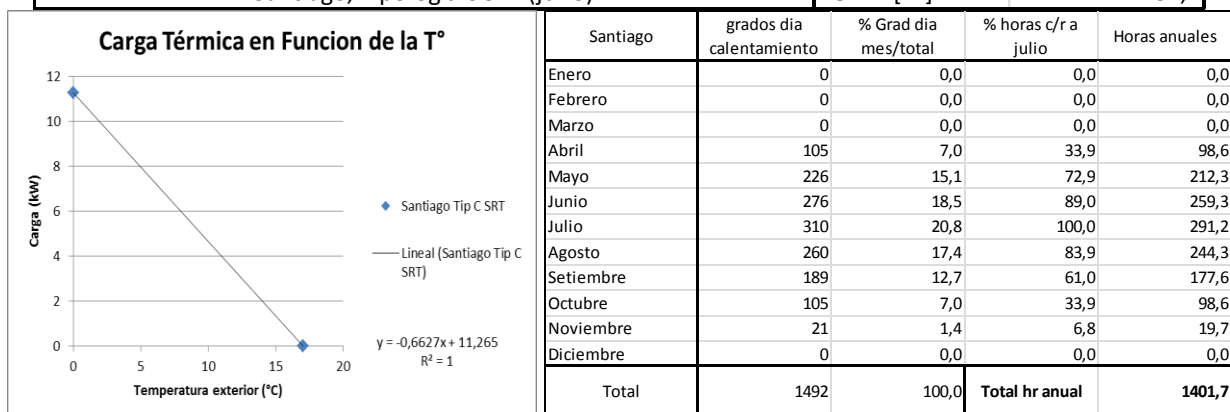
Anexo D.7: Horas de Funcionamiento Sistema Geotérmico Tip B, SRT, Puerto Montt (Modelos 25, 26, 27, 28)

Rango T (°C)	Carga Edificio (kW)	Potencia Bomba de Calor (kW)	Fracción marcha	Bin hours	Horas Marcha
-4	8,70	8	1,00	1	1,0
-3	8,29	8	1,00	8	8,0
-2	7,87	8	0,98	18	18,0
-1	7,46	8	0,93	27	25,5
0	7,04	8	0,88	29	25,2
1	6,63	8	0,83	30	24,6
2	6,21	8	0,78	39	30,3
3	5,80	8	0,73	43	31,2
4	5,39	8	0,67	66	44,2
5	4,97	8	0,62	62	38,3
6	4,56	8	0,57	75	42,9
7	4,14	8	0,52	87	44,9
8	3,73	8	0,47	95	44,1
9	3,31	8	0,41	72	29,7
10	2,90	8	0,36	51	18,4
11	2,49	8	0,31	25	7,8
12	2,07	8	0,26	11	2,8
13	1,66	8	0,21	6	1,2
14	1,24	8	0,16	1	0,2
Puerto Montt, Tipología B CRT (julio)				TOTAL [hr]	438,2



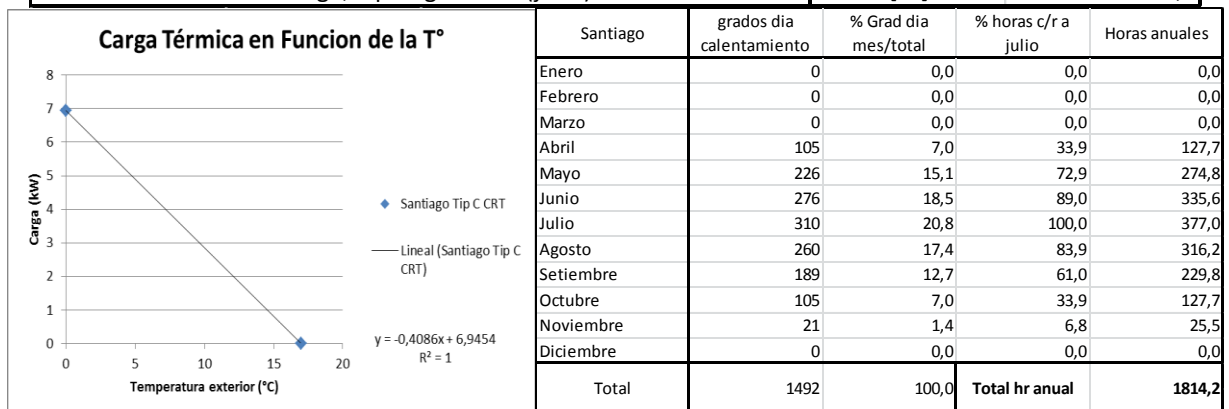
Anexo D.8: Horas de Funcionamiento Sistema Geotérmico Tip B, CRT, Puerto Montt (Modelos 29, 30, 31, 32)

Rango T (°C)	Carga Edificio (kW)	Potencia Bomba de Calor (kW)	Fracción marcha	Bin hours	Horas Marcha
-4	13,92	16,8	0,83	1	0,8
-3	13,25	16,8	0,79	2	1,6
-2	12,59	16,8	0,75	12	8,7
-1	11,93	16,8	0,71	20	14,4
0	11,27	16,8	0,67	36	23,9
1	10,60	16,8	0,63	42	26,5
2	9,94	16,8	0,59	40	23,5
3	9,28	16,8	0,55	48	26,7
4	8,61	16,8	0,51	36	18,3
5	7,95	16,8	0,47	55	25,9
6	7,29	16,8	0,43	62	26,9
7	6,63	16,8	0,39	59	23,3
8	5,96	16,8	0,35	57	20,1
9	5,30	16,8	0,32	47	14,9
10	4,64	16,8	0,28	38	10,6
11	3,98	16,8	0,24	40	9,5
12	3,31	16,8	0,20	33	6,6
13	2,65	16,8	0,16	29	4,6
14	1,99	16,8	0,12	21	2,5
15	1,32	16,8	0,08	18	1,4
16	0,66	16,8	0,04	15	0,6
17	0	16,8	0	12	0
18	0	16,8	0	6	0
19	0	16,8	0	6	0
20	0	16,8	0	3	0
21	0	16,8	0	3	0
22	0	16,8	0	1	0
23	0	16,8	0	2	0
24	0	16,8	0	1	0
25	0	16,8	0	1	0
Santiago, Tipología C SRT (julio)				TOTAL [hr]	291,2



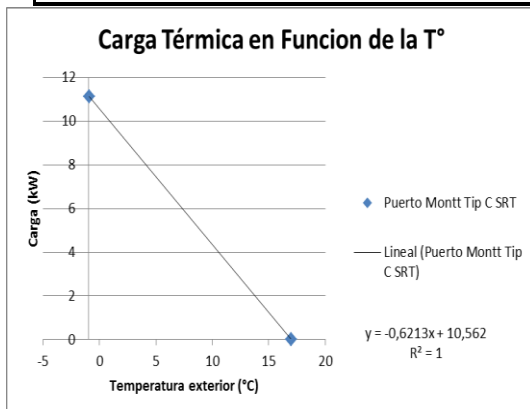
Anexo D.9: Horas de Funcionamiento Sistema Geotérmico Tip C, SRT, Santiago (Modelos 33, 34, 35, 36)

Rango T (°C)	Carga Edificio (kW)	Potencia Bomba de Calor (kW)	Fracción marcha	Bin hours	Horas Marcha
-4	8,58	8	1,00	1	1,0
-3	8,17	8	1,00	2	2,0
-2	7,76	8	0,97	12	11,3
-1	7,35	8	0,92	20	18,7
0	6,95	8	0,87	36	31,0
1	6,54	8	0,82	42	34,3
2	6,13	8	0,77	40	30,4
3	5,72	8	0,71	48	34,6
4	5,31	8	0,66	36	23,7
5	4,90	8	0,61	55	33,5
6	4,49	8	0,56	62	34,8
7	4,09	8	0,51	59	30,1
8	3,68	8	0,46	57	26,0
9	3,27	8	0,41	47	19,3
10	2,86	8	0,36	38	13,7
11	2,45	8	0,31	40	12,3
12	2,04	8	0,26	33	8,5
13	1,63	8	0,20	29	5,9
14	1,23	8	0,15	21	3,3
15	0,82	8	0,10	18	1,8
16	0,41	8	0,05	15	0,7
17	0	8	0	12	0
18	0	8	0	6	0
19	0	8	0	6	0
20	0	8	0	3	0
21	0	8	0	3	0
22	0	8	0	1	0
23	0	8	0	2	0
24	0	8	0	1	0
25	0	8	0	1	0
Santiago, Tipología C CRT (julio)				TOTAL [hr]	377,0



Anexo D.10: Horas de Funcionamiento Sistema Geotérmico Tip C, CRT, Santiago (Modelos 37, 38, 39, 40)

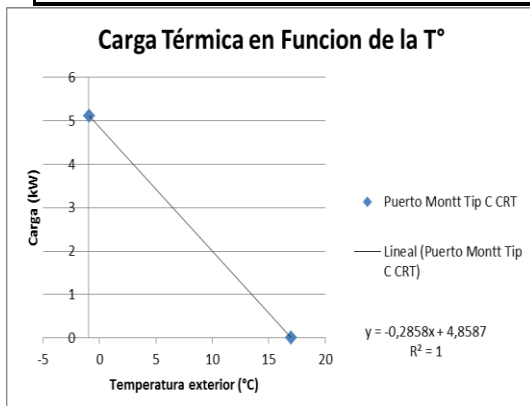
Rango T (°C)	Carga Edificio (kW)	Potencia Bomba de Calor (kW)	Fracción marcha	Bin hours	Horas Marcha
-4	13,05	16,8	0,78	1	0,8
-3	12,43	16,8	0,74	8	5,9
-2	11,80	16,8	0,70	18	12,9
-1	11,18	16,8	0,67	27	18,2
0	10,56	16,8	0,63	29	18,0
1	9,94	16,8	0,59	30	17,6
2	9,32	16,8	0,55	39	21,6
3	8,70	16,8	0,52	43	22,3
4	8,08	16,8	0,48	66	31,6
5	7,46	16,8	0,44	62	27,4
6	6,83	16,8	0,41	75	30,6
7	6,21	16,8	0,37	87	32,1
8	5,59	16,8	0,33	95	31,5
9	4,97	16,8	0,30	72	21,2
10	4,35	16,8	0,26	51	13,1
11	3,73	16,8	0,22	25	5,5
12	3,11	16,8	0,18	11	2,0
13	2,49	16,8	0,15	6	0,8
14	1,86	16,8	0,11	1	0,1
Puerto Montt, Tipología C SRT (julio)				TOTAL [hr]	313,2



Puerto Montt	grados dia celentamiento	% Grad dia mes/total	% horas c/r a julio	Horas anuales
Enero	115	4,1	32,6	102,0
Febrero	109	3,9	30,9	96,7
Marzo	171	6,1	48,4	151,7
Abril	231	8,2	65,4	205,0
Mayo	285	10,1	80,7	252,9
Junio	324	11,5	91,8	287,5
Julio	353	12,6	100,0	313,2
Agosto	335	11,9	94,9	297,2
Setiembre	291	10,3	82,4	258,2
Octubre	257	9,1	72,8	228,0
Noviembre	195	6,9	55,2	173,0
Diciembre	146	5,2	41,4	129,5
Total	2812	100,0	Total hr anual	2495,0

Anexo D.11: Horas de Funcionamiento Sistema Geotérmico Tip C, SRT, Puerto Montt (Modelos 41, 42, 43, 44)

Rango T (°C)	Carga Edificio (kW)	Potencia Bomba de Calor (kW)	Fracción marcha	Bin hours	Horas Marcha
-4	6,00	8	0,75	1	0,8
-3	5,72	8	0,71	8	5,7
-2	5,43	8	0,68	18	12,4
-1	5,14	8	0,64	27	17,6
0	4,86	8	0,61	29	17,4
1	4,57	8	0,57	30	17,0
2	4,29	8	0,54	39	20,9
3	4,00	8	0,50	43	21,5
4	3,72	8	0,46	66	30,5
5	3,43	8	0,43	62	26,4
6	3,14	8	0,39	75	29,6
7	2,86	8	0,36	87	31,0
8	2,57	8	0,32	95	30,4
9	2,29	8	0,29	72	20,5
10	2,00	8	0,25	51	12,7
11	1,71	8	0,21	25	5,4
12	1,43	8	0,18	11	1,9
13	1,14	8	0,14	6	0,8
14	0,86	8	0,11	1	0,1
Puerto Montt, Tipología C CRT (julio)				TOTAL [hr]	302,6




Puerto Montt	grados dia celentamiento	% Grad dia mes/total	% horas c/r a julio	Horas anuales
Enero	115	4,1	32,6	98,6
Febrero	109	3,9	30,9	93,4
Marzo	171	6,1	48,4	146,6
Abril	231	8,2	65,4	198,0
Mayo	285	10,1	80,7	244,3
Junio	324	11,5	91,8	277,7
Julio	353	12,6	100,0	302,6
Agosto	335	11,9	94,9	287,1
Setiembre	291	10,3	82,4	249,4
Octubre	257	9,1	72,8	220,3
Noviembre	195	6,9	55,2	167,1
Diciembre	146	5,2	41,4	125,1
Total	2812	100,0	Total hr anual	2410,3

Anexo D.12: Horas de Funcionamiento Sistema Geotérmico Tip C, CRT, Puerto Montt (Modelos 45, 46, 47, 48)

## ANEXO E: Especificaciones técnicas de sistema de distribución

### E.I Radiadores

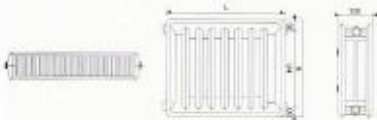


### RADIADORES OCEAN

---

**DK** Es un Radiador doble compuesto por 2 placas, 2 convectores y envoltorio decorativo.

Altura (H) 300 mm  
 Profundidad 100 mm  
 Distancia (H1) 245 mm  
 Longitud (L) desde 400 mm a 3000 mm  
 Espesor de Placa 1,25 mm  
 Presión de trabajo 10 bar




**RADIADORES MODELO DK 300**

CODIGO	LARGO (mm)	ALTURA (mm)	WATT	KCAL/H	CAPACIDAD lt
DK 300.0400	400	300	585	503	1,36
DK 300.0500	500	300	731	629	1,70
DK 300.0600	600	300	878	755	2,04
DK 300.0700	700	300	1024	881	2,38
DK 300.0800	800	300	1169	1006	2,72
DK 300.0900	900	300	1316	1132	3,06
DK 300.1000	1000	300	1463	1258	3,40
DK 300.1100	1100	300	1609	1384	3,74
DK 300.1200	1200	300	1756	1510	4,08
DK 300.1300	1300	300	1901	1635	4,42
DK 300.1400	1400	300	2048	1761	4,76
DK 300.1500	1500	300	2194	1887	5,10
DK 300.1600	1600	300	2341	2013	5,44
DK 300.1800	1800	300	2633	2264	6,12
DK 300.2000	2000	300	2926	2516	6,80
DK 300.2200	2200	300	3219	2768	7,48
DK 300.2400	2400	300	3510	3019	8,16
DK 300.2600	2600	300	3803	3271	8,84
DK 300.2800	2800	300	4095	3522	9,52
DK 300.3000	3000	300	4388	3774	10,20

**DK** Es un Radiador doble compuesto por 2 placas, 2 convectores y envoltorio decorativo.

Altura (H) 500 mm  
 Profundidad 100 mm  
 Distancia (H1) 245 mm  
 Longitud (L) desde 400 mm a 3000 mm  
 Espesor de Placa 1,25 mm  
 Presión de trabajo 10 bar



**RADIADORES MODELO DK 500**

CODIGO	LARGO (mm)	ALTURA (mm)	WATT	KCAL/H	CAPACIDAD lt
DK 500.0400	400	500	879	756	3,84
DK 500.0500	500	500	1099	945	4,80
DK 500.0600	600	500	1319	1134	5,76
DK 500.0700	700	500	1538	1323	6,72
DK 500.0800	800	500	1758	1512	7,68
DK 500.0900	900	500	1978	1701	8,64
DK 500.1000	1000	500	2197	1890	9,60
DK 500.1100	1100	500	2417	2079	10,56
DK 500.1200	1200	500	2637	2268	11,52
DK 500.1300	1300	500	2857	2457	12,48
DK 500.1400	1400	500	3077	2646	13,44
DK 500.1500	1500	500	3297	2835	14,40
DK 500.1600	1600	500	3516	3024	15,36
DK 500.1800	1800	500	3956	3402	17,28
DK 500.2000	2000	500	4395	3780	19,20
DK 500.2200	2200	500	4835	4158	21,12
DK 500.2400	2400	500	5274	4536	23,04
DK 500.2600	2600	500	5714	4914	24,96
DK 500.2800	2800	500	6153	5292	26,88
DK 500.3000	3000	500	6593	5670	28,80

Anwo S.A. - Los Orfebres 380 - Parque Industrial La Reina - Fono:(56-2) 731 0000 - Fax:(56-2) 2731101 - www.anwo.cl

Anexo E.1: Ficha técnica radiadores modelo DK 500, ANWO.





## INFORMATIVO

### FACTORES DE CORRECCIÓN PARA DIMENSIONAMIENTO DE RADIADORES OCEAN

**Estimado cliente:** En la continua búsqueda de brindar a nuestros clientes los medios para facilitar su trabajo, entregamos a ustedes una tabla de factores de corrección para el dimensionamiento de radiadores Anwo, en función de la temperatura del agua de entrada y salida y de la temperatura ambiente esperada en el recinto.

Temperatura entrada °C	Temperatura salida °C	Temperatura Ambiente °C						
		10	12	15	18	20	22	24
90	85	0.72	0.73	0.77	0.82	0.85	0.88	0.92
	80	0.75	0.77	0.81	0.86	0.89	0.93	0.97
	75	0.78	0.81	0.85	0.90	0.94	0.98	1.03
	70	0.82	0.85	0.90	0.96	1.00	1.05	1.10
85	80	0.78	0.80	0.85	0.90	0.94	0.98	1.02
	75	0.82	0.84	0.89	0.95	0.99	1.04	1.08
	70	0.86	0.89	0.94	1.01	1.05	1.10	1.16
	65	0.90	0.94	1.00	1.07	1.12	1.18	1.24
80	75	0.86	0.88	0.94	1.00	1.05	1.10	1.15
	70	0.90	0.93	0.99	1.06	1.11	1.17	1.22
	65	0.95	0.98	1.05	1.13	1.19	1.25	1.32
	60	1.00	1.05	1.12	1.21	1.27	1.35	1.42
75	70	0.95	0.98	1.05	1.12	1.18	1.24	1.30
	65	1.00	1.04	1.11	1.19	1.26	1.33	1.40
	60	1.06	1.10	1.19	1.28	1.35	1.43	1.52
	55	1.12	1.18	1.27	1.38	1.47	1.56	1.66
70	65	1.04	1.09	1.18	1.27	1.34	1.42	1.50
	60	1.12	1.17	1.26	1.36	1.44	1.53	1.63
	55	1.19	1.25	1.35	1.47	1.57	1.67	1.79
	50	1.27	1.35	1.47	1.61	1.72	1.85	1.99
65	60	1.19	1.24	1.34	1.46	1.56	1.66	1.77
	55	1.27	1.33	1.44	1.58	1.68	1.80	1.94
	50	1.35	1.43	1.57	1.73	1.85	1.99	2.15
	45	1.47	1.56	1.72	1.91	2.07	2.24	2.44
60	55	1.35	1.42	1.55	1.70	1.82	1.96	2.11
	50	1.45	1.53	1.68	1.87	2.02	2.18	2.36
	45	1.57	1.67	1.85	2.07	2.24	2.45	2.68
	40	1.72	1.85	2.07	2.34	2.56	2.82	3.14
55	50	1.55	1.65	1.82	2.03	2.20	2.39	2.61
	45	1.69	1.80	2.01	2.26	2.46	2.69	2.98
	40	1.85	1.99	2.24	2.56	2.82	3.12	3.50
	35	2.07	2.24	2.56	2.97	3.32	3.76	4.32
50	45	1.82	1.96	2.20	2.49	2.73	3.02	3.36
	40	2.02	2.17	2.46	2.83	3.14	3.51	3.97
	35	2.24	2.45	2.82	3.30	3.72	4.24	4.92
	30	2.56	2.82	3.32	4.02	4.66	5.52	6.78

Esta tabla está basada en la norma DIN 4703 que entrega los valores de corrección para los casos en que se trabaje bajo condiciones diferentes a las que establece la norma DIN 4704 (temperaturas en el agua de 90/70°C con una temperatura ambiente de 20°C).

Ejemplo:

Para una potencia calculada de 973 kcal/h (a instalar un radiador simple EK.500.1000 con 90/70/20°C) que se quiera utilizar con 70°C en la entrada y 50°C en la salida para una temperatura ambiente de 20°C se debe aplicar, según tabla, el factor 1.72 resultando entonces una potencia de 1.674 kcal/h por lo que se debe seleccionar un radiador con el valor inmediatamente superior, en este caso un EK.500.1800.

Anexo E.2: Factores de corrección para dimensionamiento de radiadores Ocean. Anwo.

## E.II Fan Coil



**FAN COIL PISO CON GABINETE 4 TUBOS**  
 MARCA: MCQUAY  
 TIPO: 1 SERPENTIN FRIO  
 1 SERPENTIN CALOR  
 INCLUYE: GABINETE Y FILTRO DE AIRE  
 UNIDAD DE VENTA: UNITARIO

CODIGO	MODELO	CAP FRIO/CALOR	USD NETO
214300	MFU012HO-R-BCMR	4.200/7900 BTU/H	544,0
214302	MFU020HO-R-BCMR	6.200/10.000 BTU/H	562,5
214304	MFU025HO-R-BCMR	8.600/14.800 BTU/H	631,0
214306	MFU035HO-R-BCMR	12.000/19.200 BTU/H	669,3
214308	MFU050HO-R-BCMR	15.800/24.000 BTU/H	722,6
214310	MFU060HO-R-BCMR	19.600/29.600 BTU/H	749,3
214312	MFU080HO-R-BCMR	23.700/41.300 BTU/H	927,9
214314	MFU090HO-R-BCMR	27.500/44.700 BTU/H	973,1
214316	MFU-AC-FT-O	PIE DE SOPORTE	24,2
214318	MFU-AC-FT-S	SOPORTES	8,5
214320	MFU-AC-GR12/20	REJILLA INGRESO	8,5
214322	MFU-AC-GR25/35	REJILLA INGRESO	12,1
214324	MFU-AC-GR50/60	REJILLA INGRESO	12,1
214325	MFU-AC-GR80/90	REJILLA INGRESO	12,1

## TECHNICAL DATA

		4 PIPES				3+1 ROWS			
MODELLI		012H	020H	025H	035H	050H	060H	080H	090H
Nominal Air Flow (High/Medium/Low)	m³/h	254/	369/	445/	677/	811/	1068/	1300/	1450/
		215/	321/	330/	545/	663/	915/	1063/	1248/
		176	240	250	380	456	672	824	1078
Available Static Pressure	Pa	--	--	--	--	--	--	--	--
Total Cooling Capacity <sup>5</sup>	kW	1.2	1.8	2.5	3.5	4.6	5.7	6.9	8.0
Total Sensible Capacity <sup>5</sup>	kW	0.9	1.4	1.7	2.5	3.4	4.4	4.9	5.2
Water Flow Rate	l/s	0.057	0.084	0.118	0.165	0.219	0.271	0.32	0.345
Water Pressure Drop - Cooling	kPa	4	5	8	15	26	16	15	17
Heating Capacity <sup>6</sup>	kW	2.3	2.9	4.3	5.6	7.0	8.6	12.0	13.0
Water Flow Rate	l/s	0.057	0.071	0.104	0.137	0.172	0.209	0.216	0.339
Water Pressure Drop - Heating	kPa	11	18	30	18	35	40	24	14
Lp (Sound Pressure Level) <sup>7</sup>	dB(A)	38/36/33	42/37/32	41/34/32	47/43/38	47/39/31	53/48/41	51/47/40	53/50/47
Power Supply	V/ph/Hz	220~240/1/50							
Fan N°	n°	1	1	2	2	2	2	3	3
Max Power Supply <sup>4</sup>	kW	0.021	0.050	0.051	0.056	0.077	0.107	0.140	0.161
Cond. Drain Connections	mm	20	20	20	20	20	20	20	20
Water Connections	inches	3/4"	3/4"	3/4"	3/4"	3/4"	3/4"	3/4"	3/4"
Total volume	litres	[0.792 + 0.264]		[1.158 + 0.386]		[1.525 + 0.508]		[1.89 + 0.63]	
Weight [with package]	kg	24 [26]		28 [30]		30 [33]		35 [39]	
Weight with cabinet [with package]	kg	26 [27]		31 [35]		35 [40]		45 [50]	
Dimens. unit (LxA xP)	mm	704x224x540		904x224x540		1104x224x540		1304x224x540	
Dimens. with cabinet (L x A x P)	mm	910x539x230		1110x539x230		1310x539x230		1510x539x230	

### NOTES

4 Nominal Air Flow; High Fan Speed

5 At the following nominal conditions: nominal air flow; 7/12°C inlet/outlet water temperature; 27°C d b/ 19°C wb inlet air temperature; High speed

6 At the following nominal conditions: nominal air flow; 70/60 °C inlet/outlet water temperature; 20°C inlet air temperature; High speed

7 At High/Medium/Low speed; nominal air flow; measured in a room of 100 m volume and 0.5 sec. reverberation time (e.g. office/conference room with carpet on the floor)

## Anexo E.3: Ficha técnica Fan Coil, COSMOPLAS.

## ANEXO F: Bombas de Calor

### Bombas de calor línea WW-CA Agua-Agua



Características Técnicas:

Modelo	WW-27C	WW-46C	WW-92C	AW-180C
Potencia de entrada [KW]	2,7	4,6	9,2	18,0
Capacidad calorífica [KW]	13,5	23,0	46,0	90,0
[BTU/h]	46000	78500	157000	307000
Voltaje/fase/frec [V/ph/Hz]	220/1/50	380/3/50	380/3/50	380/3/50
Corriente máxima [A]	20	13	25	49
Refrigerante/cantidad [gr]	R417A/1600	R417A/2500	R417A/2500x2	R417A/2500x4
Flujo de alimentación de agua [l/hr]	290	493	985	55
Temp. de agua trabajo [°C]	55	55	55	55
Temp. de agua máx [°C]	60	60	60	60
Tasa flujo ciclo ACS [m³/hr]	2,2	4,0	8,0	16,0
Tasa flujo agua sistema calefacción [m³/hr]	1,8	3,2	6,4	12,8
Rango operación temp. Ambiente [°C]	-10 a 45	-10 a 45	-10 a 45	-10 a 45
Peso neto [Kg]	82	122	254	505
Medidas [cms]	55x55x60	55x55x60	61x55x120	122x55x120
Tanque de acumulación requerido [m³]	3	5	10	20
Nivel de ruido dB [A]	<60	<64	<65	<68
Condiciones de prueba	Temperatura fuente de agua(in/out): 15°C/7°C Temperatura agua caliente (inicial/final): 15°/55°C			

Nivel de seguridad contra corte eléctrico  
Refrigerantes R407C, R410A, disponibles

### Características técnicas

Modelo	DW-27C	DW-46C	DW-92C	DW-180C
Potencia de entrada [KW]	2,7	4,6	9,2	18,0
Capacidad calorífica [KW]	10,8	16,8	36,8	72,0
[BTU/h]	46000	78500	157000	307000
Voltaje/fase/frec [V/ph/Hz]	220/1/50	380/3/50	380/3/50	380/3/50
Corriente máxima [A]	20	13	25	49
Refrigerante/cantidad [gr]	R417A/1600	R417A/2500	R417A/2500x2	R417A/2500x4
Flujo de alimentación de agua [l/hr]	290	493	985	1930
Temp. de agua trabajo [°C]	55	55	55	55
Temp. de agua máx [°C]	60	60	60	60
Tasa flujo condensador [m³/hr]	2,2	4,0	8,0	16,0
Tasa flujo evaporador [m³/hr]	1,8	3,2	6,4	12,8
Rango operación temp. Ambiente [°C]	-10 a 45	-10 a 45	-10 a 45	-10 a 45
Peso neto [Kg]	82	122	254	505
Medidas [cms]	55x55x60	55x55x60	61x55x120	122x55x120
Tanque de acumulación requerido [m³]	3	5	10	20
Nivel de ruido dB [A]	<60	<64	<65	<68
Condiciones de prueba	Temperatura fuente de agua(in/out): 15°C/7°C Temperatura agua caliente (inicial/final): 15°/55°C			

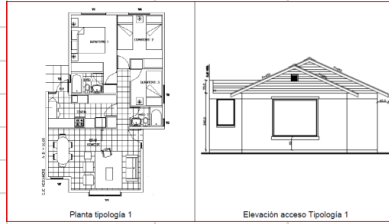
Nivel de seguridad contra corte eléctrico  
Refrigerantes R407C, R410A, disponibles

Anexo F.1: Ficha técnica de Bombas de Calor, ENATIVA.

## ANEXO G: Dimensionamiento de sistema de distribución de calor

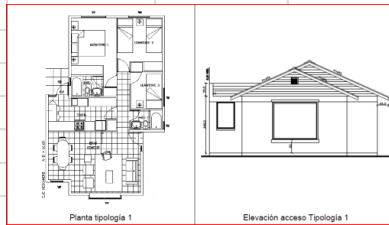
### G.I Dimensionamiento del sistema de distribución con Radiadores

Tipología A	Modelos 1, 2, 3 y 4					
Santiago						
Antes de 2001 (SRT)						
Carga edificio	11,41 kW					
	9820 kcal/hr					
	[m <sup>2</sup> ]	Carga % Superficie [kcal/hr]	Carga * Fcorr			
Sup útil	56,5	9820	23175	Kcal/hr	cantidad	descripción
Comedor	18,5	3215	7588	7560	2	DK 500.2000
Cocina	8	1390	3281	1890	1	DK 500.1000
Baño 1	2,5	435	1025	945	1	DK 500.0500
Baño 2	2,5	435	1025	945	1	DK 500.0500
Dormitorio 1	10	1738	4102	3780	1	DK 500.2000
Dormitorio 2	8	1390	3281	3780	1	DK 500.2000
Dormitorio 3	4,5	782	1846	2835	1	DK 500.1500
Pasillo	2,5	435	1025	1890	1	DK 500.1000
<b>TOTAL</b>		<b>9820</b>	<b>23175</b>	<b>23625</b>	<b>9</b>	
Caudal circulación		0,98 [m <sup>3</sup> /h]		Área radiador	6250000 [mm <sup>2</sup> ]	
		0,27 [l/s]			6,25 [m <sup>2</sup> ]	



Anexo F.I.1: Sistema de Radiadores Modelos 1, 2, 3, 4.

Tipología A	Modelos 5, 6, 7 y 8					
Santiago						
Despues de 2007 (CRT)						
Carga edificio	6,84 kW					
	5882 kcal/hr					
	[m <sup>2</sup> ]	Carga % Superficie [kcal/hr]	Carga * Fcorr			
Sup útil	56,5	5882	13882	Kcal/hr	cantidad	descripción
Comedor	18,5	1926	4545	3780	1	DK 500.2000
Cocina	8	833	1966	1890	1	DK 500.1000
Baño 1	2,5	260	614	0	0	-
Baño 2	2,5	260	614	0	0	-
Dormitorio 1	10	1041	2457	2835	1	DK 500.1500
Dormitorio 2	8	833	1966	2385	1	DK 500.1500
Dormitorio 3	4,5	468	1106	1890	1	DK 500.1000
Pasillo	2,5	260	614	1890	1	DK 500.1000
<b>TOTAL</b>		<b>5882</b>	<b>13882</b>	<b>14670</b>	<b>6</b>	
Caudal circulación		0,59 [m <sup>3</sup> /h]		Área radiador	3750000 [mm <sup>2</sup> ]	
		0,16 [l/s]			3,75 [m <sup>2</sup> ]	




Anexo G.I.2: Sistema de Radiadores Modelos 5, 6, 7, 8.

Tipología A	Modelos 9, 10, 11 y 12					
Puerto Montt						
Antes de 2001 (SRT)						
Carga edificio		11,07 kW				
		9523 kcal/hr				
	[m2]	Carga % Superficie [kcal/hr]	Carga * Fcorr			
Sup útil	56,5	9523	22475	Kcal/hr	cantidad	descripción
Comedor	18,5	3118	7359	7560	2	DK 500.2000
Cocina	8	1348	3182	2385	1	DK 500.1500
Baño 1	2,5	421	994	945	1	DK 500.0500
Baño 2	2,5	421	994	945	1	DK 500.0500
Dormitorio 1	10	1686	3978	3780	1	DK 500.2000
Dormitorio 2	8	1348	3182	3780	1	DK 500.2000
Dormitorio 3	4,5	759	1790	1890	1	DK 500.1000
Pasillo	2,5	421	994	1890	1	DK 500.1000
	<b>TOTAL</b>	<b>9523</b>	<b>22475</b>	<b>23175</b>	<b>9</b>	
Caudal circulación		0,95 [m3/h]	Área radiador		6250000 [mm2]	
		0,26 [l/s]			6,25 [m2]	


Anexo G.I.3: Sistema de Radiadores Modelos 9, 10, 11, 12.

Tipología A	Modelos 13, 14, 15 y 16					
Puerto Montt						
Después de 2007 (CRT)						
Carga edificio		4,76 kW				
		4098 kcal/hr				
	[m2]	Carga % Superficie [kcal/hr]	Carga * Fcorr			
Sup útil	56,5	4098	9672	Kcal/hr	cantidad	descripción
Comedor	18,5	1342	3167	3780	2	DK 500.1000
Cocina	8	580	1369	1890	1	DK 500.1000
Baño 1	2,5	181	428	0	0	-
Baño 2	2,5	181	428	0	0	-
Dormitorio 1	10	725	1712	2835	1	DK 500.1500
Dormitorio 2	8	580	1369	1890	1	DK 500.1000
Dormitorio 3	4,5	326	770	0	-	-
Pasillo	2,5	181	428	0	-	-
	<b>TOTAL</b>	<b>4098</b>	<b>9672</b>	<b>10395</b>	<b>5</b>	
Caudal circulación		0,41 [m3/h]	Área radiador		2750000 [mm2]	
		0,11 [l/s]			2,75 [m2]	

Anexo G.I.4: Sistema de Radiadores Modelos 13, 14, 15, 16.

Tipología B	Modelos 17, 18, 19 y 20					
Santiago						
Antes de 2001 (SRT)						
Carga edificio	15,30 kW					
	13161 kcal/hr					
	[m2]	Carga % Superficie [kcal/hr]	Carga * Fcorr			
Sup útil	103	13161	31059 Kcal/hr		cantidad	descripción
Comedor	9	1150	2714	3780	1	DK 500.2000
Cocina	11,5	1469	3468	2835	1	DK 500.1500
Loggia	5,5	703	1658	945	1	DK 500.0500
Living	11	1405	3317	3780	1	DK 500.2000
Baño1	3,5	447	1055	945	1	DK 500.0500
Dormitorio 1	11	1405	3317	3780	1	DK 500.2000
Pasillo-escaler	9,5	1214	2865	2835	1	DK 500.1500
Baño 2	2	256	603	0	0	-
Dormitorio 2	11	1405	3317	3780	1	DK 500.2000
Dormitorio 3	11	1405	3317	3780	1	DK 500.2000
Sala estar	9,5	1214	2865	3780	1	DK 500.2000
Baño 3	4	511	1206	-	-	-
Escalera Pasillo	4,5	575	1357	945	1	DK 500.0500
	TOTAL	13161	31059	31185	11	
Caudal circulación		1,32 [m3/h]	Área radiador	8250000 [mm2]		
		0,37 [l/s]		8,25 [m2]		

Anexo G.I.5: Sistema de Radiadores Modelos 17, 18, 19, 20.

Tipología B	Modelos 21, 22, 23 y 24					
Santiago						
Despues de 2007 (CRT)						
Carga edificio	10,15 kW					
	8729 kcal/hr					
	[m2]	Carga % Superficie [kcal/hr]	Carga * Fcorr			
Sup útil	103	8729	20601 Kcal/hr		cantidad	descripción
Comedor	9	763	1800	1890	1	DK 500.1000
Cocina	11,5	975	2300	2835	1	DK 500.1500
Loggia	5,5	466	1100	-	-	-
Living	11	932	2200	3780	1	DK 500.2000
Baño1	3,5	297	700	-	-	-
Dormitorio 1	11	932	2200	2835	1	DK 500.1500
Pasillo-escaler	9,5	805	1900	1890	1	DK 500.1000
Baño 2	2	170	400	0	0	-
Dormitorio 2	11	932	2200	2835	1	DK 500.1500
Dormitorio 3	11	932	2200	2835	1	DK 500.1500
Sala estar	9,5	805	1900	1890	1	DK 500.1000
Baño 3	4	339	800	-	-	-
Escalera Pasillo	4,5	381	900	-	-	-
	TOTAL	8729	20601	20790	8	
Caudal circulación		0,87 [m3/h]	Área radiador	5500000 [mm2]		
		0,24 [l/s]		5,5 [m2]		

Anexo G.I.6: Sistema de Radiadores Modelos 21, 22, 23, 24.

Tipología B	Modelos 25, 26, 27 y 28					
Puerto Montt						
Antes de 2001 (SRT)						
Carga edificio	15,03 kW					
	12930 kcal/hr					
	[m2]	Carga % Superficie [kcal/hr]	Carga * Fcorr			
Sup útil	103	12930	30515 Kcal/hr		cantidad	descripción
Comedor	9	1130	2666	3780	1	DK 500.1500
Cocina	11,5	1444	3407	3780	1	DK 500.1500
Loggia	5,5	690	1629	-	-	-
Living	11	1381	3259	3780	1	DK 500.1500
Baño1	3,5	439	1037	-	-	-
Dormitorio 1	11	1381	3259	3780	1	DK 500.1500
Pasillo-escaler	9,5	1193	2815	3780	1	DK 500.1500
Baño 2	2	251	593	0	0	-
Dormitorio 2	11	1381	3259	3780	1	DK 500.1500
Dormitorio 3	11	1381	3259	3780	1	DK 500.1500
Sala estar	9,5	1193	2815	3780	1	DK 500.1500
Baño 3	4	502	1185	-	-	-
Escalera Pasillc	4,5	565	1333	-	-	-
	TOTAL	12930	30515	30240	8	
Caudal circulación		1,29 [m3/h]	Área radiador	7250000 [mm2]		
		0,36 [l/s]		7,25 [m2]		

Anexo G.I.7: Sistema de Radiadores Modelos 25, 26, 27, 28.

Tipología B	Modelos 29, 30, 31 y 32					
Puerto Montt						
Despues de 2007						
Carga edificio	7,42 kW					
	6381 kcal/hr					
	[m2]	Carga % Superficie [kcal/hr]	Carga * Fcorr			
Sup útil	103	6381	15059 Kcal/hr		cantidad	descripción
Comedor	9	558	1316	2835	1	DK 500.1500
Cocina	11,5	712	1681	1985	1	DK 500.1000
Loggia	5,5	341	804	0	0	-
Living	11	681	1608	2835	1	DK 500.1500
Baño1	3,5	217	512	0	0	-
Dormitorio 1	11	681	1608	2835	1	DK 500.1500
Pasillo-escaler	9,5	589	1389	-	-	-
Baño 2	2	124	292	0	0	-
Dormitorio 2	11	681	1608	1985	1	DK 500.1000
Dormitorio 3	11	681	1608	2835	1	DK 500.1500
Sala estar	9,5	589	1389	-	-	-
Baño 3	4	248	585	0	0	-
Escalera Pasillc	4,5	279	658	0	0	-
	TOTAL	6381	15059	15310	6	
Caudal circulación		0,64 [m3/h]	Área radiador	4000000 [mm2]		
		0,18 [l/s]		4 [m2]		

Anexo G.I.8: Sistema de Radiadores Modelos 29, 30, 31, 32.

Tipología C	Modelos 33, 34, 35 y 36						
Santiago							
Antes de 2001 (SRT)							
Carga edificio	11,27 kW						
	9693 kcal/hr						
	[m2]	Carga % Superficie [kcal/hr]	Carga * Fcorr				
Sup útil	84,7	9693	22875	Kcal/hr	cantidad	descripción	
Comedor	20	2289	5401	5670	2	DK 500.1500	
Cocina	7	801	1890	1890	1	DK 500.1000	
Baño 1	3,6	412	972	-	-	-	
Baño 2	2,5	286	675	0	0	-	
Dormitorio 1	13	1488	3511	3780	1	DK 500.2000	
Dormitorio 2	10,3	1179	2782	2835	1	DK 500.1500	
Dormitorio 3	13	1488	3511	3780	1	DK 500.2000	
Pasillo escala	4,8	549	1296	945	1	DK 500.0500	
Sala estar	10,5	1202	2836	3780	1	DK 500.2000	
<b>TOTAL</b>		<b>9693</b>	<b>22875</b>	<b>22680</b>	<b>8</b>		
Caudal circulación		0,97 [m3/h]	Área radiador	6000000 [mm2]			
		0,27 [l/s]		6 [m2]			



Anexo G.I.9: Sistema de Radiadores Modelos 33, 34, 35, 36.

Tipología C	Modelos 37, 38, 39 y 40						
Santiago							
Después de 2007 (CRT)							
Carga edificio	6,84 kW						
	5882 kcal/hr						
	[m2]	Carga % Superficie [kcal/hr]	Carga * Fcorr				
Sup útil	84,7	5882	13882	Kcal/hr	cantidad	descripción	
Comedor	20	1389	3278	3780	2	DK 500.1000	
Cocina	7	486	1147	-	-	-	
Baño 1	3,6	250	590	0	0	-	
Baño 2	2,5	174	410	0	0	-	
Dormitorio 1	13	903	2131	2835	1	DK 500.1500	
Dormitorio 2	10,3	715	1688	1890	1	DK 500.1000	
Dormitorio 3	13	903	2131	2835	1	DK 500.1500	
Pasillo escala	4,8	333	787	-	-	-	
Sala estar	10,5	729	1721	2835	1	DK 500.1500	
<b>TOTAL</b>		<b>5882</b>	<b>13882</b>	<b>14175</b>	<b>6</b>		
Caudal circulación		0,59 [m3/h]	Área radiador	3750000 [mm2]			
		0,16 [l/s]		3,75 [m2]			



Anexo G.I.10: Sistema de Radiadores Modelos 37, 38, 39, 40.



Tipología C	Modelos 41, 42, 43 y 44					
Puerto Montt						
Antes de 2001 (SRT)						
Carga edificio	11,12 kW					
	9569 kcal/hr					
	[m2]	Carga % Superficie [kcal/hr]	Carga * Fcorr			
Sup útil	84,7	9569	22582 Kcal/hr		cantidad	descripción
Comedor	20	2259	5332	5670	2	DK 500.1500
Cocina	7	791	1866	1890	1	DK 500.1000
Baño 1	3,6	407	960	-	-	-
Baño 2	2,5	282	667	0	0	-
Dormitorio 1	13	1469	3466	3780	1	DK 500.2000
Dormitorio 2	10,3	1164	2746	2835	1	DK 500.1500
Dormitorio 3	13	1469	3466	3780	1	DK 500.2000
Pasillo escala	4,8	542	1280	1980	1	DK 500.1000
Sala estar	10,5	1186	2799	2835	1	DK 500.1500
	<b>TOTAL</b>	<b>9569</b>	<b>22582</b>	<b>22770</b>	<b>8</b>	
Caudal circulación		0,96 [m3/h]	Área radiador	6000000 [mm2]		
		0,27 [l/s]		6 [m2]		

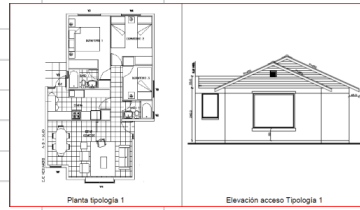
Anexo G.I.11: Sistema de Radiadores Modelos 41, 42, 43, 44.

Tipología C	Modelos 45, 46, 47 y 48					
Puerto Montt						
Después de 2007 (CRT)						
Carga edificio	5,12 kW					
	4402 kcal/hr					
	[m2]	Carga % Superficie [kcal/hr]	Carga * Fcorr			
Sup útil	84,7	4402	10388 Kcal/hr		cantidad	descripción
Comedor	20	1039	2453	2835	1	DK 500.1500
Cocina	7	364	859	-	-	-
Baño 1	3,6	187	442	0	0	-
Baño 2	2,5	130	307	0	0	-
Dormitorio 1	13	676	1594	1890	1	DK 500.1000
Dormitorio 2	10,3	535	1263	1890	1	DK 500.1000
Dormitorio 3	13	676	1594	1890	1	DK 500.1000
Pasillo escala	4,8	249	589	0	0	-
Sala estar	10,5	546	1288	1890	1	DK 500.1000
	<b>TOTAL</b>	<b>4402</b>	<b>10388</b>	<b>10395</b>	<b>5</b>	
Caudal circulación		0,44 [m3/h]	Área radiador	2750000 [mm2]		
		0,12 [l/s]		2,75 [m2]		

Anexo G.I.12: Sistema de Radiadores Modelos 45, 46, 47, 48.

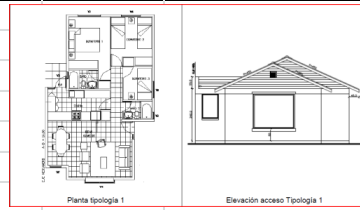
## G.II Dimensionamiento del sistema de distribución con Fan Coil

Tipología A	Modelos 1, 2, 3 y 4				
Santiago					
Antes de 2001 (SRT)					
Carga edificio	11,41 kW				
	9820 kcal/hr				
	[m2]	Carga % [kcal/hr m2]	Capacidad Fan Coil		
Sup útil	56,5	9820	Kcal/hr	cantidad	descripción
Comedor	18,5	3215	3732	1	MFU025HO-R-BCMR
Cocina	8	1390	1992	1	MFU012HO-R-BCMR
Baño 1	2,5	435	0	0	
Baño 2	2,5	435	0	0	
Dormitorio 1	10	1738	2522	1	MFU020HO-R-BCMR
Dormitorio 2	8	1390	1992	1	MFU012HO-R-BCMR
Dormitorio 3	4,5	782	0	0	
Pasillo	2,5	435	0	0	
<b>TOTAL</b>		<b>9820</b>	<b>10238</b>	<b>4</b>	
Caudal circulación		0,98 [m3/h]	Área Fan Coil	1628640 [mm2]	
		0,27 [l/s]		1,63 [m2]	

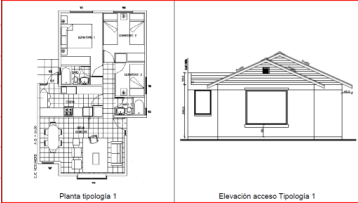


Anexo G.II.1: Sistema de Fan Coil Modelos 1, 2, 3, 4.

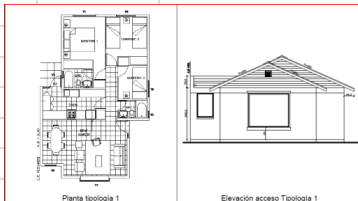
Tipología A	Modelos 5, 6, 7 y 8				
Santiago					
Despues de 2007 (CRT)					
Carga edificio	6,84 kW				
	5882 kcal/hr				
	[m2]	Carga % [kcal/hr m2]	Capacidad Fan Coil		
Sup útil	56,5	5882	Kcal/hr	cantidad	descripción
Comedor	18,5	1926	1992	1	MFU012HO-R-BCMR
Cocina	8	833	0	0	
Baño 1	2,5	260	0	0	
Baño 2	2,5	260	0	0	
Dormitorio 1	10	1041	1992	1	MFU012HO-R-BCMR
Dormitorio 2	8	833	1992	1	MFU012HO-R-BCMR
Dormitorio 3	4,5	468	0	0	
Pasillo	2,5	260	0	0	
<b>TOTAL</b>		<b>5882</b>	<b>5977</b>	<b>3</b>	
Caudal circulación		0,59 [m3/h]	Área Fan Coil	1140480 [mm2]	
		0,16 [l/s]		1,14 [m2]	




Anexo G.II.2: Sistema de Fan Coil Modelos 5, 6, 7, 8.

Tipología A	Modelos 9, 10, 11 y 12				
Puerto Montt					
Antes de 2001 (SRT)					
Carga edificio	11,07 kW	9523 kcal/hr			
	[m2]	Carga % [kcal/hr m2]	Capacidad Fan Coil		
Sup útil	56,5	9523	Kcal/hr	cantidad	descripción
Comedor	18,5	3118		3732	1 MFU025HO-R-BCMR
Cocina	8	1348		1992	1 MFU012HO-R-BCMR
Baño 1	2,5	421		0	0
Baño 2	2,5	421		0	0
Dormitorio 1	10	1686		1992	1 MFU012HO-R-BCMR
Dormitorio 2	8	1348		1992	1 MFU012HO-R-BCMR
Dormitorio 3	4,5	759		0	0
Pasillo	2,5	421		0	0
	<b>TOTAL</b>	<b>9523</b>		<b>9709</b>	<b>4</b>
Caudal circulación		0,95 [m3/h]	Área Fan Coil	1628640 [mm2]	
		0,26 [l/s]		1,63 [m2]	


Anexo G.II.3: Sistema de Fan Coil Modelos 9, 10, 11, 12.

Tipología A	Modelos 13, 14, 15 y 16				
Puerto Montt					
Despues de 2007 (CRT)					
Carga edificio	4,76 kW	4098 kcal/hr			
	[m2]	Carga % [kcal/hr m2]	Capacidad Fan Coil		
Sup útil	56,5	4098	Kcal/hr	cantidad	descripción
Comedor	18,5	1342		1992	1 MFU012HO-R-BCMR
Cocina	8	580		0	0
Baño 1	2,5	181		0	0
Baño 2	2,5	181		0	0
Dormitorio 1	10	725		1992	1 MFU012HO-R-BCMR
Dormitorio 2	8	580		1992	1 MFU012HO-R-BCMR
Dormitorio 3	4,5	326		0	0
Pasillo	2,5	181		0	0
	<b>TOTAL</b>	<b>4098</b>		<b>5977</b>	<b>3</b>
Caudal circulación		0,41 [m3/h]	Área Fan Coil	1140480 [mm2]	
		0,11 [l/s]		1,14 [m2]	

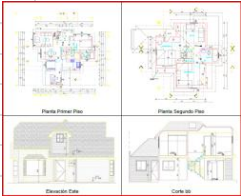
Anexo G.II.4: Sistema de Fan Coil Modelos 13, 14, 15, 16.

Tipología B	Modelos 17, 18, 19 y 20						
Santiago							
Antes de 2001 (SRT)							
Carga edificio	15,30 kW						
	13161 kcal/hr						
	[m2]	Carga % [kcal/hr m2]		Capacidad Fan Coil			
Sup útil	103	13161		Kcal/hr	cantidad	descripción	
Comedor	9	1150		1992	1	MFU012HO-R-BCMR	
Cocina	11,5	1469		1992	1	MFU012HO-R-BCMR	
Loggia	5,5	703		0	0		
Living	11	1405		3732	1	MFU025HO-R-BCMR	
Baño1	3,5	447		0	0		
Dormitorio 1	11	1405		1992	1	MFU012HO-R-BCMR	
Pasillo-escalera	9,5	1214		0	0		
Baño 2	2	256		0	0		
Dormitorio 2	11	1405		1992	1	MFU012HO-R-BCMR	
Dormitorio 3	11	1405		1992	1	MFU012HO-R-BCMR	
Sala estar	9,5	1214		0	0		
Baño 3	4	511		0	0		
Escalera Pasillo	4,5	575		0	0		
<b>TOTAL</b>		<b>13161</b>		<b>13693</b>	<b>6</b>		
Caudal circulación		1,32 [m3/h]	Área Fan Coil	2388960 [mm2]			
		0,37 [l/s]		2,39 [m2]			

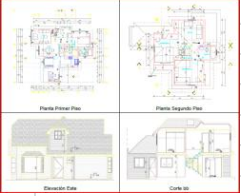
Anexo G.II.5: Sistema de Fan Coil Modelos 17, 18, 19, 20.

Tipología B	Modelos 21, 22, 23 y 24						
Santiago							
Despues de 2007 (CRT)							
Carga edificio	10,15 kW						
	8729 kcal/hr						
	[m2]	Carga % [kcal/hr m2]		Capacidad Fan Coil			
Sup útil	103	8729		Kcal/hr	cantidad	descripción	
Comedor	9	763		1992	1	MFU012HO-R-BCMR	
Cocina	11,5	975		0	0		
Loggia	5,5	466		0	0		
Living	11	932		1992	1	MFU012HO-R-BCMR	
Baño1	3,5	297		0	0		
Dormitorio 1	11	932		1992	1	MFU012HO-R-BCMR	
Pasillo-escalera	9,5	805		0	0		
Baño 2	2	170		0	0		
Dormitorio 2	11	932		0	0		
Dormitorio 3	11	932		0	0		
Sala estar	9,5	805		3732	1	MFU025HO-R-BCMR	
Baño 3	4	339		0	0		
Escalera Pasillo	4,5	381		0	0		
<b>TOTAL</b>		<b>8729</b>		<b>9709</b>	<b>4</b>		
Caudal circulación		0,87 [m3/h]	Área Fan Coil	1628640 [mm2]			
		0,24 [l/s]		1,63 [m2]			

Anexo G.II.6: Sistema de Fan Coil Modelos 21, 22, 23, 24.

Tipología B	Modelos 25, 26, 27 y 28					
Puerto Montt						
Antes de 2001 (SRT)						
Carga edificio	15,03 kW					
		12930 kcal/hr				
	[m2]	Carga % [kcal/hr m2]	Capacidad Fan Coil			
Sup útil	103	12930	Kcal/hr	cantidad	descripción	
Comedor	9	1130		2522	1 MFU020HO-R-BCMR	
Cocina	11,5	1444		1992	1 MFU012HO-R-BCMR	
Loggia	5,5	690		0	0	
Living	11	1381		2522	1 MFU020HO-R-BCMR	
Baño1	3,5	439		0	0	
Dormitorio 1	11	1381		1992	1 MFU012HO-R-BCMR	
Pasillo-escalera	9,5	1193		0	0	
Baño 2	2	251		0	0	
Dormitorio 2	11	1381		1992	1 MFU012HO-R-BCMR	
Dormitorio 3	11	1381		1992	1 MFU012HO-R-BCMR	
Sala estar	9,5	1193		0	0	
Baño 3	4	502		0	0	
Escalera Pasillo	4,5	565		0	0	
<b>TOTAL</b>		<b>12930</b>		<b>13012</b>	<b>6</b>	
Caudal circulación		1,29 [m3/h]	Área Fan Coil	2280960 [mm2]		
		0,36 [l/s]		2,28 [m2]		

Anexo G.II.7: Sistema de Fan Coil Modelos 25, 26, 27, 28.

Tipología B	Modelos 29, 30, 31 y 32					
Puerto Montt						
Despues de 2007 (CRT)						
Carga edificio	7,42 kW					
		6381 kcal/hr				
	[m2]	Carga % [kcal/hr m2]	Capacidad Fan Coil			
Sup útil	103	6381	Kcal/hr	cantidad	descripción	
Comedor	9	558		0	0	
Cocina	11,5	712		0	0	
Loggia	5,5	341		0	0	
Living	11	681		2522	1 MFU020HO-R-BCMR	
Baño1	3,5	217		0	0	
Dormitorio 1	11	681		1992	1 MFU012HO-R-BCMR	
Pasillo-escalera	9,5	589		0	0	
Baño 2	2	124		0	0	
Dormitorio 2	11	681		0	0	
Dormitorio 3	11	681		0	0	
Sala estar	9,5	589		1992	1 MFU012HO-R-BCMR	
Baño 3	4	248		0	0	
Escalera Pasillo	4,5	279		0	0	
<b>TOTAL</b>		<b>6381</b>		<b>6506</b>	<b>3</b>	
Caudal circulación		0,64 [m3/h]	Área Fan Coil	1140480 [mm2]		
		0,18 [l/s]		1,14 [m2]		


Anexo G.II.8: Sistema de Fan Coil Modelos 29, 30, 31, 32.

Tipología C	Modelos 33, 34, 35 y 36					
Santiago						
Antes de 2001 (SRT)						
Carga edificio	11,27 kW					
	9693 kcal/hr					
	[m2]	Carga % [kcal/hr m2]	Capacidad Fan Coil			
Sup útil	84,7	9693	Kcal/hr	cantidad	descripción	
Comedor	20	2289		3732	1 MFU025HO-R-BCMR	
Cocina	7	801		0	0	
Baño 1	3,6	412		0	0	
Baño 2	2,5	286		0	0	
Dormitorio 1	13	1488		1992	1 MFU012HO-R-BCMR	
Dormitorio 2	10,3	1179		1992	1 MFU012HO-R-BCMR	
Dormitorio 3	13	1488		1992	1 MFU012HO-R-BCMR	
Pasillo escala	4,8	549		0	0	
Sala estar	10,5	1202		0	0	
	<b>TOTAL</b>	<b>9693</b>		<b>9709</b>	<b>4</b>	
Caudal circulación		0,97 [m3/h]	Área Fan Coil	1628640 [mm2]		
		0,27 [l/s]		1,63 [m2]		

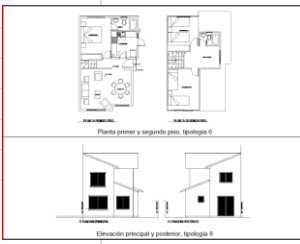
Anexo G.II.9: Sistema de Fan Coil Modelos 33, 34, 35, 36.

Tipología C	Modelos 37, 38, 39 y 40					
Santiago						
Despues de 2007 (CRT)						
Carga edificio	6,84 kW					
	5882 kcal/hr					
	[m2]	Carga % [kcal/hr m2]	Capacidad Fan Coil			
Sup útil	84,7	5882	Kcal/hr	cantidad	descripción	
Comedor	20	1389		1992	1 MFU012HO-R-BCMR	
Cocina	7	486		0	0	
Baño 1	3,6	250		0	0	
Baño 2	2,5	174		0	0	
Dormitorio 1	13	903		1992	1 MFU012HO-R-BCMR	
Dormitorio 2	10,3	715		0	0	
Dormitorio 3	13	903		0	0	
Pasillo escala	4,8	333		0	0	
Sala estar	10,5	729		1992	1 MFU012HO-R-BCMR	
	<b>TOTAL</b>	<b>5882</b>		<b>5977</b>	<b>3</b>	
Caudal circulación		0,59 [m3/h]	Área Fan Coil	1140480 [mm2]		
		0,16 [l/s]		1,14 [m2]		

Anexo G.II.10: Sistema de Fan Coil Modelos 37, 38, 39, 40.

Tipología C	Modelos 41, 42, 43 y 44					
Puerto Montt						
Antes de 2001 (SRT)						
Carga edificio	11,12 kW					
	9569 kcal/hr					
	[m2]	Carga % [kcal/hr m2]	Capacidad Fan Coil			
Sup útil	84,7	9569	Kcal/hr	cantidad	descripción	
Comedor	20	2259		3732	1 MFU025HO-R-BCMR	
Cocina	7	791		0	0	
Baño 1	3,6	407		0	0	
Baño 2	2,5	282		0	0	
Dormitorio 1	13	1469		1992	1 MFU012HO-R-BCMR	
Dormitorio 2	10,3	1164		1992	1 MFU012HO-R-BCMR	
Dormitorio 3	13	1469		1992	1 MFU012HO-R-BCMR	
Pasillo escala	4,8	542		0	0	
Sala estar	10,5	1186		0	0	
TOTAL		9569		9709	4	
Caudal circulación		0,96 [m3/h]	Área Fan Coil	1628640 [mm2]		
		0,27 [l/s]		1,63 [m2]		

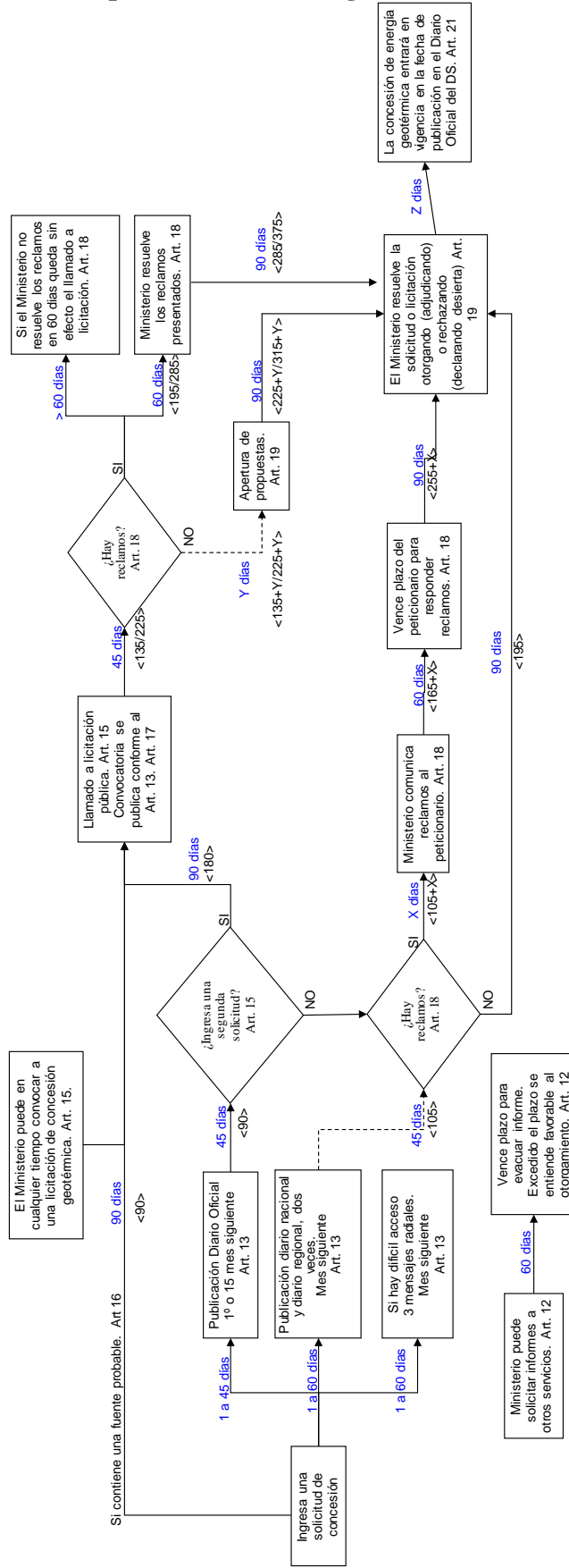
Anexo G.II.11: Sistema de Fan Coil Modelos 41, 42, 43, 44.

Tipología C	Modelos 45, 46, 47 y 48					
Puerto Montt						
Después de 2007 (CRT)						
Carga edificio	5,12 kW					
	4402 kcal/hr					
	[m2]	Carga % [kcal/hr m2]	Capacidad Fan Coil			
Sup útil	84,7	4402	Kcal/hr	cantidad	descripción	
Comedor	20	1039		1992	1 MFU012HO-R-BCMR	
Cocina	7	364		0	0	
Baño 1	3,6	187		0	0	
Baño 2	2,5	130		0	0	
Dormitorio 1	13	676		1992	1 MFU012HO-R-BCMR	
Dormitorio 2	10,3	535		0	0	
Dormitorio 3	13	676		0	0	
Pasillo escala	4,8	249		0	0	
Sala estar	10,5	546		1992	1 MFU012HO-R-BCMR	
TOTAL		4402		5977	3	
Caudal circulación		0,44 [m3/h]	Área Fan Coil	1140480 [mm2]		
		0,12 [l/s]		1,14 [m2]		

Anexo G.II.12: Sistema de Fan Coil Modelos 45, 46, 47, 48.

# ANEXO H: Diagrama de procesos concesión geotérmica (Ministerio de Energía)

DIAGRAMA DE LA TRAMITACION DE CONCESIONES GEOTERMICAS, LEY 19.657



**Notación:**

<T>: Corresponde al máximo tiempo acumulado en cada etapa del proceso, expresado en días.

<T1/T2>: Corresponde a los máximos tiempos acumulados en los casos en que la licitación es convocada por una fuente probable (T1) o por una segunda solicitud (T2), expresados en días.