

**UNIVERSIDAD DEL BÍO-BÍO**  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA MECÁNICA



**ESTUDIO COMPARATIVO DE CLIMATIZACIÓN POR BOMBA DE CALOR  
GEOTÉRMICA RESPECTO DE CALEFACCIÓN CON CALDERA Y  
ENFRIAMIENTO POR CHILLER.**

Informe de Habilitación Profesional presentado  
en conformidad a los requisitos para optar al  
Título de Ingeniero Civil Mecánico

Profesor Guía:

**Sr. REINALDO SÁNCHEZ ARRIAGADA**

**ALEJANDRO MATÍAS RIQUELME GALLARDO**

**CONCEPCIÓN-CHILE**

**2016**

## Resumen

Se realizó un estudio comparativo de climatización por bomba de calor geotérmica respecto de calefacción con caldera y enfriamiento por chiller en ciudades del sur de Chile, para un local de 300 m<sup>2</sup> de superficie.

Se estimaron cargas específicas de calefacción de 60 W/m<sup>2</sup> para Concepción y 75 W/m<sup>2</sup> para Puerto Montt, con un G admisible (Coeficiente de distribución de pérdidas volumétricas) de 1 y 1,1 W/m<sup>3</sup>K sucesivamente. Se estimó la potencia de refrigeración como un 30% mayor que la de calefacción, se obtuvieron así consumos anuales y costos de consumo de combustibles.

Se describió el contexto tecnológico que rodea a la climatización con energía geotérmica de baja temperatura, se establecieron variables y parámetros de una situación estándar en recintos situados en Concepción y Puerto Montt.

Se comparó técnica y económicamente sistemas de climatización de lazo cerrado y lazo abierto para tecnologías basadas en energía geotérmica de baja temperatura. Además se comparó con tecnologías de climatización convencionales; caldera a pellet, caldera a gas licuado, caldera a petróleo para invierno, soportado con chiller de enfriamiento para verano.

Se evaluó la implicancia normativa para proyectos de este tipo bajo parámetros locales.

Se seleccionaron las bombas de calor para el sistema de lazo cerrado y lazo abierto con y sin intercambiador intermedio, se diseñó y calculó la instalación de suelo radiante para climatización.

Se evaluó económicamente mediante “Análisis de ciclo de vida de instalaciones y sistemas” según norma ASTM E917, en un horizonte de evaluación de 20 años, para la instalación de climatización geotérmica de baja temperatura, para lazo abierto con y sin intercambiador intermedio, lazo cerrado y sistemas de climatización convencional basados en invierno con caldera a gas licuado, caldera a pellet, caldera a petróleo y con chiller de enfriamiento para verano.

Se concluyó del estudio de factibilidad técnico económico que los sistemas de climatización basados en energía geotérmica de baja temperatura, no son factibles comparados con sistemas convencionales.

De la comparación entre sistemas geotérmicos de climatización de lazo abierto con y sin intercambiador intermedio y lazo cerrado, se determinó que el sistema de lazo cerrado es más factible económicamente debido a los menores costos en inversión inicial. Dentro de los sistemas convencionales el más factible es calefacción con caldera a petróleo y enfriamiento con chiller.

## Índice de contenidos

Resumen

Índice de contenidos

Nomenclatura

Glosario

<b>Capítulo 1: Introducción .....</b>	<b>1</b>
1.1 Problemática y origen del proyecto .....	1
1.2 Objetivos.....	1
1.2.1 Objetivo general.....	1
1.2.2 Objetivos específicos .....	1
1.3 Metodología.....	1
1.4 Alcances.....	2
<b>Capítulo 2: Geotermia .....</b>	<b>3</b>
2.1 Definición geotermia .....	3
2.2 Energía geotérmica .....	3
2.3 Energía geotérmica de muy baja temperatura .....	4
2.4 Aplicaciones y tipos de energía geotérmica .....	4
2.5 Climatización de viviendas con energía geotérmica .....	5
<b>Capítulo 3: Circuito de intercambio de calor geotérmico .....</b>	<b>7</b>
3.1 Sistema de lazo abierto .....	7
3.1.1 Captación de agua subterránea.....	8
3.1.2 Captación de agua superficial .....	8
3.2 Sistema de lazo cerrado .....	8
3.2.1 Sistema de circulación directa .....	9
3.2.2 Sistemas de circulación indirecta.....	9
3.2.2.2 Intercambiadores de calor de tubo en espiral o slinky.....	11
<b>Capítulo 4: Bomba de calor .....</b>	<b>12</b>
4.1 Fuentes de energía para las bombas de calor.....	14
4.2 Clasificación de la bomba de calor .....	15
4.3 Bomba de calor geotérmica .....	15
4.4 Componentes fundamentales de la bomba de calor.....	16

4.5 Eficiencias de la bomba de calor .....	<b>17</b>
4.5.1 Eficiencia instantánea como bomba de calor (COP) .....	17
4.5.2 Eficiencia instantánea como máquina frigorífica (EER) .....	18
4.6 Ciclos de calefacción y refrigeración de la bomba de calor .....	<b>19</b>
4.6.1 Ciclo de calefacción .....	19
4.6.2 Ciclo de refrigeración .....	21
4.7 Tecnología de las bombas de calor agua-agua .....	<b>23</b>
4.8 Chiller o enfriador de agua .....	<b>26</b>
<b>Capítulo 5: Circuito de intercambio con el recinto .....</b>	<b>26</b>
5.1 Tipos de dispositivos de intercambio .....	<b>27</b>
5.1.1 Ventilconvectores o fancoils .....	27
5.1.2 Radiadores .....	27
5.1.3 Suelo radiante .....	28
5.2 Diseño de la instalación de suelo radiante .....	<b>29</b>
5.2.1 Longitud de tuberías de suelo radiante .....	29
5.2.2 Sistema de tuberías .....	31
5.2.3 Componentes del sistema de distribución en el suelo radiante .....	33
5.2.4 Esquema de instalación de suelo radiante .....	34
<b>Capítulo 6: Análisis técnico y condiciones del modelo de estudio .....</b>	<b>36</b>
6.1 Condiciones generales a considerar .....	<b>36</b>
6.1.1 Potencia de refrigeración en la instalación .....	37
6.1.2 Diseño y dimensionamiento de la instalación geotérmica .....	37
6.1.2.1 Sistema de lazo cerrado (climatización geotérmica) .....	37
<b>Capítulo 7: Sistema de lazo cerrado .....</b>	<b>39</b>
7.1 Condiciones caso N° 1 para sistema de climatización geotérmica en lazo cerrado .....	<b>40</b>
7.1.1 Elección de bomba de calor .....	40
7.1.2 Diseño de circuito de intercambio de calor geotérmico .....	40
7.2.2 Cálculo de largo de la tubería para refrigeración ( $L_{\text{refrigeración}}$ ) .....	46
7.2.3 Elección de bomba de circulación en circuito de intercambio geotérmico .....	48
7.2.4 Circuito de distribución de calor en el recinto .....	49
7.3 Condiciones caso N° 2 para sistema de climatización geotérmica en lazo cerrado .....	<b>59</b>
7.3.2 Circuito de intercambio de calor geotérmico .....	60

7.4 Elección de bomba de circulación en circuito de intercambio geotérmico .....	63
7.5 Circuito de distribución de calor en el recinto.....	64
7.5.1 Elección bomba de circulación para suelo radiante.....	64
7.5.1.1 Cálculo de caudales máxicos del circuito más desfavorable.....	65
7.5.1.3 Cálculo de caudal máximo en suelo radiante.....	67
<b>Capítulo 8: Sistema de lazo abierto .....</b>	<b>67</b>
8.1 Principios de diseño.....	68
8.2 Intercambiador intermedio de seguridad o protección de la bomba de calor .....	68
8.3 Selección de bombas de calor para lazo abierto .....	71
8.3.1 Caso 1.....	71
Selección de bomba de calor con intercambiador de calor de seguridad.....	72
8.3.2 Caso 2.....	72
<b>Capítulo 9: Evaluación del aspecto económico .....</b>	<b>73</b>
9.1 Análisis del ciclo de vida: Norma ASTM E917 .....	74
9.1.1 Definición de condiciones de contorno para el cálculo de análisis de ciclo de vida de cada tecnología.....	75
9.1.2 Cálculo de consumos y costos de energía para calefacción.....	76
9.1.3 Costos de consumos de combustible para refrigeración .....	77
9.1.6 Resumen de inversiones y costos de operación (climatización).....	79
9.1.7 Evaluación económica del caso 1 (Concepción) para las distintas tecnologías en estudio	80
9.1.8 Evaluación económica del caso 2 (Puerto Montt) para las distintas tecnologías en estudio	83
9.1.9 Resumen de carga anual equivalente .....	86
<b>Capítulo 10: Aspectos legales generales .....</b>	<b>87</b>
10.1 Aspectos legales de sistemas geotérmicos de muy baja temperatura de lazo abierto con uso de aguas subterráneas .....	88
10.1.1 Procesos para la obtención del derecho de aprovechamiento no consuntivo de aguas subterráneas.....	89
10.1.2 Requisitos.....	89
<b>Capítulo 11: Discusión y conclusiones.....</b>	<b>90</b>
<b>Capítulo 12: Bibliografía .....</b>	<b>94</b>
<b>ANEXOS .....</b>	<b>95</b>
Anexo I: Cálculos complementarios realizados .....	95

A.1.1 Cálculo vasos de expansión .....	95
A.1.2 Cálculo de datos técnicos no especificados lazo abierto.....	98
<b>Anexo II: Propiedades físicas y valores utilizados en aspectos técnicos. ....</b>	<b>102</b>
A.2.1 Valores típicos de G (Coeficiente volumétrico de distribución de pérdidas térmicas)...	102
A.2.2 Propiedades físicas de la solución acuosa de agua más 30% de monoetilenglicol.....	103
A.2.3 Propiedades físicas del agua en estado de saturación .....	104
A.2.4 Diagrama de Moody.....	105
<b>Anexo III: Características técnicas de equipos seleccionados.....</b>	<b>107</b>
A.3.1 Bombas de calor .....	107
A.3.2 Características técnicas tuberías HDPE .....	109
A.3.4 Características técnicas tuberías PVC .....	110
A.3.5 Características técnicas Chiller .....	111
A.3.6 Características técnicas bomba de circulación suelo radiante.....	112
A.3.7 Características técnicas vaso de expansión .....	113
A.3.8 Características técnicas caldera a Pellet.....	113
A.3.9 Características técnicas bombas de extracción agua freática para lazo abierto .....	114
A.3.10 Características caldera a gas .....	114
A.3.11 Características técnicas caldera a petróleo.....	115
<b>Anexo IV: Aspecto económico.....</b>	<b>117</b>
A.4.1 Inversión por concepto de piso radiante utilizado en todos los casos de estudio. ....	117
A.4.2 Inversión en los sistemas de climatización geotérmica Caso 1 (Concepción).....	119
A.4.3 Inversión en los sistemas de climatización geotérmica Caso 2 (Puerto Montt).....	122
A.4.4 Costo por consumo de combustible para calefacción (CASO 1).....	126
A.4.5 Comparación con tecnologías convencionales .....	129
A.4.6 Costo por consumo de combustible para calefacción (CASO 2).....	133
A.4.7 Comparación con tecnologías convencionales .....	136

## Índice de Figuras

Figura 2.1: Capas de la geósfera. ....	3
Figura 2.2: Perfil de temperaturas de la tierra en los meses de Agosto, Mayo, Noviembre y Febrero. ....	4
Figura 2.3: Elementos principales que componen un sistema de climatización geotérmico. ....	6
Figura 3.1: Sistema geotérmico de lazo abierto con captación de agua subterránea ....	8
Figura 3.2: Sistema de intercambio geotérmico de lazo cerrado en laguna. ....	8
Figura 3.3: Sistema de circuito cerrado de circulación directa instalado en un sondaje. ....	9
Figura 3.4: Sistema de circuito cerrado de circulación indirecta, instalado en un sondaje. ....	10
Figura 3.5: Sistema de lazo ccerrado con intercambiador horizontal de lazo cerrado. ....	11
Figura 3.7: Intercambiador de tubo en espiral de lazo cerrado. ....	11
Figura 3.8: Instalación de cañería en espiral sumergida en laguna. ....	12
Figura 4.1: Bomba de calor inmersa en un sistema de climatización geotérmico de lazo cerrado. ....	13
Figura 4.2: Esquema de funcionamiento de una bomba de calor en verano e invierno. ....	14
Figura 4.3: Fuentes de energíá para las bombas de calor. ....	14
Figura 4.4: Componentes de una bomba de calor geotérmica. ....	16
Figura 4.5: Sumatoria esquemática ..... de energías en bomba de calor. ....	18
Figura 4.6: Ciclo de calefacción en bomba de calor. ....	19
Figura 4.7: Bomba de calor en condición de calefacción en invierno. ....	20
Figura 4.8: Ciclo termodinámico de calefacción para bomba de calor. ....	21
Figura 4.9: Ciclo de Refrigeración en bomba de calor. ....	21
Figura 4.10: Ciclo de Refrigeración en bomba de calor. ....	22
Figura 4.11: Ciclo termodinámico de refrigeración para bomba de calor. ....	23
Figura 4.12: Sistema de climatización geotérmico en ciclo de calefacción con bomba de calor tierra-agua. ....	24
Figura 4.13: Sistema de climatización geotérmico en ciclo de refrigeración con bomba de calor tierra-agua. ....	25
Figura 4.14: Sistema de climatización geotérmico en ciclo de calefacción con bomba de calor agua-agua en lazo abierto. ....	25
Figura 4.15: Sistema de climatización geotérmico en ciclo de refrigeración con bomba de calor agua-agua en lazo abierto. ....	26
Figura 5.1: Fancoil de techo y pared. ....	27
Figura 5.2: Equipo radiador instalado. ....	28

Figura 5.3: Suelo radiante en proceso de instalación.....	28
Figura 5.4: Perfil de Temperaturas de un ambiente de acuerdo a diversas tecnologías.....	30
Figura 5.5: Elementos que conforman el piso radiante.....	30
Figura 5.6: Distribución en serpentín.....	31
Figura 5.7: Distribución en doble serpentín.....	32
Figura 5.8: Distribución en espiral.....	32
Figura 5.8: Sistema de distribución.....	33
Figura 5.9: Válvula reguladora.....	33
Figura 5.10: Purgador.....	33
Figura 5.11: Sistema de distribución instalado.....	34
Figura 5.12: Tuberías en suelo radiante.....	34
Figura 6.1: Componentes de una instalación de climatización geotérmica de lazo cerrado.....	38
Figura 6.2: Componentes de una instalación de climatización geotérmica de lazo abierto sin intercambiador de seguridad intermedio.....	38
Figura 6.3: Componentes de una instalación de climatización geotérmica de lazo abierto con intercambiador de seguridad intermedio.....	39
Figura 7.1: Sumatoria esquemática de energías.....	40
Figura 7.2: Comportamiento de un trozo de tubería, parte del circuito de intercambio geotérmico.....	41
Figura 7.3: Corte de una instalación de suelo radiante.....	49
Figura 7.4: Gráfico con condiciones de suelo radiante, caso 1.....	50
Figura 7.4: Esquema de disposición de la tubería en el suelo radiante.....	56
Figura 7.5 Sumatoria esquemática de energías en bomba de calor.....	60
Figura 7.6: Gráfico con condiciones de suelo radiante para refrigeración, caso 2.....	64
Figura 8.1: Esquema de instalación de lazo abierto con captación de agua freática.....	68
Figura 8.2: Toma de agua freática.....	68
Figura 8.3: bomba de calor más intercambiador de seguridad.....	69
Figura 8.4: Gráfico rendimiento intercambiador de calor.....	70
Figura 8.5: Esquema de bomba de calor sin intercambiador de seguridad.....	70
Figura 8.6: Diagramas esquemáticos mostrando como funciona un intercambio de calor de protección.....	71
Figura 9.1: Flujos de dinero en el horizonte de evaluación.....	74
Figura 9.1: Gráfico de consumo de energía anual de un edificio, respecto a su nivel de eficiencia energética.....	78



## Índice de Tablas

Tabla 4.1: Clasificación de la bomba de calor. ....	15
Tabla 5.1: Propiedades térmicas del PEX. ....	32
Tabla 6.1: Características generales recinto estándar para caso 1 y caso 2. ....	36
Tabla 7.1: Características de construcción suelo radiante. ....	52
Tabla 7.2: Datos técnicos tubería PEX. ....	52
Tabla 7.3: Cálculo temperatura punto de rocío. ....	53
Tabla 7.4: Condiciones interiores de diseño según invierno y verano. ....	54
Tabla 7.5: Resumen entre carga requerida y carga de diseño para climatización. ....	54
Tabla 9.1: Ejemplo de planilla Excel utilizada en cálculo de costos de consumo de combustible. ....	76
Tabla 9.2: Condiciones de la estructura de un edificio para simulación. ....	78
Tabla 9.3: Resultados de simulación de edificio. ....	78
Tabla 9.4: Inversión por concepto de suelo radiante. ....	117
Tabla 9.5: Resumen de inversiones y gasto de combustible en ambos casos. ....	79

## Nomenclatura

$\alpha$ : Coeficiente de convección,  $W/m^2K$

$A$ : Área o superficie,  $m^2$

$A_{sr}$ : Superficie cubierta por el circuito de suelo radiante,  $m^2$

$A_{TC}$ : Área de transferencia de calor,  $m^2$

$c$ : Calor específico,  $Jkg/K$

$C_{O\&M}$ : Costo de operación y mano de obra anual, pesos

$C_{reem}$ : Costo de los equipos u accesorios a reemplazar, pesos

$C$ : Capacidad volumétrica de la instalación, litros

$d_{ext}$ : Diámetro exterior de tubería, m

$d_{int}$ : Diámetro interior de tubería, m

$\rho$ : Densidad,  $kg/m^3$

**$f$** : Factor de fricción

**$g$** : Aceleración de gravedad,  $m^2/s$

**$\lambda$** : Conductividad térmica  $W/mK$

**$\vartheta$** : Viscosidad cinemática,  $m^2/s$

**$\mu$** : Viscosidad dinámica,  $Pa\ s$

**$\vec{v}$** : Velocidad,  $m/s$

**$L_{calefacción}$** : Largo de la tubería de intercambio geotérmico con agua superficial en régimen de calefacción,  $m$

**$L_{refrigeración}$** : Largo de la tubería de intercambio geotérmico con agua superficial en régimen de refrigeración,  $m$

**$Nu$** : Número de Nusselt

**$\eta_{IS}$** : Rendimiento de intercambiador de seguridad, %

**$\eta_{ins}$** : Rendimiento de la instalación, %

**$Q_{evap}$** : Calor consumido por evaporador en bomba de calor,  $W$

**$Q_{cond}$** : Calor entregado por condensador en bomba de calor,  $W$

**$Q_{ref}$** : Potencia de refrigeración,  $W$

**$Q_{calef}$** : Potencia de calefacción,  $W$

**$\dot{V}$** : Flujo volumétrico,  $m^3/s$

**$\dot{m}$** : Flujo másico,  $kg/s$

**$q$** : Densidad de flujo térmico,  $W/m^2$

**$q_{calef}$** : Potencia específica de calefacción,  $W/m^2$

**$q_{ref}$** : Potencia específica de refrigeración,  $W/m^2$

**$\varepsilon$** : Rugosidad relativa,  $m$

**$Pr$** : Número de Prandtl

**$Re$** : Número de Reynolds

**$Ra$** : Número de Rayleigh

**$R_0$** : Resistencia térmica parcial ascendente del suelo,  $m^2K/W$

**$R_u$** : Resistencia térmica parcial descendente del suelo,  $m^2K/W$

**$r_1$** : Radio interior de tubería, m

**$r_2$** : Radio exterior de tubería, m

**$\sigma$** : Salto de temperatura,  $^{\circ}C$

**$\Delta T_{MLDT}$** : Media logarítmica de la diferencia de temperaturas,  $^{\circ}C$

**$t_{ent}$** : Temperatura de agua de entrada,  $^{\circ}C$ .

**$t_{sal}$** : Temperatura de agua de salida,  $^{\circ}C$

**$t_{agua\ sup}$** : Temperatura de agua superficial,  $^{\circ}C$

**$t_{piso}$** : Temperatura de piso en suelo radiante,  $^{\circ}C$

**$t_{pr}$** : Temperatura de punto de rocío,  $^{\circ}C$

**$t_p$** : Temperatura de pared,  $^{\circ}C$

**$t_r$** : Temperatura interior del recinto,  $^{\circ}C$

**$t_{\infty}$** : Temperatura del medio no perturbado,  $^{\circ}C$

**$We$** : Trabajo realizado por el compresor en la bomba de calor, W

**$G$** : Coeficiente de distribución de pérdidas volumétricas,  $W/m^3K$

**$\dot{m}_{H2O+glicol}$** : Flujo de agua más etilenglicol, kg/s.

**$c_{H2O+glicol}$** : Calor específico de agua más etilenglicol, J/kgK.

**$U$** : Coeficiente global de transferencia de calor,  $W/m^2K$

## **Glosario**

CCHC: Cámara chilena de la construcción.

VDI 4640: Norma técnica alemana para la geotermia.

ERNC: Energía renovable no convencional

COP: (Coefficient of performance), coeficiente de eficiencia energética en modo calefacción.

EER: (Energy efficiency ratio), factor de eficiencia energética en el modo refrigeración.

HSFP: (Heating Seasonal Performance Factor), rendimiento medio de una instalación durante el invierno.

CSPF: (Cooling Seasonal Performace Factor), rendimiento medio de una instalación durante el verano.

CO<sub>2</sub>: Dióxido de carbono.

A.C.S.: Agua caliente sanitaria.

EPS: Poliestireno expandido.

PEX: Polietileno reticulado.

HR: Humedad relativa.

ASTM: Organización de normas internacionales

DGA: Dirección General de Aguas

## Capítulo 1: Introducción

### 1.1 Problemática y origen del proyecto

El presente estudio considerará el ámbito técnico, económico y normativo que abarca el diseño e instalación de sistemas de climatización que funcionen con energía geotérmica de muy baja temperatura, comparando sistemas de climatización geotérmica por bomba de calor respecto de calefacción con caldera y enfriamiento por chiller, para un local de 300 m<sup>2</sup> de superficie, en Concepción y Puerto Montt, ciudades del sur de Chile.

La climatización se define como la “Acción y efecto de climatizar, producto de calefaccionar y refrigerar, es decir, dar a un espacio cerrado condiciones de temperatura, humedad relativa, pureza del aire y a veces presión, necesarias para el bienestar de las personas y/o conservación de productos”. (Manual de instalaciones térmicas CCHC, 2014).

La geotermia es una fuente energética limpia y renovable, que se puede utilizar para la generación de electricidad y también para el desarrollo de una serie de procesos domésticos e industriales que requieran calor. “Su funcionamiento se basa principalmente en el aprovechamiento de la energía almacenada por debajo de la superficie sólida de la tierra” (VDI 4640, 2010), para geotermia de superficies o de muy baja temperatura, esto incluye el calor almacenado en rocas, suelos y aguas subterráneas, cualquiera sea su temperatura, profundidad y procedencia. “Los sistemas geotérmicos de baja temperatura aprovechan la energía interna y la inercia térmica de la tierra, donde 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 metros de profundidad” (VDI 4640, 2010).

En el caso particular de energía geotérmica utilizada en sistemas de climatización, se aprovecha la estabilidad de la temperatura que tiene el subsuelo para extraer calor del recinto a calefaccionar y transferirlo al suelo, o de forma inversa, extraer calor del suelo y transferirlo al recinto. (Dependiendo si se trata de invierno o verano).

La mayor parte del consumo energético en los edificios de vivienda se atribuye a necesidades de climatización. En la actualidad la mayoría de la energía que se utiliza para generar calor, es obtenida a partir de la quema de combustibles fósiles, por esto se deduce que los actuales sistemas de climatización, contribuyen a las emisiones de dióxido de carbono y otros gases de efecto invernadero. Estos a su vez afectan negativamente el clima y sustentabilidad de nuestro planeta.

Chile se ha suscrito de forma voluntaria a la “Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (1994)” y al “Protocolo de Kioto” (2002), cuyos fines fundamentales son realizar acciones como país, para la disminución progresiva de emisiones de gases de efecto invernadero a la atmósfera, entre estos se encuentra el dióxido de carbono. Gas que se forma producto de la combustión. En este contexto la energía geotérmica poco profunda, representa una fuente de energía renovable no convencional (ERNC) con un amplio potencial de desarrollo, debido al bajo consumo energético, limpio, renovable y eficiente del proceso. En comparación con sistemas de climatización convencionales que funcionan mayormente con gas, petróleo o biomasa.

“Un proyecto es la búsqueda de una solución inteligente al planteamiento de un problema tendiente a resolver, entre tantas, una necesidad humana” (Sapag Chain, 2008). En todo proyecto “La gestión de los recursos de la sociedad es importante, porque estos son escasos. La escasez significa que la sociedad tiene unos recursos limitados” (Mankiw, 2004). Esto se relaciona directamente con la sustentabilidad y sostenibilidad de nuestro planeta. El diseño de un proyecto y un buen fin, depende principalmente de utilizar eficaz y efectivamente información clave. Conocer que tipos de tecnología usar dentro de una gama de tecnologías existentes, ayuda significativamente en la toma de decisiones. marcan la diferencia en cuanto a la calidad de estas, por esto, este estudio en parte, busca sentar las bases para el desarrollo de este tipo de energía y dar una noción objetiva del contexto actual que debe enfrentar todo aquel que desee desarrollar un proyecto de climatización de este tipo en Chile, se contribuirá de este modo en la independización de nuestro país frente a los cambios del precio de combustibles fósiles y aportar en la disminución sucesiva de los gases de efecto invernadero, principalmente de dióxido de carbono, que se presenta en los sistemas de climatización convencionales. Esto también permitirá resolver problemáticas referentes a que tipo de tecnología es más apropiada para alta, mediana y baja potencia requerida de climatización. Junto a este proceso, se entenderá la importancia que tiene el contexto y sus múltiples factores en determinar el éxito o fracaso de un proyecto, considerando que lo normativo político, económico, social y técnico se unen e interactúan constantemente.

## **1.2 Objetivos**

### **1.2.1 Objetivo general**

Evaluar la factibilidad técnica y económica de utilizar energía geotérmica con bomba de calor agua-agua, comparando dichas tecnologías con respecto a sistemas de calefacción con caldera y enfriamiento por chiller, en ciudades del sur de Chile.

### **1.2.2 Objetivos específicos**

Los objetivos específicos son los siguientes:

- Describir contexto tecnológico de la energía geotérmica en sistemas de climatización.
- Establecer variables y parámetros de un recinto, que permita el estudio de casos y la comparación de instalación de sistemas de climatización en el sur de Chile.
- Desarrollar un estudio técnico económico que caracterice y compare sistemas de lazo abierto y cerrado, en la tecnología de bombas de calor geotérmicas, respecto de sistemas de calefacción con caldera y enfriamiento con chiller, para alimentar suelo radiante de un recinto.
- Evaluar las implicancias normativas para un proyecto de este tipo bajo parámetros locales.

## **1.3 Metodología**

Con el fin de cumplir con los objetivos propuestos, el trabajo se dividirá en las siguientes etapas:

Primero se dará a conocer el marco teórico que rodea la energía geotérmica de muy baja temperatura utilizada en climatización.

Segundo, la parte técnica económica del proyecto se trabajará a través de casos propuestos, bajo la premisa de disposición de recursos clave, que permita el funcionamiento e instalación de sistemas de climatización que funcionen con bomba de calor agua-agua para energía geotérmica de baja temperatura , permitiendo así la comparación efectiva de las diversas tecnologías existentes.

Se elegirán dos ciudades de Chile, una del centro y una del sur de nuestro país, Concepción y Puerto Montt sucesivamente, para un recinto con condiciones de potencia a climatizar de acuerdo a cada caso.

Para cada caso se analizará la viabilidad de sistemas de lazo abierto y cerrado. Específicamente tres posibilidades a estudiar:

1. Lazo abierto
  - a) Para sistema de pozo, con agua subterránea y bomba de calor agua-agua con y sin intercambiador de seguridad intermedio.
2. Lazo cerrado
  - a) Para agua superficial de cualquier tipo con intercambiador de lazo cerrado que funcione con bomba de calor agua-agua.
3. Los resultados obtenidos se compararán técnica y económicamente con sistemas de climatización convencionales.

Finalmente se darán a conocer las conclusiones, resultados y comentarios finales del estudio en cuestión.

#### **1.4 Alcances**

El alcance del estudio cubre:

- Marco teórico referente a la climatización con energía geotérmica de muy baja temperatura.
- Evaluación técnica económica.
- Aspectos legales generales.
- Conclusiones.



## Capítulo 2: Geotermia

### 2.1 Definición geotermia

Geotermia es una palabra de origen griego, proviene de “Geos” que quiere decir tierra, y de “Thermos” que significa calor. Lo que en conjunto significa el “calor de la tierra”. Se denomina como geotermia, a la ciencia que estudia los fenómenos térmicos internos del planeta o al conjunto de procesos industriales que intentan utilizar esa energía interna para producir energía eléctrica y/o calor útil para el ser humano.

El planeta Tierra está constituido desde el centro hasta la superficie por tres capas sucesivas de temperatura decreciente que son:

- Núcleo: Se caracteriza por ser sólido interiormente y líquido en su parte exterior. Su temperatura puede alcanzar los 4200 °C.
- Manto: Envuelve el núcleo, posee temperaturas que van desde los 3200°C a los 1000°C. Tiene textura plástica hacia el centro, se vuelve sólido hacia la superficie.
- Corteza: Es la envoltura superficial de la Tierra. Su temperatura varía desde los 1000°C en contacto con el manto, hasta los 15 a 20°C de la superficie terrestre. Su espesor es de 5 a 20 km. en las profundidades oceánicas y desde 30 a 70 km. bajo los continentes.

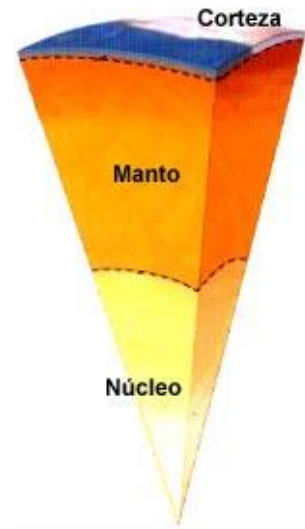


Figura 2.1: Capas de la geósfera.

### 2.2 Energía geotérmica

“Energía geotérmica es la energía interna almacenada por debajo de la superficie sólida de la tierra”. (VDI 4640). La energía geotérmica es la energía que se puede obtener mediante el aprovechamiento de la energía interior de la Tierra. Cuando se habla de energía interna en el interior de la tierra, esto incluye la que se almacena en rocas, suelos y aguas subterráneas con total independencia de su temperatura, procedencia o profundidad.

Esta energía tiene la gran ventaja sobre el resto de las renovables en su alto grado de disponibilidad, haciendo la analogía con lo basto de la superficie terrestre, ahora lo que preocupa es el porcentaje en que estos recursos se puedan transformar en energía utilizable para el bienestar de la humanidad.

### 2.3 Energía geotérmica de muy baja temperatura

La energía geotérmica de muy baja temperatura, es el objeto de estudio de este trabajo y debe en parte sus aplicaciones en la capacidad que el subsuelo posee de acumular temperatura y de mantener una temperatura constante, entre los 10 y 20 metros de profundidad, a lo largo de todo el año (dicha temperatura rondará los 10°C variando en función de la zona geográfica). Se aprecia en la figura 2.2 que a mayor profundidad las temperaturas de la tierra aumentan.

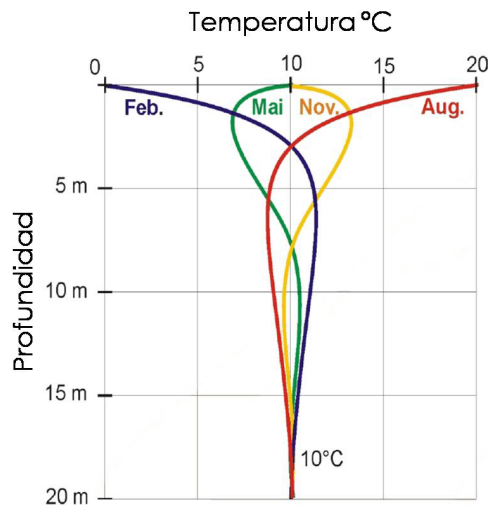


Figura 2.2: Perfil de temperaturas de la tierra en los meses de Agosto, Mayo, Noviembre y Febrero.

Prácticamente la totalidad de la corteza del planeta constituye un extenso yacimiento de recursos geotérmicos de muy baja temperatura. En cualquier punto de la superficie del planeta se puede captar y aprovechar la energía almacenada en las capas superficiales del subsuelo, a pocos metros de profundidad, o en acuíferos superficiales y subterráneos como ríos, lagos o aguas subterráneas.

### 2.4 Aplicaciones y tipos de energía geotérmica

Las aplicaciones que se le pueden dar a un flujo geotermal dependen de su entalpía. De este modo, contextualizando, la entalpía es la cantidad de energía térmica que un fluido u objeto puede intercambiar con su entorno. Se expresa en kJ/kg o en kcal/kg.

Como no existen instrumentos que determinen directamente la entalpía de un fluido en el subsuelo, pero sí existen sondas térmicas que miden la temperatura, son las temperaturas al fin y al cabo, las que determinan su aplicación industrial.

La energía geotérmica se puede clasificar en cuatro categorías, en función de la temperatura y profundidad, dando como resultado la aplicación industrial que se le puede dar a los recursos geotérmicos. El uso de la energía geotérmica se clasifica en este caso según el “Código Minero” de Francia, que se aplica a la energía geotérmica, como a las explotaciones, los yacimientos y los recursos geotérmicos en:

- **Alta temperatura** ( $t > 150^{\circ}\text{C}$ ): Una temperatura superior a  $150^{\circ}\text{C}$  permite transformar directamente el vapor de agua en energía eléctrica.
- **Media temperatura** ( $150^{\circ}\text{C} > t > 90^{\circ}\text{C}$ ): Permite producir energía eléctrica utilizando un fluido de intercambio, que es el que alimenta a las centrales.
- **Baja temperatura** ( $90^{\circ}\text{C} > t > 30^{\circ}\text{C}$ ): Su entalpía es insuficiente para producir energía eléctrica, pero es adecuado para calefacción de edificios y en determinados procesos industriales y agrícolas.
- **Muy baja temperatura** ( $t < 30^{\circ}\text{C}$ ): Puede ser utilizada para calefacción y climatización, necesitando emplear bombas de calor.

Dentro de la geotermia de muy baja temperatura se encuentran los captadores geotérmicos que pueden ser utilizados para climatización unidos a bombas de calor.

Se puede utilizar para calefacción o refrigeración de edificios y para calentar el agua. Hay que tener en consideración que aproximadamente a 20 metros de profundidad, en la Tierra existe un equilibrio entre la temperatura exterior e interior en la que la temperatura permanece constante, hasta los 40 metros puede llegar ese punto de equilibrio, variando de acuerdo a las condiciones geológicas, geográficas y a las fluctuaciones estacionales propias de la zona. En este nivel de equilibrio las fluctuaciones climáticas no se perciben, y la temperatura es de aproximadamente la temperatura media anual del lugar.

## 2.5 Climatización de viviendas con energía geotérmica

Para la climatización de edificios y viviendas, resulta de mayor utilidad el uso de energía geotérmica de muy baja temperatura.

Durante el verano, la vivienda tiene la necesidad de extracción de calor, por lo tanto el subsuelo se comporta como desagüe de calor. Al contrario durante el invierno, se revierte la situación. La vivienda tiene necesidades de aporte de calor, aquí el subsuelo se comporta como un manantial de calor aportándolo a través de intercambiadores de calor y bomba de calor.

Los sistemas en estudio, se clasifican en dos grandes grupos que se diferencian principalmente en la forma en que se constituye el circuito de intercambio de calor geotérmico, estos pueden ser circuitos de lazo abiertos y cerrados. Esto derivado del tipo de sistema que formaría de acuerdo al estudio termodinámico.

- **Sistema de lazo abierto:** En sistema de lazo abierto es posible la transferencia de masa y energía, en este caso un fluido y transferencia de calor, la masa contenida en él no es necesariamente constante.
- **Sistema de lazo cerrado:** Es una región que posee una masa constante, en este caso un fluido, que a través de sus límites sólo se permite la transferencia de energía, en este caso transferencia de calor.

Un sistema de climatización geotérmica de muy baja temperatura, se compone de los siguientes elementos principales:

- Circuito de intercambio de calor geotérmico.**
- Bomba de calor geotérmica.**
- Circuito de distribución de calor en el recinto.**

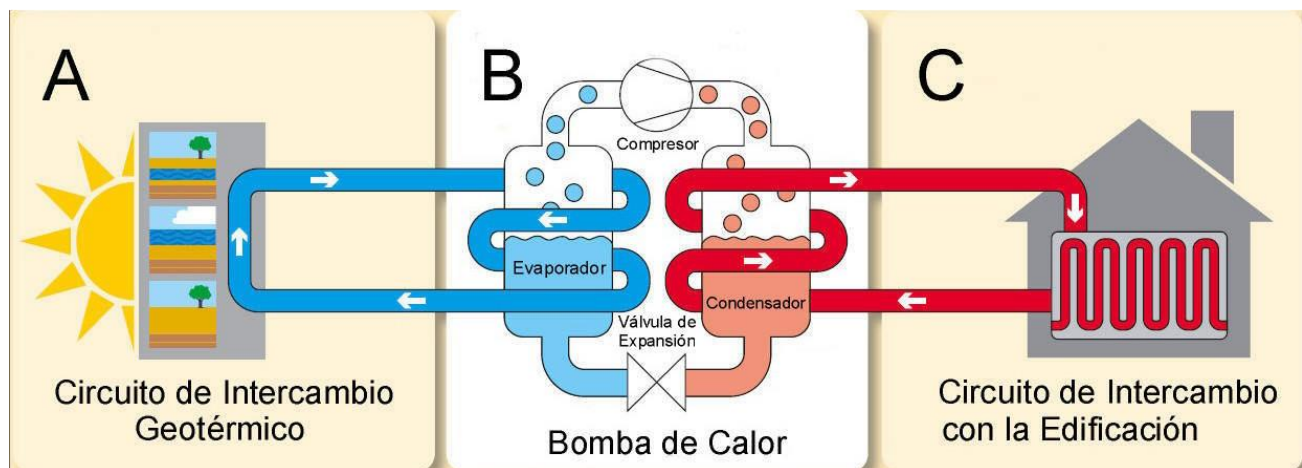


Figura 2.3: Elementos principales que componen un sistema de climatización geotérmica.

### **Capítulo 3: Circuito de intercambio de calor geotérmico**

El circuito de intercambio de calor geotérmico se compone principalmente de intercambiadores geotérmicos para bomba de calor, llamados también colectores o captadores, comprenden una variedad de sistemas que usan el suelo, aguas subterráneas o aguas superficiales como fuente térmica o de calor en verano y de sumidero térmico recibiendo el calor extraído del edificio en invierno. Son comunes los intercambiadores que consisten en tuberías enterradas en trincheras horizontales, perforaciones verticales profundas, tuberías sumergidas en un lago, río o pozo de agua subterránea.

Por el circuito de intercambio de calor geotérmico circula un fluido, normalmente una mezcla de agua más anticongelante en el caso de un sistema de lazo cerrado y el paso del agua extraída de algún pozo o de la superficie de alguna fuente de agua en el caso de un sistema de lazo abierto, que al ponerse en contacto con el subsuelo, aguas subterráneas o aguas superficiales, captarán o cederán energía como consecuencia de un salto térmico o diferencia de temperatura entre el fluido y el terreno.

A continuación se nombran y describen los distintos sistemas de captación de la energía geotérmica para climatización.

#### **3.1 Sistema de lazo abierto**

Se le denomina sistema de lazo abierto a los circuitos en que el agua se toma desde el subsuelo u otra fuente (ríos, lagos, lagunas) en algún punto y se devuelve en otro situado a una distancia en dónde no influya su temperatura distinta de salida en el rendimiento de la instalación.

En modo calefacción el calor es extraído desde el flujo bombeado o bien en modo enfriamiento se disipa al acuífero. En modo enfriamiento, si la temperatura es suficientemente baja no necesariamente se necesitará una bomba de calor en el sistema, el agua extraída pasa directamente por los intercambiadores de calor que proveen la fuente de frío que necesita el sistema, esto evita el gasto asociado a la compresión y descompresión del gas que es desde el punto de vista eléctrico el de mayor magnitud a este diseño se le denomina free cooling o refrigeración pasiva.

En modo calefacción es normal el uso de la bomba de calor para proveer calefacción activa, es decir utilizando el compresor para obtener una mayor temperatura.

### 3.1.1 Captación de agua subterránea

El agua subterránea es extraída de un pozo mediante una bomba y tuberías, captando su calor. A continuación es devuelta al acuífero a través del mismo u otro pozo, o bien a un cuerpo de agua cercano. Se puede considerar el agua subterránea como una fuente ideal de calor puesto que se mantiene a la misma temperatura todo el año.

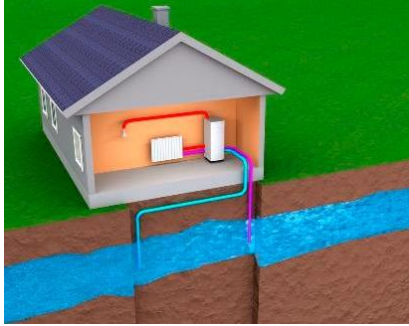


Figura 3.1: Sistema geotérmico de lazo abierto con captación de agua subterránea.

### 3.1.2 Captación de agua superficial

El agua superficial es extraída de alguna fuente de agua, río, lago o laguna cercana a la instalación geotérmica mediante una bomba y tuberías, captando su calor. A continuación es devuelta al acuífero, se puede considerar el agua superficial como una buena fuente de calor puesto que posee una variación de temperatura muy baja a lo largo del año.

## 3.2 Sistema de lazo cerrado

Se denomina sistema de lazo cerrado al sistema que no requiere extracción y reinyección de agua. Las tuberías que transfieren calor con el medio, poseen una masa constante de fluido, la mayoría de las veces agua más anticongelante. Los circuitos cerrados pueden ser de dos tipos, de circulación directa o bien de circulación indirecta.



Figura 3.2: Sistema de intercambio geotérmico de lazo cerrado en laguna.

### 3.2.1 Sistema de circulación directa

En los sistemas de circulación directa el líquido refrigerante de la bomba de calor circula al interior del subsuelo en un circuito cerrado formado por un tubo de cobre. El circuito puede estar enterrado a poca profundidad en una trinchera o bien estar asociado a un sondaje vertical. En este caso el terreno superficial actúa como el evaporador de la bomba de calor. El refrigerante frío ingresa directamente al circuito enterrado en el subsuelo, absorbe el calor desde el medio relativamente cálido y retorna al compresor de la bomba de calor donde se eleva la temperatura que es liberada hacia la calefacción en el condensador.

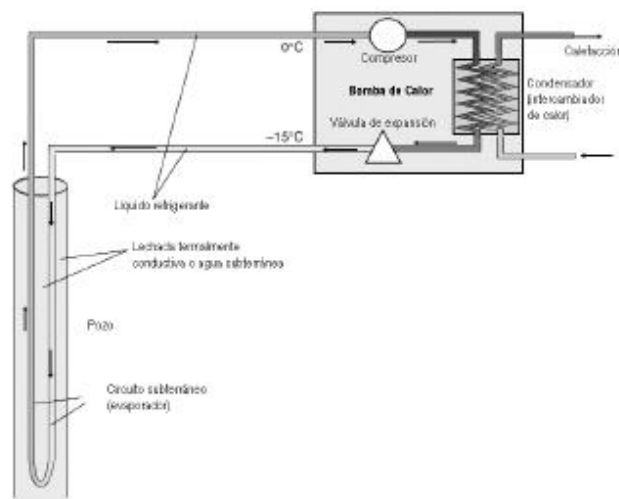


Figura 3.3: Sistema de circuito cerrado de circulación directa instalado en un sondaje.

La opción de sistemas de circulación directa se ha dejado de usar por el potencial de infiltración del agua subterránea con el líquido refrigerante, dependiendo lo contaminante y nocivo de este tipo de sistema en el tipo de refrigerante, que varía desde CO<sub>2</sub>, hasta hidrocarburos halogenados altamente tóxicos para los seres vivos.

### 3.2.2 Sistemas de circulación indirecta

Se puede evitar la circulación del líquido refrigerante directamente en el circuito ubicado en el subsuelo por medio del uso de un sistema de circulación indirecto. En este caso se usa un fluido caloportador anticongelante (usualmente basado en agua) en el circuito cerrado expuesto al subsuelo (trincheras o sondajes), el cual intercambia calor por medio de un intercambiador de calor al líquido refrigerante. Actualmente el circuito usa típicamente cañerías de polietileno, que presenta una baja conductividad térmica es mucho más barato, durable y anticorrosivo, el diámetro externo es

usualmente entre 26 y 40 mm, el circuito soporta presiones de 10 a 16 bar, aunque en la operación normalmente se usa de 2 a 3 bar.

El fluido caloportador es típicamente agua con anticongelante lo que permite que el fluido sea enfriado a temperaturas tan bajas como  $0^{\circ}\text{C}$ , el anticongelante típicamente suele ser glicol etileno, etanol, o sal entre otros, los puntos de fusión normalmente oscilan entre  $-10$  y  $-20^{\circ}\text{C}$ . En las condiciones expuestas las autoridades regulatorias usualmente no presentan objeciones para el uso de estos fluidos.

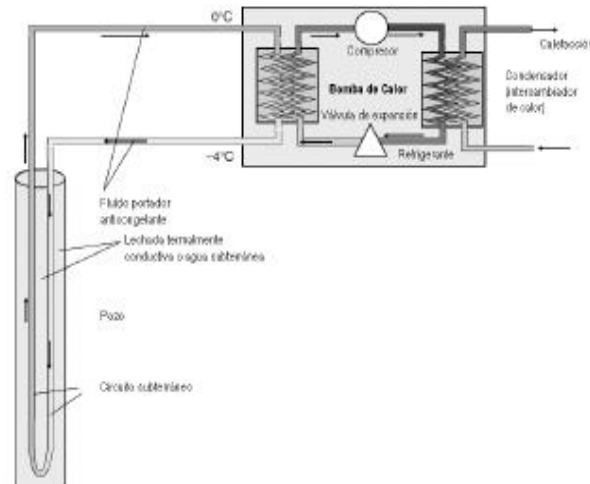


Figura 3.4: Sistema de circuito cerrado de circulación indirecta, instalado en un sondaje.

### 3.2.2.1 Circuitos cerrados horizontales

Es una de las formas más económicas para sistemas de circuito cerrado de circulación indirecta son los circuitos cerrados horizontales instalados en trincheras. La profundidad óptima es de 1.2 a 2 metros, esta profundidad permite:

- El acceso con una excavadora mecánica
- Es suficientemente profunda como para permitir la entrega de calor para calefacción en invierno, permite una humedad razonable del suelo (lo que facilita la conductividad térmica del mismo) y además sirve como capa aislante en caso de heladas.
- Es lo suficientemente superficial como para permitir que el calor atmosférico y solar penetre y reponga durante los meses de verano, el calor alrededor del circuito que fue usado durante los meses de invierno.



De esta forma se puede convenir que los circuitos horizontales se comportan como grandes colectores solares. Como norma general, una cañería de polietileno simple puede proveer entre 15 a 30 W por metro de trinchera en modo calefacción, es decir entre 33 a 67 m son necesarios por kW instalado.

La construcción de un intercambiador horizontal comienza con la excavación de una amplia zanja de 1 a 1,5 metros de profundidad, sobre la que se depositan las tuberías de polietileno convenientemente alineadas.

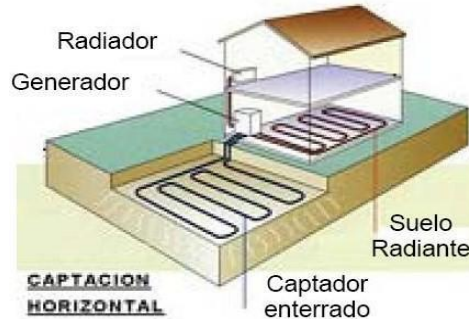


Figura 3.5: Sistema de lazo cerrado con intercambiador horizontal de lazo cerrado.

### 3.2.2.2 Intercambiadores de calor de tubo en espiral o slinky

Otro tipo de intercambiadores horizontales y que es bastante compacto son los denominados “slinky”. Su ejecución es más laboriosa que la de los horizontales convencionales, y al igual que éstos quedan influenciados en cierta medida por las condiciones ambientales. Dado lo compacto de su diseño es necesario estar seguro de que la difusividad térmica sea suficiente para responder al nivel de intercambio de calor en tan poca superficie.



Figura 3.7: Intercambiador de tubo en espiral de lazo cerrado.

### 3.2.2.3 Captación desde masas superficiales de agua como ríos y lagos

Construir un serpentín y sumergirlo en un lago o dejarlo en captación directa, empleando agua de acuífero la bastante grande. Este último método es que presenta mayor potencia térmica, aunque está sujeto a la legislación de aguas y puede tener limitaciones de protección medioambiental.

Los circuitos en espiral pueden ser instalados en lagos o lagunas, en lagos la profundidad ideal es de 3 m de modo de evitar la oscilación térmica más superficial. Además se debe procurar que el tamaño de la laguna o lago tenga la dimensión suficiente para que la extracción de calor (o carga) no produzca cambios significativos en la temperatura de la laguna que puedan afectar el ecosistema. La instalación del circuito en espiral es muy económica pero queda condicionada a la disponibilidad del cuerpo de agua.



Figura 3.8: Instalación de cañería en espiral sumergida en laguna.

#### Capítulo 4: Bomba de calor

Una bomba de calor es una máquina térmica capaz de transferir energía en forma de calor desde una fuente de baja temperatura (foco frío) a otra fuente de mayor temperatura (foco caliente), luego de la suministración de trabajo externo acorde a la segunda ley de la termodinámica, según la cual el calor se dirige de manera espontánea de un foco caliente a otro frío, y no al revés, hasta que sus temperaturas se igualen. Esta máquina térmica puede funcionar como un sistema reversible de refrigeración o calefacción en verano e invierno respectivamente. Esto se debe a que la bomba de calor está preparada para invertir su ciclo de funcionamiento y permitir la transferencia de calor entre las fuentes según sea el caso, gracias a una válvula inversora de flujo.

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

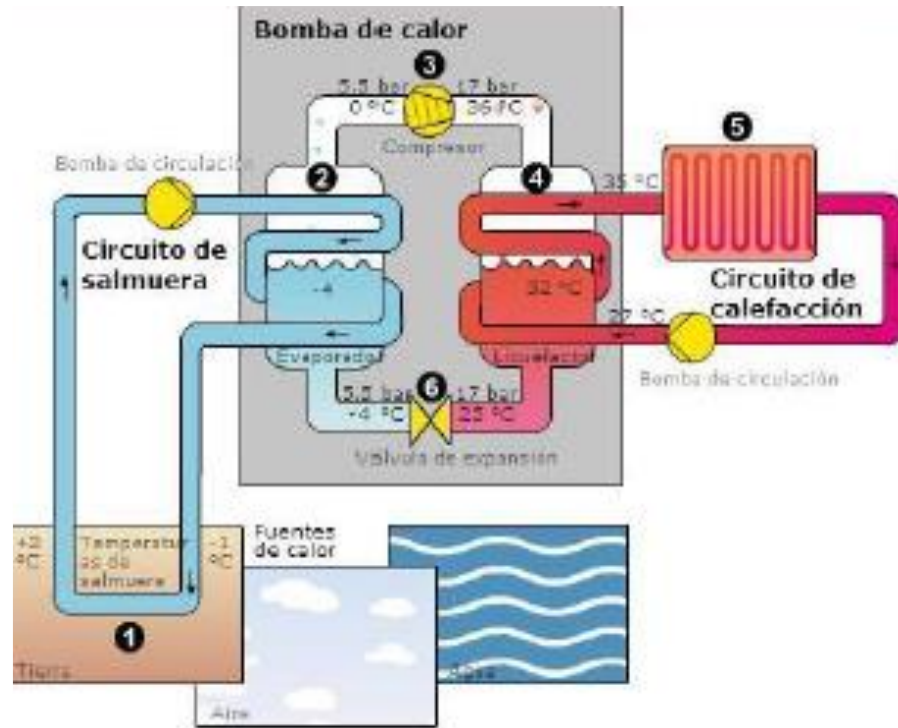


Figura 4.1: Bomba de calor inmersa en un sistema de climatización geotérmica de lazo cerrado.

Su aplicación particular como bomba de calor o máquina frigorífica se debe sucesivamente a que en procesos de climatización, es posible:

- Utilizar la fuente de menor temperatura para calentar un ambiente.
- Utilizar la fuente de mayor temperatura para enfriar un ambiente.

Una bomba de calor opera entre dos focos térmicos siguiendo un ciclo termodinámico. Si se pretende calefaccionar un recinto en invierno, el foco caliente es el recinto a calentar y el foco frío será el aire del ambiente exterior, el agua de un lago, el terreno, etc., de donde se extrae el calor. Por el contrario, si se desea refrigerar un recinto en verano, el foco frío es el recinto a enfriar y el foco caliente será el medio por el cual se rechazará calor.

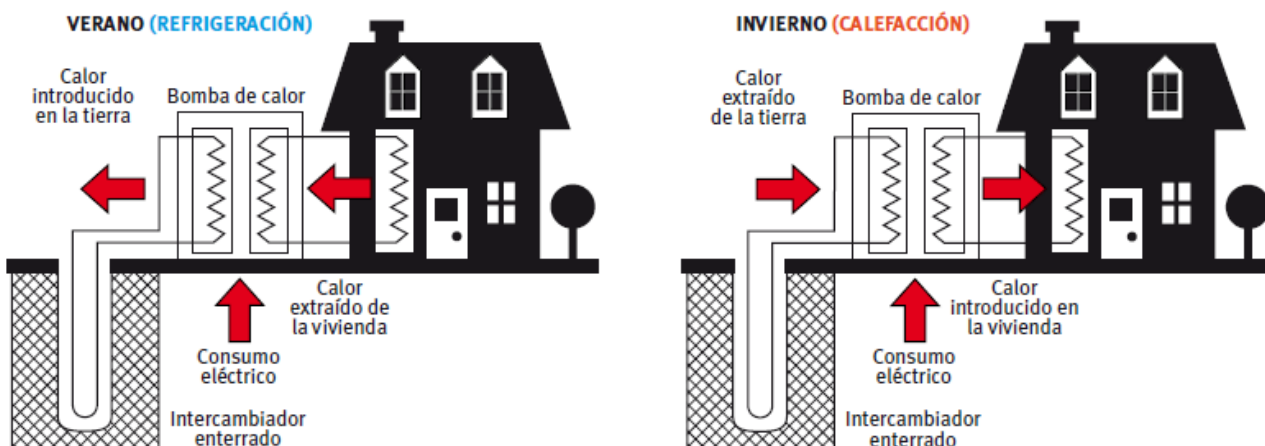


Figura 4.2: Esquema de funcionamiento de una bomba de calor en verano e invierno.

El funcionamiento de la bomba de calor se puede modelar formulando las ecuaciones de conservación de masa y entre fluidos, balance de energía y cantidad de movimiento de las sustancias o fluidos y las ecuaciones de transferencia de calor entre fluidos en los intercambiadores de calor.

Las bombas de calor suelen tener tres tipos de fuentes para captar o entregar energía y se clasifican dependiendo a los focos entre los que trabaja la máquina:

- Bombas de calor aerotérmicas, cuando el foco exterior es el aire atmosférico.
- Bombas de calor hidrotérmicas, cuando el foco exterior son aguas continentales o marítimas.
- Bombas de calor geotérmicas, cuando el foco exterior es la tierra o terreno.

#### 4.1 Fuentes de energía para las bombas de calor

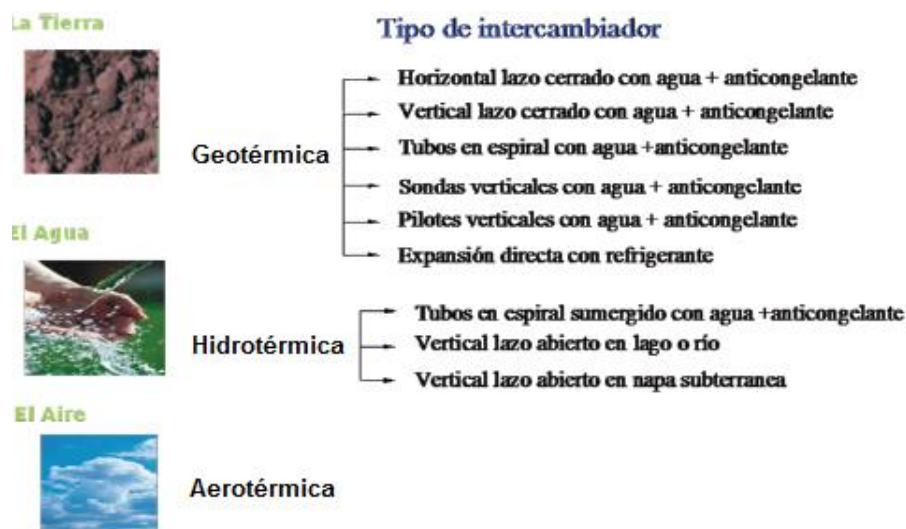


Figura 4.3: Fuentes de energía para las bombas de calor.  
Fuente: Apuntes Prof. Reinaldo Sánchez A.

## 4.2 Clasificación de la bomba de calor

Es posible clasificar las bombas de calor dependiendo del origen y destino de la energía, es decir, origen y destino de los focos fríos y calientes respectivamente. Las bombas de calor para el sector residencial, captan como fuente de baja temperatura o foco frío el calor contenido en el aire, agua o tierra. El calor captado desde la fuente de baja temperatura, es cedido al interior del recinto a calefaccionar por medio de la circulación de aire o agua.

Tabla 4.1: Clasificación de la bomba de calor.

	Origen de la energía	Destino de la energía
<b>Bomba de Calor</b>	Aire	Aire
	Aire	Agua
	Agua	Aire
	Agua	Agua
	Tierra	Aire
	Tierra	Agua

## 4.3 Bomba de calor geotérmica

La bomba de calor geotérmica combina aspectos de dos tipos de bombas de calor anteriormente nombradas, la bomba de calor Agua-Agua y la Tierra-Agua. La bomba de calor geotérmica capta o deposita la energía de la tierra o de algún cuerpo de agua según corresponda. El calor captado desde la tierra o agua por la bomba de calor geotérmica es transferido al interior del recinto para proveer calefacción en invierno, lo contrario sucede en verano cuando el calor del recinto es disipado en la tierra o agua.

El gran beneficio de este tipo de bomba de calor es que las fuentes de temperatura, foco frío, en la tierra o agua son en promedio mayores que las temperaturas del aire de invierno, del mismo modo que en verano la temperatura promedio de la tierra es menor que la temperatura ambiente. Esto permite obtener coeficientes de operación bastante eficientes, en comparación a los coeficientes de una bomba de calor convencional instalada en un lugar donde las temperaturas en invierno son muy bajas y en verano relativamente altas, tal como sucede en algunas ciudades del sur de nuestro país.

El principio que está detrás de una bomba de calor, se basa en que los gases liberan calor cuando se comprimen y frío cuando se expanden. Lo que hace la bomba es aprovechar la energía en forma de calor o frío que libera el gas al cambiar de fase. El compresor comprime y una válvula expande alternadamente el gas para producir calor y frío.

El foco frío o fuente se enfría al ceder calor al refrigerante, el foco caliente o sumidero se calienta al recibir calor del refrigerante. De esta forma el refrigerante recorre el ciclo actuando como medio para el intercambio de energía. Por su parte el compresor actúa como elemento que aumenta la presión del refrigerante absorbiendo su energía.

#### 4.4 Componentes fundamentales de la bomba de calor

A continuación se detalla las características fundamentales de los distintos componentes de una bomba de calor.

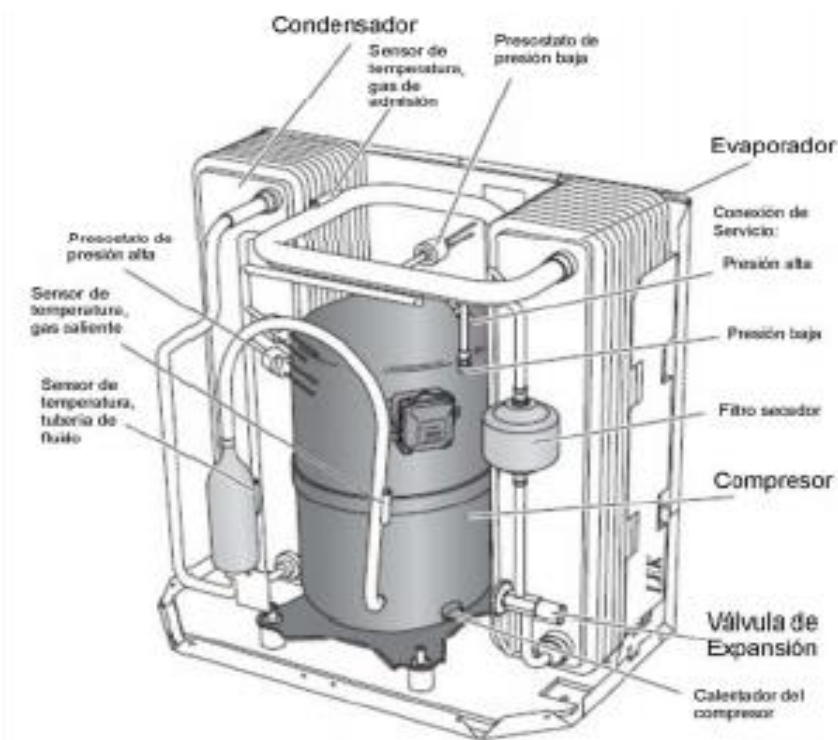


Figura 4.4: Componentes de una bomba de calor geotérmica.

**Compresor:** Elemento de la máquina que necesita para su funcionamiento consumir energía mecánica. Permite aumentar la presión del refrigerante en fase gaseosa y normalmente sobrecalentado (procedente del evaporador) hasta una presión que favorece el paso de la fase gas a líquido en el condensador, cediendo calor al entorno.

**Condensador:** Es un intercambiador de calor en el que el refrigerante que proviene del compresor en estado de vapor sobrecalentado, a temperatura elevada, por medio de la liberación de calor causada

por la condensación del fluido se consigue que el refrigerante pase a la fase líquida cediendo calor al medio. Todo esto se produce manteniendo una temperatura y presión constantes en el cambio de fase.

**Válvula de expansión:** Para volver a su estado inicial y que se repita el ciclo, el refrigerante pierde presión y temperatura en la válvula de expansión. Este elemento separa el lado de alta presión del de baja presión. Su finalidad es doble, regular el flujo de refrigerante y reducir la presión del gas refrigerante.

**Evaporador:** Es el elemento en el que se produce el efecto frigorífico por ebullición del fluido refrigerante procedente del sistema de expansión. Se trata de un intercambiador de calor donde el refrigerante, que después de la expansión se encuentra como vapor húmedo, absorbe calor del medio ya sea aire, agua o cualquier otra sustancia, para cambiar el estado hasta que todo él se encuentre como gas. Este aporte de calor al refrigerante se realiza a presión y temperatura constante (idealmente).

**Válvula inversora de ciclo:** También llamada válvula de cuatro vías, es la válvula encargada de invertir el sentido del flujo de refrigeración, haciendo que el condensador actúe de evaporador y viceversa. Según las necesidades térmicas del ambiente a climatizar selecciona un sentido u otro de circulación del refrigerante.

#### **4.5 Eficiencias de la bomba de calor**

La eficiencia de un ciclo de refrigeración y/o bomba de calor, en general, evalúa la relación entre lo que se desea obtener (energía, frío o calor) y lo que se consume (energía del compresor).

Se define la eficiencia instantánea de la bomba de calor (COP, Coefficient of Performance) como el valor entre la potencia térmica recibida y la consumida, y la eficiencia de la máquina frigorífica (EER, Energy Efficiency Factor) como el valor entre la potencia térmica extraída y la consumida.

##### **4.5.1 Eficiencia instantánea como bomba de calor (COP)**

Como bomba de calor se evalúa la eficiencia a través del COP, definido como Coefficient of Performance y evalúa la relación entre la energía demandada, respecto de la aportada externamente (compresor).

COP: (Coeficiente de Performance)

$$COP = \left( \frac{Q_c}{W_e} \right) = \left( \frac{Q_c}{Q_c - Q_e} \right) > 1.0$$

$$COP \text{ máx} = \left( \frac{T_c}{T_c - T_e} \right) > 1.0$$

Ejemplo: COP= 4.0 Por cada kW consumido por el compresor obtenemos 4 kW para la vivienda, luego el costo de la energía consumida es ¼ del costo energía eléctrica. Los costos de operación son menores.

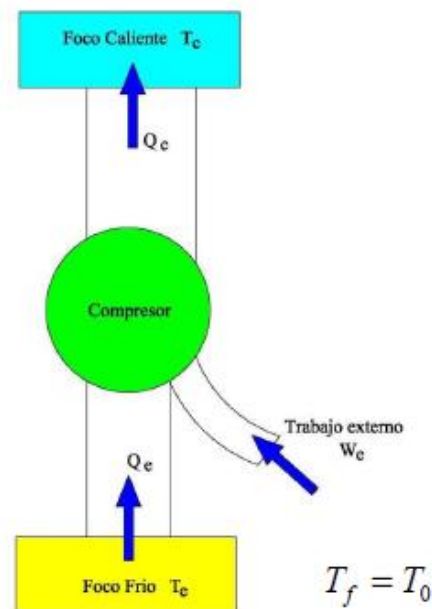


Figura 4.5: Sumatoria esquemática de energías en bomba de calor.

#### 4.5.2 Eficiencia instantánea como máquina frigorífica (EER)

Como máquina frigorífica se evalúa a través del EER, definido como Energy Efficiency Ratio, que mide la relación entre la energía extraída en el evaporador o foco frío y el trabajo suministrado al ciclo.

COP=EER (Energy Efficiency Ratio)

$$EER = \left( \frac{Q_e}{W_e} \right) = \left( \frac{Q_e}{Q_c - Q_e} \right) > \text{ó} < 1.0$$

$$EER \text{ máx} = \left( \frac{T_e}{T_c - T_e} \right) > \text{ó} < 1.0$$

Ejemplo: EER=4.0

Por cada kW consumido por el compresor se extraen 4 kW desde la vivienda, luego el costo de la energía consumida es ¼ del costo de la energía eléctrica. Los costos de operación son menores.

Sin embargo, en el transcurso de una temporada de calefacción o refrigeración, las condiciones de una temporada de calefacción están variando constantemente. En consecuencia, el COP o EER que proporciona el equipo también está fluctuando, siguiendo las variaciones de la temperatura exterior. A fin de poder calcular el rendimiento de cualquier equipo que esté funcionando en una instalación



determinada, se utilizan para evaluar prestaciones energéticas globales de sistemas de climatización, los llamados rendimientos estacionales:

- **HSFP (Heating Seasonal Performance Factor):** determinado en bombas de calor como cociente entre la energía calorífica y la energía consumida, expresa el rendimiento medio de una instalación durante toda su operación en invierno para una instalación durante toda su operación en invierno.
- **CSPF (Cooling Seasonal Performance Factor):** determinado en máquinas frigoríficas como cociente entre la energía frigorífica y la energía consumida, expresa el rendimiento medio de una instalación durante toda su operación en verano para una instalación durante toda su operación en verano

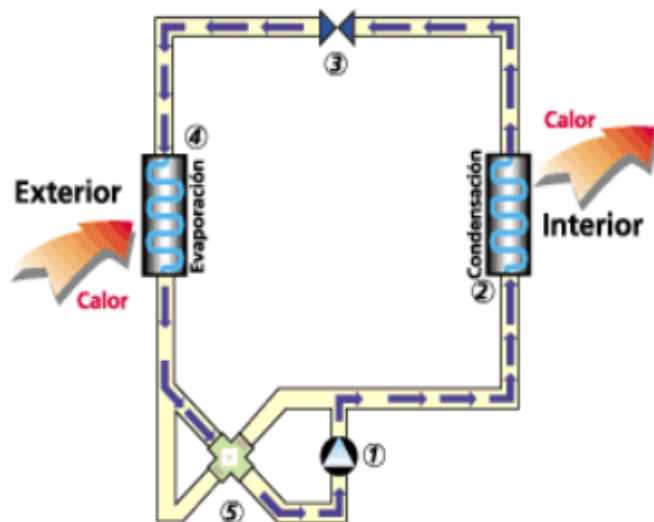
Por ejemplo:

$$COP_{estacional} = \frac{\text{Energía calorífica anual proporcionada por Bomba de Calor} = 24589 \left(\frac{kWh}{\text{año}}\right)}{\text{Energía anual consumida por Bomba de Calor + otras bombas} = 9016 \left(\frac{kWh}{\text{año}}\right)} = 2,7$$

## 4.6 Ciclos de calefacción y refrigeración de la bomba de calor

### 4.6.1 Ciclo de calefacción

En ciclo de calefacción el objetivo de la bomba de calor es entregar calor a una fuente de alta temperatura, extrayéndola desde una fuente de baja temperatura y recibiendo un trabajo externo.



1. Compresor
2. Intercambiador (condensador o evaporador según ciclo)
3. Válvula de expansión
4. Intercambiador (condensador o evaporador según ciclo)
5. Válvula de 4 vías

Figura 4.6: Ciclo de calefacción en bomba de calor.

- El compresor eleva la presión y temperatura del fluido frigorífico. (1)
- En el intercambiador, situado en el interior del recinto a calentar, el fluido cede al aire del recinto el calor de su condensación.(2)
- El fluido en estado líquido y a alta presión y temperatura, se expande en la válvula de expansión reduciendo su presión y temperatura. Se evapora en parte.(3)
- En el intercambiador situado en el exterior, el fluido refrigerante completa su evaporación absorbiendo calor del aire exterior. Retorna al compresor (1) a través de una válvula de cuatro vías.(5)

**Bomba de calor en condición de calefacción en invierno ciclo termodinámico de calefacción**

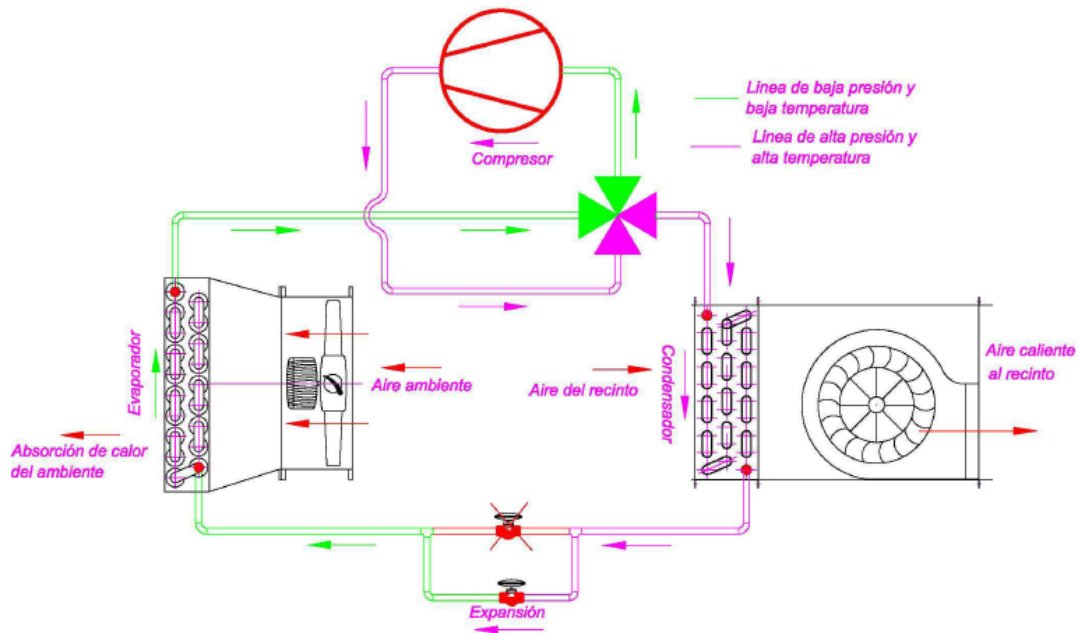


Figura 4.7: Bomba de calor en condición de calefacción en invierno.  
Fuente: Apuntes “Bombas de Calor”. Reinaldo Sánchez.

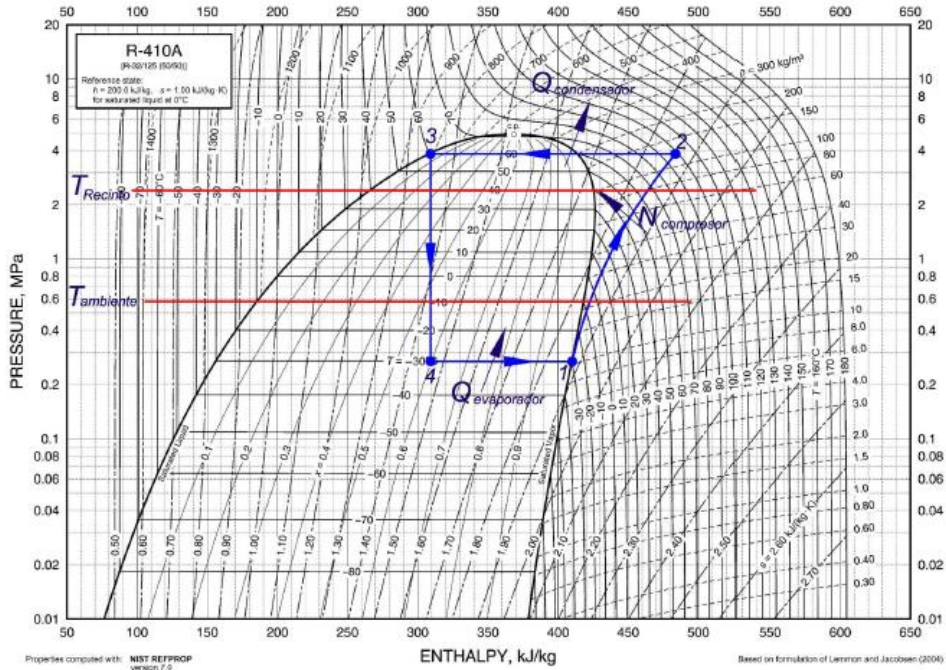
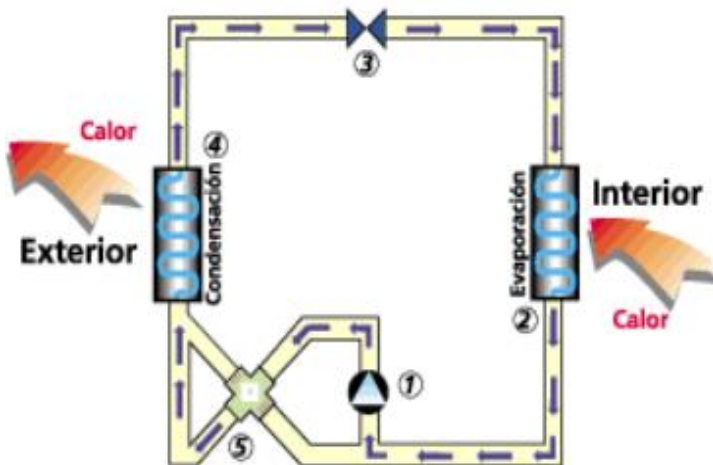


Figura 4.8: Ciclo termodinámico de calefacción para bomba de calor.  
Fuente: Apuntes Prof. Reinaldo Sánchez A.

### 4.6.2 Ciclo de refrigeración

En ciclo de refrigeración el objetivo de la bomba de calor actuando como máquina frigorífica es utilizar la fuente de menor temperatura para enfriar un ambiente.



1. Compresor
2. Intercambiador (condensador o evaporador según ciclo)
3. Válvula de expansión
4. Intercambiador (condensador o evaporador según ciclo)
5. Válvula de 4 vías

Figura 4.9: Ciclo de Refrigeración en bomba de calor.

- El compresor eleva la presión y temperatura del fluido frigorífico (1) siguiendo su camino a través de la válvula de cuatro vías (5)
- En el intercambiador, situado en el exterior, el fluido se condensa cediendo su calor al medio exterior.(4)
- El fluido en estado líquido y a alta presión se expande en la válvula de expansión reduciendo su presión y evaporándose en parte.(3)
- En el intercambiador (2), situado en el interior del recinto a refrigerar, el fluido frigorífico completa su evaporación absorbiendo calor del medio interior.

**Bomba de calor en condición de refrigeración en verano**

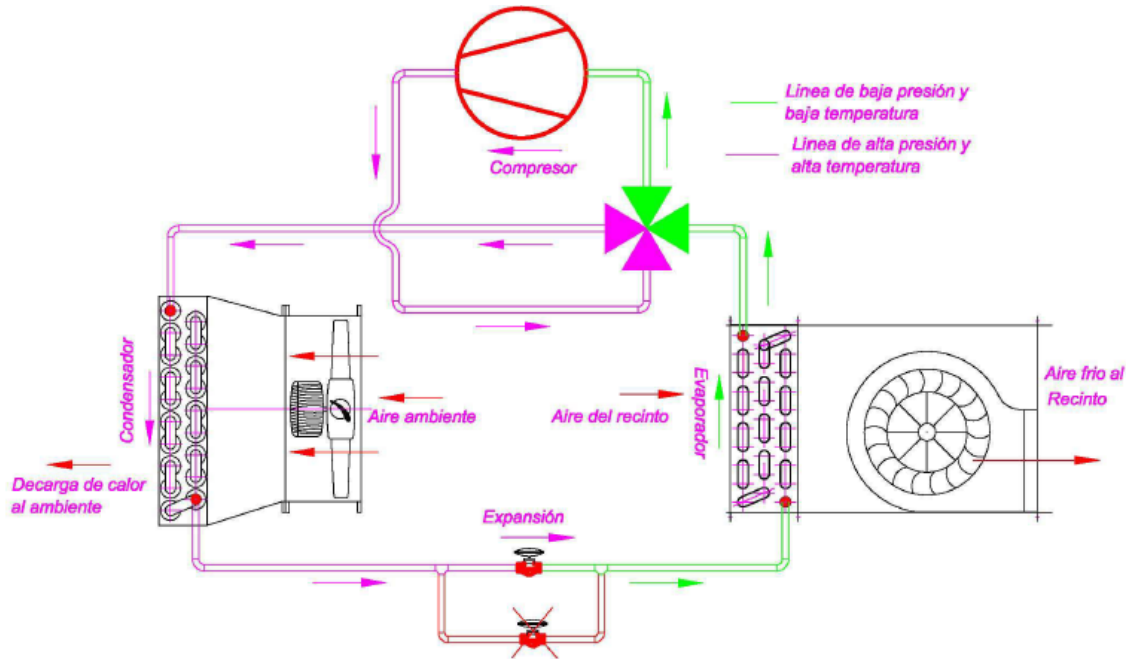


Figura 4.10: Ciclo de Refrigeración en bomba de calor.  
Fuente: Apuntes "Bombas de Calor". Reinaldo Sánchez.

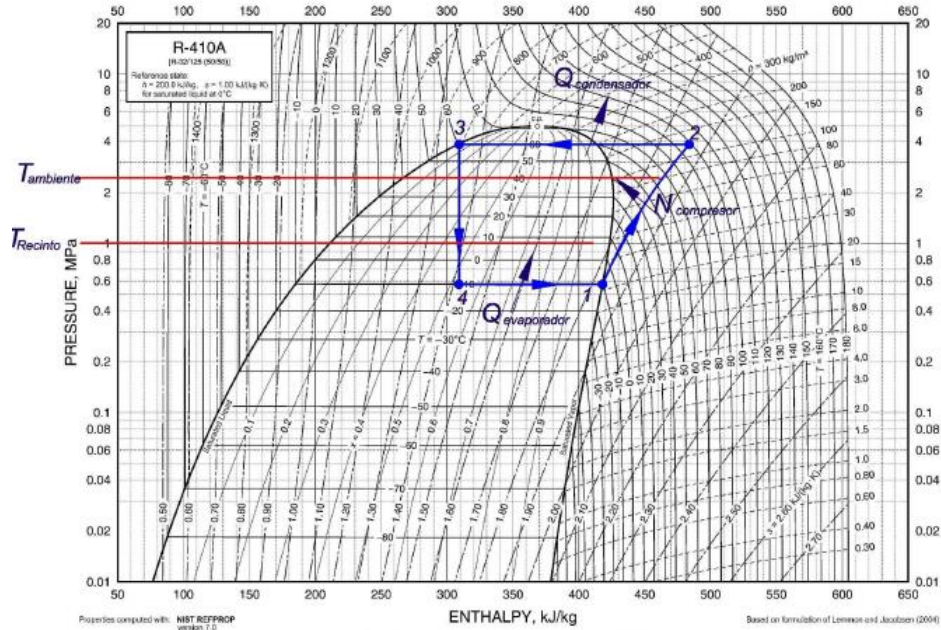


Fig. 14 Pressure-Enthalpy Diagram for Refrigerant 410A

Figura 4.11: Ciclo termodinámico de refrigeración para bomba de calor.  
Fuente: Apuntes “Bombas de Calor”. Reinaldo Sánchez.

#### 4.7 Tecnología de las bombas de calor agua-agua

El uso de bombas de calor del tipo agua-agua es de las opciones más utilizadas debido a su alto rendimiento. Ya que el calor que entra a la edificación lo hace por medio de tuberías con agua caliente dispuestas en el recinto, ya sea a través de losa radiante o radiadores.

Los equipos de bomba de calor agua-agua se pueden clasificar en reversibles y no reversibles.

Los equipos no reversibles son aquellos que no tienen inversión en el circuito frigorífico, realizándose el cambio de funcionamiento de bomba de calor a máquina frigorífica en el circuito del agua. En la máquina los intercambiadores de calor que actúan como condensador y evaporador son siempre los mismos, siendo un juego de válvulas exteriores las encargadas de conmutar la alimentación a los focos térmicos.

Los equipos reversibles permiten invertir el ciclo frigorífico, el cambio de funcionamiento se hace en el lado refrigerante. En la actualidad, la mayoría de los fabricantes implementan la tecnología reversible en los que el cambio de bomba a máquina frigorífica se lleva a cabo en el lado refrigerante mediante una válvula de cuatro vías, de modo que cada foco térmico siempre intercambia calor con el mismo intercambiador de la máquina, que unas veces hará de condensador y otras de evaporador. La válvula de cuatro vías comunica la salida del compresor con el intercambiador interior.

En cuanto a las potencias disponibles, existen equipos desde los 4 kW, válidos para pequeñas viviendas con un elevado nivel de aislamiento, construidos con formato de electrodomésticos y que se pueden instalar en una cocina o en una terraza lavadero; pasando por equipos mayores de 15 kW, válidos para una residencial; 35 kW para pequeños hoteles; y finalmente grandes plantas enfriadoras y bombas de calor entre 300 y 1000 kW para el sector industrial.

### Ejemplos sistemas de climatización geotérmica con bomba de calor agua-agua

Bomba de calor geotérmica tierra-agua de lazo cerrado en ciclo de calefacción (suminiendo energía térmica para calefacción en invierno)

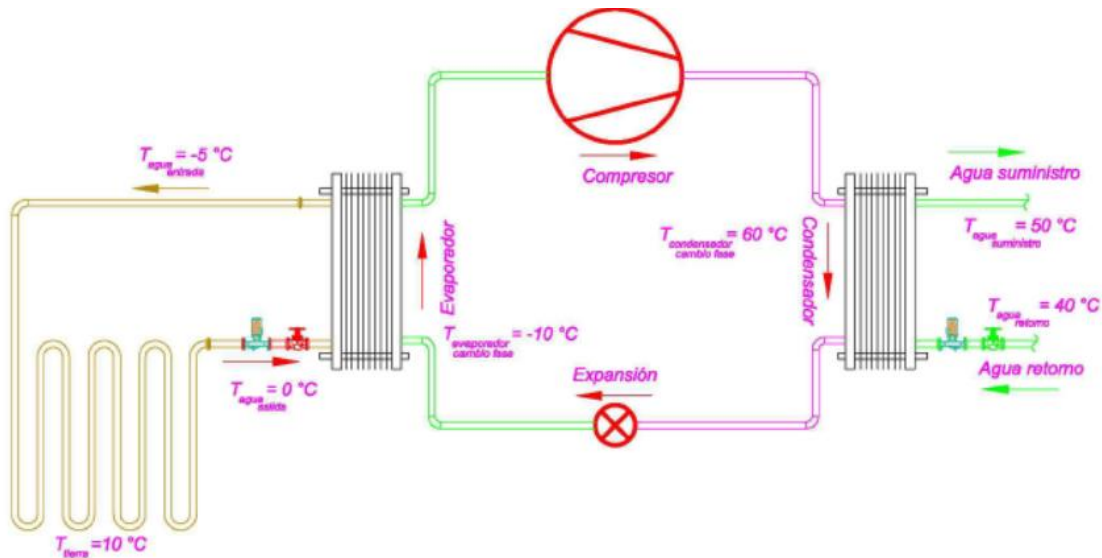


Figura 4.12: Sistema de climatización geotérmico en ciclo de calefacción con bomba de calor tierra-agua.  
Fuente: Apuntes "Bombas de calor". Reinaldo Sánchez.

Bomba de calor geotérmica tierra-agua de lazo cerrado en ciclo de refrigeración (extrayendo energía térmica para refrigeración en verano)

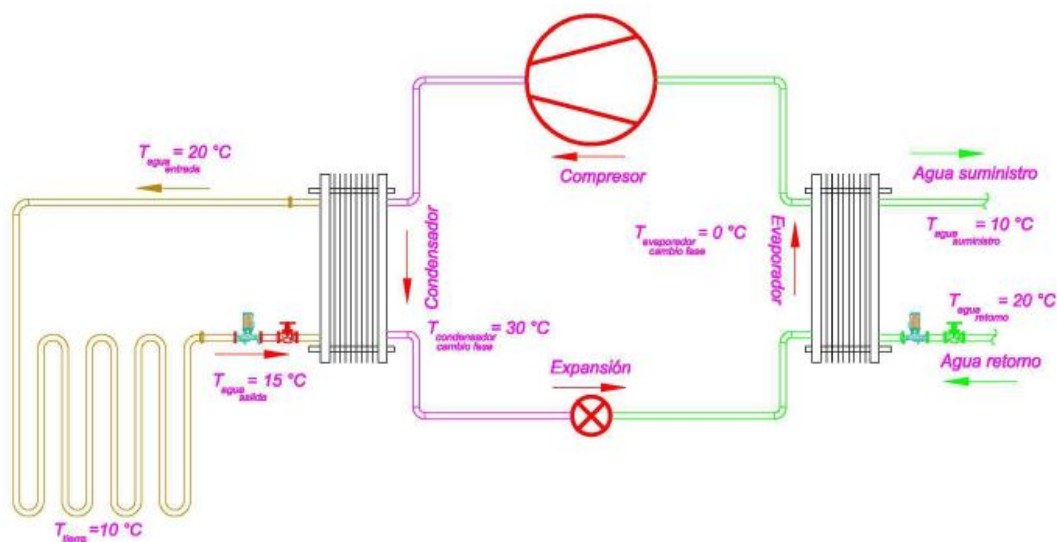


Figura 4.13: Sistema de climatización geotérmico en ciclo de refrigeración con bomba de calor tierra-agua en lazo cerrado.

Fuente: Apuntes “Bombas de calor”. Reinaldo Sánchez.

Bomba de calor geotérmica agua-agua de lazo abierto en ciclo de calefacción (suministrand energía térmica para calefacción en invierno)

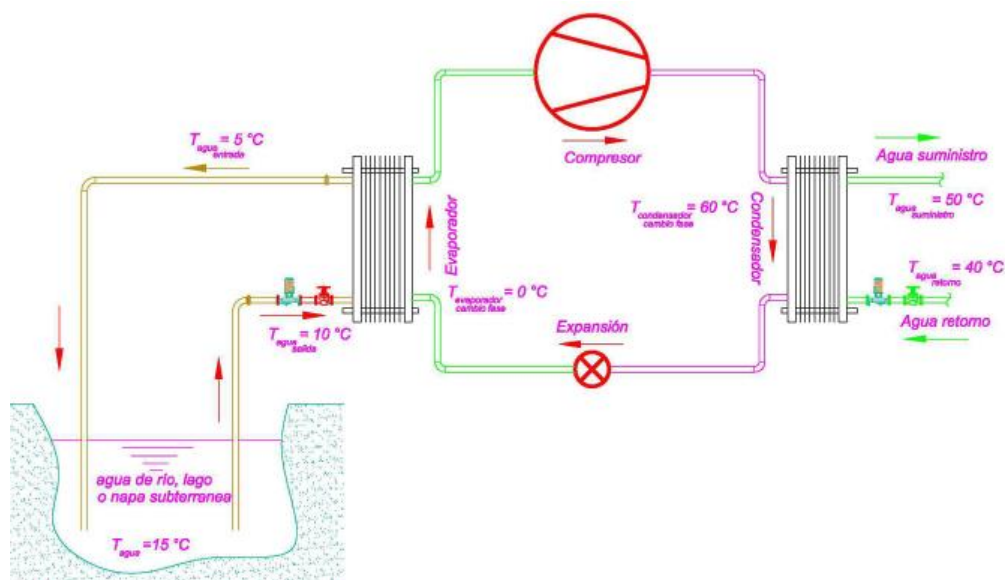


Figura 4.14: Sistema de climatización geotérmico en ciclo de calefacción con bomba de calor agua-agua en lazo abierto.

Fuente: Apuntes “Bombas de calor”. Reinaldo Sánchez.

Bomba de calor geotérmica agua-agua de lazo abierto en ciclo de refrigeración (extrayendo energía térmica para refrigeración en verano)

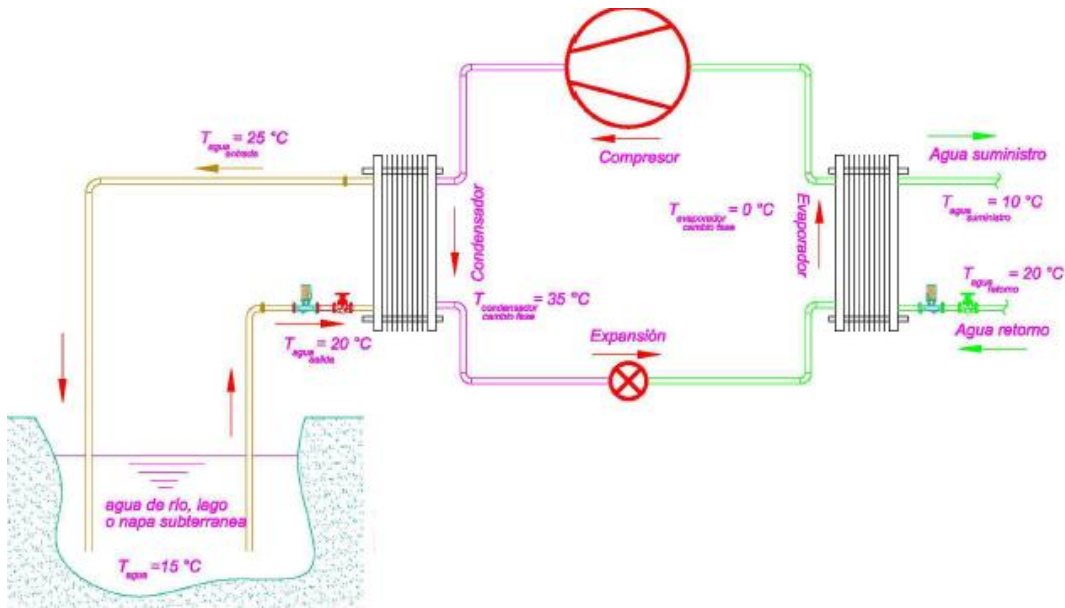


Figura 4.15: Sistema de climatización geotérmico en ciclo de refrigeración con bomba de calor agua-agua en lazo abierto.

Fuente: Apuntes “Bombas de calor”. Reinaldo Sánchez.

#### 4.8 Chiller o enfriador de agua

Los diversos sistemas de bomba de calor serán comparados con sistemas de chiller que funcionen en refrigeración y calderas con distintos tipos de alimentación en calefacción.

Chiller es un equipo o unidad enfriadora de agua, son utilizados en diferentes aplicaciones, en este caso se utilizará para enfriar el agua del circuito de intercambio con el recinto, compuesto por el sistema de suelo radiante, así acondicionar el recinto en verano.

### Capítulo 5: Circuito de intercambio con el recinto

Para realizar el intercambio de calor con la edificación, el sistema hace circular un caudal de agua por un circuito en contacto con el condensador de la bomba de calor, el cual transfiere el frío o calor al interior de la edificación. El agua se suele enfriar hasta 10°C en verano y se calienta a cerca de 45°C en invierno, de esta forma se consigue la climatización de la edificación. El sistema geotérmico permite escoger cualquier dispositivo de intercambio con la edificación, es decir: convectores hidráulicos de aire (fancoils), suelo radiante o radiadores.



## 5.1 Tipos de dispositivos de intercambio

En el circuito de intercambio de calor con el recinto se distinguen comúnmente tres tipos de dispositivos de intercambio: Fancoils, radiadores y suelo radiante, que pueden funcionar interconectados o utilizar solo uno de estos, por esto se debe evaluar en cuál o cuáles de estos, es más viable y eficiente su instalación como parte del sistema de climatización geotérmico.

### 5.1.1 Ventilconvectores o fancoils

Es un equipo que se compone principalmente de un ventilador, un elemento de intercambio térmico y un filtro. El ventilador fuerza el aire a pasar por el elemento de intercambio térmico (tubos de cobre y aletas de aluminio), antes de esto se filtra el aire al pasar por el filtro para evitar llenar la batería de intercambio térmico de polvo.

Los fancoils pueden refrigerar en verano y calentar en invierno el recinto a climatizar. Se alimentan de agua refrigerada o caliente proveniente en este caso de la bomba de calor agua-agua. Si se alimentan con agua refrigerada, sirve para enfriar el ambiente, proporcionando un aire seco y limpio, y cuando se alimentan con agua caliente proporcionan calor.

#### 5.1.1.1 Tipos de fancoil

Se diferencian según su instalación en: Pared, suelo, techo, cassette, etc.



Figura 5.1: Fancoil de techo y pared.

### 5.1.2 Radiadores

Es un equipo que permite calefaccionar, su función es intercambiar calor del sistema de calefacción para cederlo al ambiente. Por los radiadores pasa un flujo de agua caliente por tuberías y aletas que a través de convección natural permiten aumentar la temperatura del recinto a calefaccionar.

La gran desventaja de este equipo es que para funcionamiento con bomba de calor agua-agua, se necesita una gran cantidad de área de radiadores, dado que la temperatura que proporciona la bomba de calor es más baja que para brindar un rendimiento óptimo, lo que implica un mayor gasto en equipos y suciedad estética.



Figura 5.2: Equipo radiador instalado.

### 5.1.3 Suelo radiante

Es un sistema de climatización que consiste en la instalación de tuberías por las que circula agua, estos tubos se ubican bajo el suelo del recinto a climatizar. Estos absorben calor en verano y emiten calor en invierno, desde el suelo hacia el ambiente del recinto.

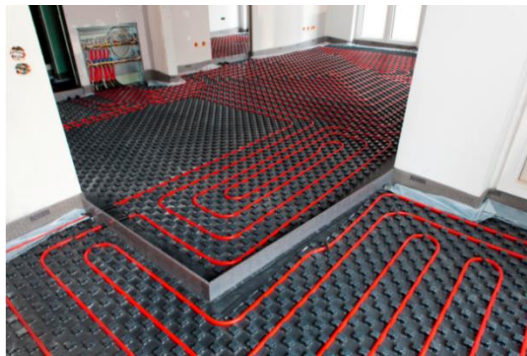


Figura 5.3: Suelo radiante en proceso de instalación.

El principio básico de funcionamiento consiste en la impulsión de agua a media temperatura (en torno a los 40°C en invierno y 16°C en verano) a través de circuitos de tuberías de polietileno reticulado. Estos circuitos se sumergen en una capa de mortero de cemento, sobre el que se coloca un pavimento final de tipo cerámico, piedra, etc.

En invierno, el mortero absorbe el calor disipado por las tuberías y lo cede al pavimento superior que a su vez, emite energía hacia las paredes y techo de la habitación mediante radiación y en menor grado convección natural. En cambio en verano, el pavimento absorbe el calor por radiación y en parte por convección, desde las paredes y el techo. Luego el calor se transmite hacia la capa de mortero y a la capa de tubería de suelo radiante, transportándose a través del agua el calor hacia el exterior de la vivienda.

Desde los colectores (impulsión y retorno) parten los circuitos emisores. Allí se equilibran hidráulicamente y a través de cabezales electrotérmicos, se regula la circulación de agua impulsada en función de las necesidades térmicas de cada local.

## **Ventajas y desventajas que presenta el Suelo Radiante**

### Ventajas:

- **Estética:** Debido a que el suelo radiante se encuentra instalado dentro del piso, se contaría con un mayor espacio en la habitación.
- **Saludable:** Debido a que el aire no está lo suficientemente caliente como para crear corrientes de aire, por ello no se genera movimiento de polvo ni microorganismos.
- **Distribución ideal de temperaturas:** Este sistema mantiene una temperatura equilibrada, que se mantiene desde el piso.

### Desventajas:

- **Inercia térmica:** Debido a que el sistema debe de calentar el pavimento y luego calentar el aire, toma más tiempo que los sistemas que calientan directamente el aire.
- **Elevación del suelo:** Debido a que debajo del suelo debe de haber una placa aislante, las tuberías y además alrededor de 8 cm. de pavimento, esto hace que el sistema tenga unos 8 ó 10 cm. extra de elevación que un suelo convencional.
- **Mayor costo de instalación:** Debido a que el sistema necesita de mucho más accesorios que los demás sistemas, este costo puede ser un 15% más, pero a su vez este sistema tiene un tiempo de vida de alrededor de 10 años.

## **5.2 Diseño de la instalación de suelo radiante**

### **5.2.1 Longitud de tuberías de suelo radiante**

Como sistema de distribución para climatizar la vivienda se dispondrá una instalación de suelo radiante. Se ha elegido este tipo de instalación porque es la que mejor se ajusta al perfil óptimo de temperaturas del cuerpo humano. Además, puesto que el emisor térmico es uniforme, es decir ocupa toda la superficie del local, se evitan zonas calientes y frías típicas provocadas por otros tipos de emisores como radiadores.

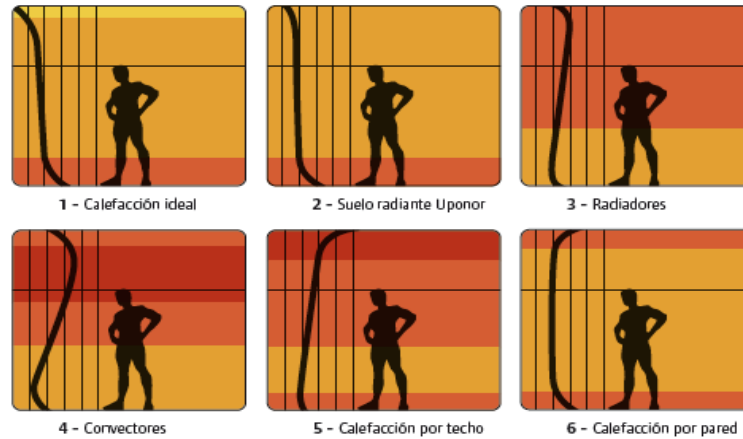


Figura 5.4: Perfil de Temperaturas de un ambiente de acuerdo a diversas tecnologías.

Los elementos principales en una instalación de suelo radiante son:

- Panel aislante: Se coloca encima del forjado y soporta los circuitos de suelo radiante y los aísla térmicamente. Suelen ser de poliestireno expandido (EPS).
- Tubería: Es el elemento por el que circula el agua a distintas temperaturas en función del modo de uso, ya sea calefacción o refrigeración. Suele ser tubería de polietileno reticulado (PEX), material que presenta buenas características técnicas.
- Colectores: A través de estos elementos se conectan las tuberías de distribución procedentes de la bomba de calor con los diferentes circuitos que conformen el suelo radiante.

Una vez realizada la instalación del suelo radiante, este quedará como se muestra a continuación:

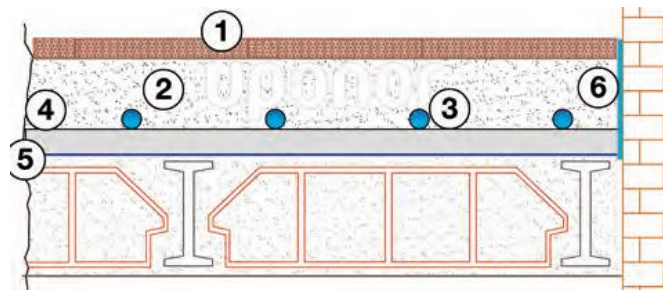


Figura 5.5: Elementos que conforman el piso radiante.

#### Numeración de componentes del suelo radiante:

1. Baldosa cerámica
2. Mortero
3. Tuberías de Polietileno reticulado
4. Panel de fijación, capa aislante.

5. Barrera impermeable, film antihumedad
6. Zócalo perimetral

Cada local de la vivienda contará con su propio circuito independiente, posibilitando de este modo la regulación de temperaturas de cada estancia de forma independiente. La longitud de cada uno de los circuitos se calcula de la siguiente manera:

$$L = \frac{A}{e} + 2l$$

Donde:

A: Área a climatizar por el circuito (m<sup>2</sup>).

e: Separación entre tuberías (m).

l: Distancia entre el colector y el área a climatizar (m).

### 5.2.2 Sistema de tuberías

Está conformado por una red de tuberías distribuidas para poder transferir de manera adecuada el calor, existen tres formas de hacer las instalaciones las cuales son las siguientes:

- Distribución en serpentin: Es la forma más sencilla de hacer la distribución, pero la desventaja de este sistema radica en la gran diferencia de temperaturas que existe entre la salida y la entrada del agua de circulación; esto puede hacer que el usuario sienta esa diferencia en el ambiente en el que se encuentra.

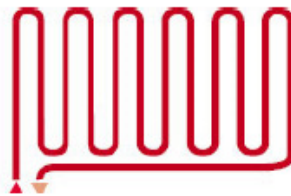


Figura 5.6: Distribución en serpentin.

- Distribución en doble serpentin: A diferencia de la distribución en serpentin, esta no genera una gran diferencia de temperaturas entre la entrada y salida, ya que siempre va una tubería fría con una más caliente, compensando la diferencia de temperaturas que se tenía en la distribución anterior.



Figura 5.7: Distribución en doble serpentin.

- Distribución en espiral: Al igual que la distribución en doble serpentin, esta no genera una notoria diferencia de temperaturas en la habitación, además no se generan radios pequeños en el momento de la instalación, por lo que este tipo de instalaciones es la recomendada para los suelos radiantes.

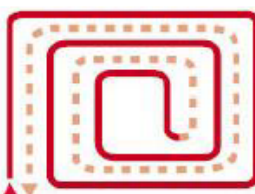


Figura 5.8: Distribución en espiral.

El material que se emplea mayormente en la actualidad es un material termoestable, denominado PEX, que brinda buenos resultados debido a sus propiedades térmicas, mostradas en la tabla siguiente:

Tabla 5.1: Propiedades térmicas del PEX.

Datos Técnicos					
DIAMETRO DEL TUBO	$\phi$	16	20	25	32
Caract. Físicas					
$\phi$ exterior	mm	16	20	25	32
Espesor pared	mm	2.3	2.0	2.3	2.9
Long. De rollo	m	100	100	100	100
Propiedades					
Presión de trabajo	20° DIN 16893 kg/m <sup>2</sup>	24	16	16	16
	60° DIN 16893 kg/m <sup>2</sup>	16	10	10	10
	95° DIN 16893 kg/m <sup>2</sup>	10	6	6	6
Rango de temperaturas	°C	-100 a +120			
Coef. de expansión lineal a 20°C	1/°C	0.25*10 <sup>4</sup>			
Coef. de expansión lineal a 100°C	1/°C	2.05*10 <sup>4</sup>			
Temperatura de reblandamiento	°C	133			
Conductividad térmica Kcal/mh	°C	0.37			
Radio de curvatura en frío	mm	60	100	135	150
Radio de curvatura en caliente	mm	40	50	60	75

Fuente: Catálogo Vinilit para su producto DURAPEX.

### 5.2.3 Componentes del sistema de distribución en el suelo radiante

En el suelo radiante son importantes algunos componentes adicionales para que este funcione y se pueda controlar de manera adecuada. Los componentes más importantes del suelo radiante son: bomba de circulación, sistemas de distribución, válvula reguladora, purgadores.

- **Bomba de circulación:** Es la responsable de hacer circular el agua a través de las tuberías que se encuentran instaladas bajo el suelo. Esta bomba no consume mucha potencia per debe seleccionarse una que sea capaz de funcionar con agua caliente.
- **Sistema de distribución:** Es el encargado de distribuir el agua caliente que bien de la fuente hacia los distintos sistemas instalados en la edificación y a la vez recoger el agua fría que sale de los distintos sistemas. El sistema de distribución cuenta con dos ramales, uno es para distribuir el agua de ida y el otro de vuelta de los circuitos, luego de entregar o recibir calor.



Figura 5.8: Sistema de distribución.

- **Válvula reguladora:** Esta válvula es importante para regular el aporte calorífico a la habitación donde ha sido instalado el suelo radiante.



Figura 5.9: Válvula reguladora.

- **Purgadores:** Es un dispositivo de seguridad, el cual se encarga de evacuar el aire del sistema.



Figura 5.10: Purgador.

### 5.2.4 Esquema de instalación de suelo radiante



El caudal de agua para climatización que llega al recinto se distribuye a los distintos circuitos de suelo radiante, a través de un manifold o sistema de distribución, cuya cantidad de circuitos depende de la cantidad de locales o piezas que posea el recinto principal.

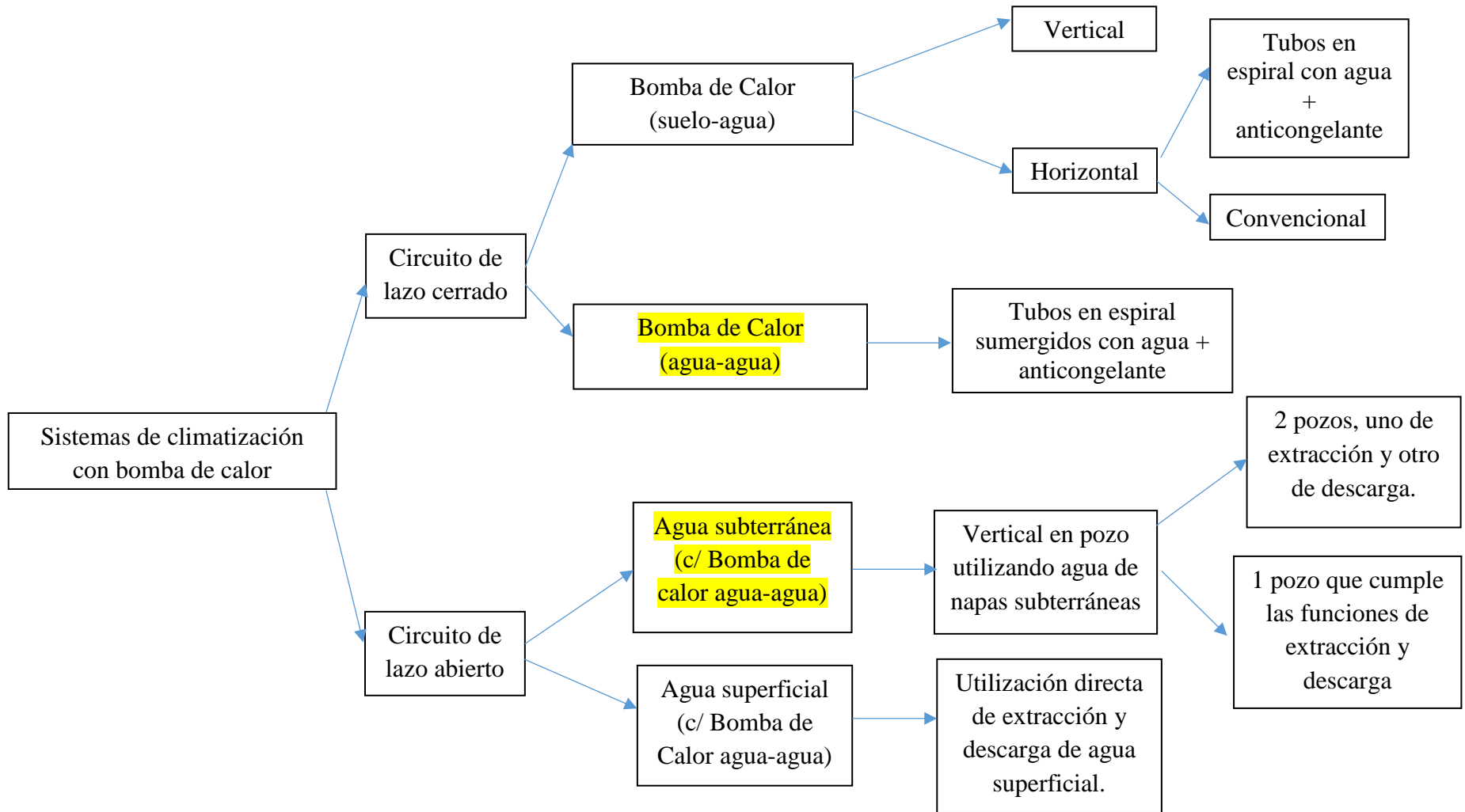
Figura 5.11: Sistema de distribución instalado.



Figura 5.12: Tuberías en suelo radiante



A continuación se muestra un esquema que resume los principales tipos de sistemas de climatización con bomba de calor geotérmica:



Nota: Los casos que se estudiarán y compararán aparecen subrayados.

## Capítulo 6: Análisis técnico y condiciones del modelo de estudio

El análisis técnico tiene como objetivo principal obtener como resultado de cálculos, la elección de equipos que permitan el funcionamiento efectivo y eficaz de una instalación geotérmica, evaluando de paso el funcionamiento de las tecnologías de lazo abierto, lazo cerrado y sistemas de climatización convencionales.

### 6.1 Condiciones generales a considerar

A continuación se describen las condiciones que posee el recinto estándar a climatizar, de los dos casos a evaluar:

Tabla 6.1: Características generales recinto estándar para caso 1 y caso 2.

	Caso 1	Caso 2
Localización	Concepción	Puerto Montt
Superficie Recinto (m <sup>2</sup> )	300	300
Altura Recinto (m)	4	4
Volumen Recinto (m <sup>3</sup> )	1200	1200
q (W/m <sup>2</sup> )	60	75
G (W/m <sup>3</sup> K)	1	1,1
Temp. Interior de Cálculo (°C)	20	20
Temp. Exterior de Cálculo (°C)	5	3

Por motivos de estudio se debe tener en cuenta que una vivienda en Puerto Montt debería poseer mayor aislamiento térmico que una vivienda en Concepción, por esto, estandarizando y definiendo variables, se usa como potencia específica de calefacción de 60 W/m<sup>2</sup> para Concepción y una potencia específica de calefacción de 75 W/m<sup>2</sup> para la vivienda en Pto Montt.

Respecto al valor de G (Coeficiente de distribución de pérdidas volumétricas) los valores de 1 y 1,1 (W/m<sup>3</sup>K) para Concepción y Puerto Montt respectivamente, en comparación con el documento; valores típicos de G, incluido en el anexo I sección A.1.1, página 95, muestran comportamiento cercano a un edificio Departamento (albañilería) de piso intermedio, sin aislación térmica y con 30% de ventanas, esto significa que el modelo estándar que se está proponiendo posee pocas pérdidas

volumétricas en general y además es un modelo que su evaluación es posible y las condiciones son viables para estudio.

### 6.1.1 Potencia de refrigeración en la instalación

Para caso de estudio se estimará la demanda térmica de refrigeración como la potencia específica de calefacción más un 30% del total, por lo tanto en este caso se utilizarán las siguientes potencias para refrigeración, de acuerdo a las dimensiones de la vivienda.

- Concepción

$$q_{\text{ref}} = 78 \text{ W/m}^2, \text{ entonces } Q_{\text{ref}} = 78 \text{ (W/m}^2\text{)} * 300 \text{ (m}^2\text{)} = 23,4 \text{ (kW)}$$

- Pto Montt

$$q_{\text{ref}} = 97,5 \text{ W/m}^2, \text{ entonces } Q_{\text{ref}} = 97,5 \text{ (W/m}^2\text{)} * 300 \text{ (m}^2\text{)} = 29,25 \text{ (kW)}$$

Observación: El porcentaje del 30% de aumento en el caso de refrigeración de las viviendas por ganancias térmicas, se utiliza en este caso para dimensionar una instalación de climatización con bomba de calor agua-agua, esta es una estimación acordada por experiencias en diseño de edificios por el profesor Reinaldo Sánchez A.

### 6.1.2 Diseño y dimensionamiento de la instalación geotérmica

Para la climatización de casos descritos anteriormente se evaluarán y analizarán para las siguientes tecnologías de climatización:

#### 6.1.2.1 Sistema de lazo cerrado (climatización geotérmica)

Lazo cerrado se refiere a que la transferencia de calor en el circuito de intercambio de calor geotérmico, se realiza a través de tuberías que poseen en el interior una masa circulante y constante de fluido, en general agua más anticongelante, en este caso no existe extracción ni reinyección de agua, ya sea del subsuelo o superficial, debido a que las tuberías transfieren el calor con el medio.

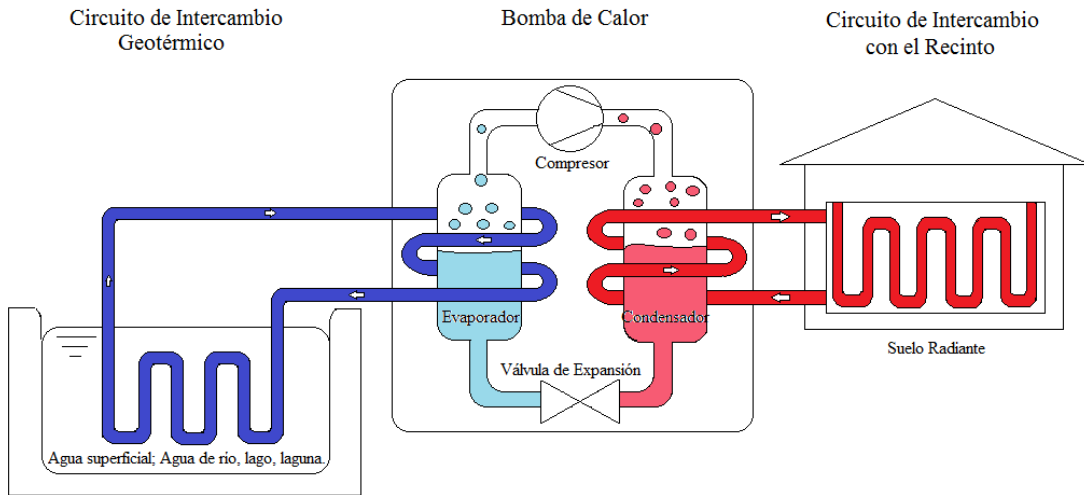


Figura 6.1: Componentes de una instalación de climatización geotérmica de lazo cerrado.

Fuente: Elaboración propia.

### 6.1.2.2 Sistema de lazo abierto (climatización geotérmica)

Lazo abierto se refiere a que la transferencia de calor en el circuito de intercambio de calor geotérmico es posible debido a que, se toma agua desde el subsuelo u otra fuente superficial en algún punto y se devuelve en otro lugar de pasar por la bomba de calor a distinta temperatura. Se pueden distinguir dos tipos de sistema de lazo abierto:

- a) Sistema de lazo abierto sin intercambiador de seguridad

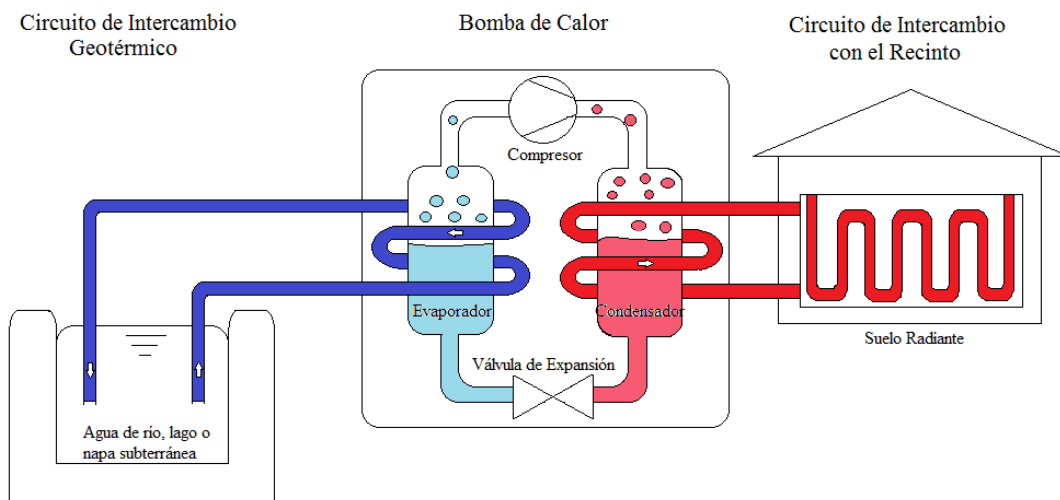


Figura 6.2: Componentes de una instalación de climatización geotérmica de lazo abierto sin intercambiador de seguridad intermedio.

Fuente: Elaboración propia.

b) Sistema de lazo abierto con intercambiador de seguridad

Se utiliza un intercambiador intermedio de seguridad, para proteger la bomba de calor del paso directo de agua subterránea a través de la bomba de calor.

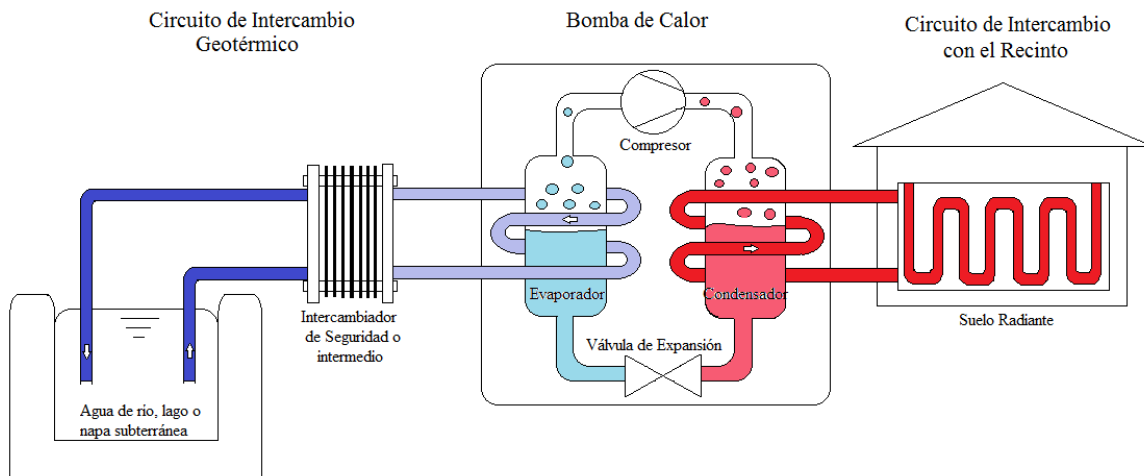


Figura 6.3: Componentes de una instalación de climatización geotérmica de lazo abierto con intercambiador de seguridad intermedio.

Fuente: Elaboración propia.

### 6.1.2.3 Sistemas de climatización convencional

Los sistemas de climatización convencional a evaluar serán:

- Caldera a Pellets más Chiller.
- Caldera a Gas Licuado más Chiller.
- Caldera a Petróleo más Chiller.

Observación: En todos los casos se utilizará suelo radiante como parte del circuito de distribución de calor en el recinto.

## Capítulo 7: Sistema de lazo cerrado

A continuación se lleva a cabo referente al circuito de intercambio de calor geotérmico; la elección de la bomba de calor, se calcula el largo que va a tener la tubería en el circuito de intercambio de calor geotérmico de lazo cerrado, además se elige la bomba de circulación para este circuito. Referente al

circuito de distribución de calor en el recinto; se diseña el suelo radiante, se dimensiona el largo de las tuberías del suelo radiante y también se elige la bomba de circulación del circuito, de acuerdo a las condiciones prescritas en cada caso.

### 7.1 Condiciones caso N° 1 para sistema de climatización geotérmica en lazo cerrado

- Ubicación: Concepción
- Superficie del Recinto: 300 m<sup>2</sup>
- Potencia Específica de Calefacción: 60 W/m<sup>2</sup>
- Potencia Específica de Refrigeración: 78 W/m<sup>2</sup>
- Temperatura Recinto: 20°C
- Temperatura exterior de diseño (invierno): 5°C

#### 7.1.1 Elección de bomba de calor

La bomba de calor geotérmica se debe elegir de manera que sea capaz de abastecer las demandas térmicas máximas. En este caso la demanda más desfavorable ocurre en verano, por lo que se seleccionará la bomba de calor para ciclo de refrigeración. Por otra parte, deberá ser una bomba de calor reversible para poder funcionar en invierno y verano.

$$Potencia\ a\ instalar = 78 \frac{W}{m^2} * 300\ m^2 = 23400\ W$$

$$Q_{ref} = Q_{evap} = 23,4\ kW$$

$$Q_{equipo} = \frac{Q_{evap}}{\eta_{inst}} = \frac{23,4}{0,9} = 26\ kW$$

Por lo tanto, se busca en el catálogo Enertres una bomba que soporte un  $Q_{equipo} = 26\ kW$

\*Según catálogo Enertres 2015 para bombas de calor en lazo cerrado, mayores detalles técnicos en anexo III, sección A.3.1, página 107.

Se elige bomba geotérmica modelo: **TERRA 26 HGL-P C R410A**

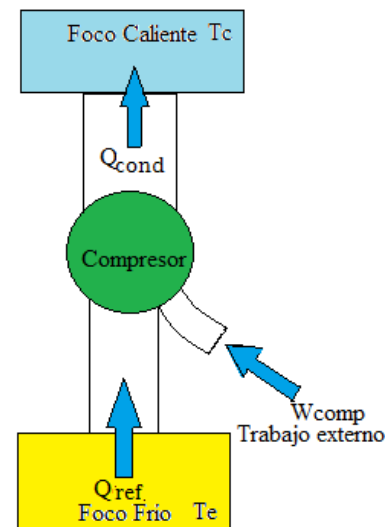


Figura 7.1: Sumatoria esquemática de energías.

#### 7.1.2 Diseño de circuito de intercambio de calor geotérmico

**Datos técnicos (TERRA 26 Twin HGL P R410A)**

- Potencia de salida para calor = 26,2 kW

- Potencia de salida para frío = 29,1 kW
- COP = 4,3
- EER = 5,9
- $W_c = 5,4$  kW
- Caudal mínimo circuito cerrado = 6300 kg/h
- Caudal mínimo calefacción/frío = 4500 lt/h
- Conexiones Sole/calefacción e hidráulicas = R1 ½"

\*De acuerdo a norma EN 14511, Con  $\Delta t^\circ = 5^\circ$ .

### 7.1.2.1 Ecuaciones utilizadas

Para conocer el largo que debe tener la tubería de polietileno de alta densidad para funcionar de forma óptima en calefacción y refrigeración, absorbiendo o cediendo calor a la fuente de agua superficial en la que se instale la tubería, se analizarán los casos de acuerdo a condiciones impuestas.

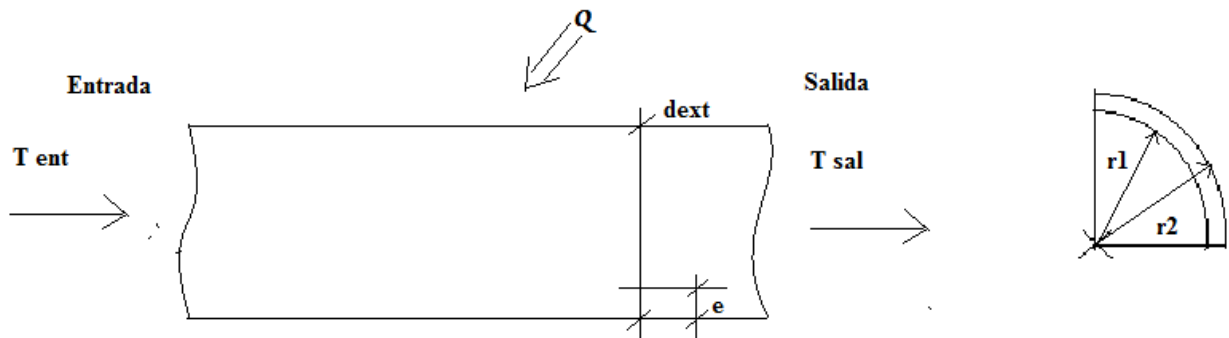


Figura 7.2: Comportamiento de un trozo de tubería, parte del circuito de intercambio geotérmico.  
Fuente: Elaboración propia.

Se elige una tubería hdpe con diámetro de captación de 3", con las siguientes características:

- $d_{ext} = 90$  mm.
- $e = 5,1$  mm.
- $d_{int} = 79,8$  mm.
- $r_1 = 39,9$  mm.
- $r_2 = 45$  mm.

\*Datos obtenidos del catálogo VINILIT HDPE de tubería, más detalles técnicas en anexo III sección A.3.2, página 109, para tubería PE80 PN6 de diámetro 3".

Si se trabaja con un fluido térmico, compuesto de agua con 30% de etilenglicol al interior de las tuberías del circuito cerrado, y este fluido tiene una densidad de  $1052,8 \text{ kg/m}^3$  en calefacción y de  $1047 \text{ kg/m}^3$  en refrigeración, cuyo caudal geotérmico según catálogo es de  $6300 \text{ kg/h}$ , entonces:

- Calefacción:

$$\dot{V}_{calef} = 6300 \frac{\text{kg}}{\text{h}} * \frac{1 \text{ m}^3}{1052,8 \text{ kg}} = 5,98 * \frac{1 \text{ h}}{3600 \text{ s}} = 0,001662 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

- Refrigeración:

$$\dot{V}_{ref} = 6300 \frac{\text{kg}}{\text{h}} * \frac{1 \text{ m}^3}{1047 \text{ kg}} = 6,02 * \frac{1 \text{ h}}{3600 \text{ s}} = 0,001671 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

### Ecuaciones termodinámicas

(Agua con 30% de etilenglicol)  $Q = \dot{m}_{H_2O+glicol} * c_{H_2O+glicol} (t_{ent} - t_{sal})$

(Agua superficial)  $Q = \dot{m}_{H_2O} * c_{H_2O} * \Delta t_{H_2O}$

$$\dot{m}_{H_2O} \rightarrow \infty, \quad \Delta t_{H_2O} = t_{H_2O} = cte$$

### Ecuación transferencia de calor

$$Q = U * A_{TC} * \Delta T_{MLDT}$$

∴ Caso 2 (Un fluido con temperatura constante y el otro varía su temperatura)

$$\frac{t_{sal} - t_{H_2O}}{t_{ent} - t_{H_2O}} = e^{-\left(\frac{U * A_{TC}}{\dot{m}_{agua+glicol} * c_{agua+glicol}}\right)}$$

#### 7.2.1.2 Convección natural

Cálculo para obtener el coeficiente de convección ( $\alpha_{agua}$ ) para convección natural de la tubería de hdpe sumergida en agua superficial.

##### a) Condiciones del fluido por tubería en régimen de calefacción:

- $t_{ent} = 0^\circ\text{C}$
- $t_{sal} = 5^\circ\text{C}$
- $t_{agua \text{ sup}} = 10^\circ\text{C}$

Para obtener el  $\alpha_{agua}$ : Análisis del flujo por exterior de cuerpo en convección natural.

Propiedades del agua superficial (Detalles en anexo II, sección A.2.3, página 104)

- $t_\infty = t_{H_2O} = 10^\circ\text{C}$  (en invierno)
- $\rho = 999,7 \text{ kg/m}^3$
- $c = 4,196 \text{ kJ/kgK}$



- $\lambda = 0,58 \text{ W/mK}$
- $\vartheta = 1,31 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$
- $Pr = 9,45$

Ecuaciones para convección natural:

$$Nu = \left( 0,825 + \frac{0,387 Ra^{1/6}}{\left[ 1 + \left( \frac{0,492}{Pr} \right)^{9/16} \right]^{8/27}} \right)^2, \text{ para } 0 < Ra < 10^{12}, 0 < Pr < \infty$$

$$Ra = \frac{g \beta \Delta T l^3}{\vartheta^2} * Pr$$

$$\beta = \frac{1}{T_{\infty}} = \frac{1}{10} = 0,1 \frac{1}{^{\circ}\text{C}}$$

$$\Delta T = |t_p - t_{\infty}| = |8 - 10| = 2^{\circ}\text{C}, \text{ se da } t_p = 8^{\circ}\text{C}$$

$$l = \frac{\pi * d^2}{2} = \frac{\pi * 0,09^2}{2} = 0,0127 \text{ m}^2$$

$$\therefore Ra = \frac{9,8 * 0,1 * 2 * (0,0127)^3}{(1,31 * 10^{-6})^2} * 9,45 = 2,21 * 10^7$$

$$\therefore Nu = \left( 0,825 + \frac{0,387 (2,21 * 10^7)^{1/6}}{\left[ 1 + \left( \frac{0,492}{9,45} \right)^{9/16} \right]^{8/27}} \right)^2 = 48,8$$

$$\text{Si, } Nu = \frac{\alpha * d}{\lambda}$$

$$\text{Entonces, } \alpha_{\text{agua}} = \frac{Nu * \lambda}{d} = \frac{48,8 * 0,58}{0,09} = 314,5 \frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{K}}$$

**b) Condiciones del fluido por tubería en régimen de refrigeración:**

- $t_{ent} = 20^{\circ}\text{C}$
- $t_{sal} = 15^{\circ}\text{C}$
- $t_{\text{agua sup}} = 10^{\circ}\text{C}$

Ecuaciones para convección natural:

$$Nu = \left( 0,825 + \frac{0,387 Ra^{1/6}}{\left[ 1 + \left( \frac{0,492}{Pr} \right)^{9/16} \right]^{8/27}} \right)^2, \text{ para } 0 < Ra < 10^{12}, 0 < Pr < \infty$$

$$Ra = \frac{g \beta \Delta T l^3}{g^2} * Pr$$

$$\beta = \frac{1}{T_{\infty}} = \frac{1}{10} = 0,1 \frac{1}{^{\circ}C}$$

$$\Delta T = |t_p - t_{\infty}| = |16 - 10| = 6^{\circ}C, \text{ se da } t_p = 16^{\circ}C$$

$$l = \frac{\pi * d^2}{2} = \frac{\pi * 0,09^2}{2} = 0,0127 \text{ m}^2$$

$$\therefore Ra = \frac{9,8 * 0,1 * 6 * (0,0127)^3}{(1,31 * 10^{-6})^2} * 9,45 = 6,63 * 10^7$$

$$\therefore Nu = \left( 0,825 + \frac{0,387 (6,63 * 10^7)^{1/6}}{\left[ 1 + \left( \frac{0,492}{9,45} \right)^{9/16} \right]^{8/27}} \right)^2 = 67,6$$

$$Si, \quad Nu = \frac{\alpha * d}{\lambda}$$

$$Entonces, \quad \alpha_{agua} = \frac{Nu * \lambda}{d} = \frac{67,6 * 0,58}{0,09} = 435,6 \frac{W}{m^2K}$$

En resumen; se obtienen como resultado los siguientes coeficientes de convección para convección natural:

- Para calefacción

$$\alpha_{agua} = 314,5 \frac{W}{m^2K}$$

- Para refrigeración

$$\alpha_{agua} = 435,6 \frac{W}{m^2K}$$

### 7.2.1.3 Convección forzada

#### Cálculo de largo de la tubería para calefacción ( $L_{calefacción}$ )

Para obtener el  $\alpha_{agua+glicol}$ : Análisis del flujo por interior de tubería de hdpe en convección forzada.

Propiedades del agua con 30% etilenglicol

$$t_r = t_f = \frac{1}{2} \left( t_s + \frac{1}{2} (t_1 + t_2) \right)$$

$$Si, t_s = 3^\circ C$$

$$t_{ent} = 0^\circ C$$

$$t_{sal} = 5^\circ C$$

$$\therefore t_r = t_f = \frac{1}{2} \left( 3 + \frac{1}{2} (5) \right) = 2,75^\circ C$$

De este modo se obtiene de tabla los siguientes valores (Detalles en Anexo II, sección A.2.2, página 103)

$$t_r = t_f = 2,75^\circ C$$

- $\rho = 1052,8 \text{ kg/m}^3$
- $c = 3617,8 \text{ kJ/kgK}$
- $\mu = 22,02 \text{ kg/mh} = 6,12 * 10^{-3} \text{ kg/m s}$
- $\lambda = 0,466 \text{ W/mK}$
- $Pr = \frac{c * \mu}{\lambda} = \frac{3617,8 * 6,12 * 10^{-3}}{0,466} = 47,51$
- $\vartheta = \frac{\mu}{\rho} = \frac{6,12 * 10^{-3} \frac{\text{kg}}{\text{ms}}}{1052,8 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}} = 5,81 * 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$

$$\vec{v} = \frac{4Q}{\pi * (di)^2} = \frac{4 * 0,001662 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}}{\pi * (0,0798)^2 \text{ m}^2} = 0,33 \text{ m/s}$$

$$\therefore Re = \frac{v \cdot d}{\vartheta} = \frac{0,33 * 0,0798}{5,81 * 10^{-6}} = 4532,5 > 3000, \text{ por lo que hay regimen turbulento.}$$

$$Nu = 0,012(Re^{0,87} - 280)Pr^{0,4} \left[ 1 + \left( \frac{d}{l} \right)^{\frac{2}{3}} \right]$$

$$Si, \quad l = \frac{\pi * d^2}{2} = \frac{\pi * 0,0798^2}{2} = 0,01 \text{ m}^2$$

$$\therefore Nu = 0,012(4532,5^{0,87} - 280)47,51^{0,4} \left[ 1 + \left( \frac{0,0798}{0,01} \right)^{\frac{2}{3}} \right]$$

$$Nu = 347,3$$

$$Si, \quad Nu = \frac{\alpha * d}{\lambda}$$

$$\text{Entonces, } \alpha_{\text{agua+glicol}} = \frac{Nu * \lambda}{d} = \frac{347,3 * 0,466}{0,0798} = 2028,1 \frac{W}{m^2K}$$

Teniendo ambos coeficientes convectivos:  $\alpha_{\text{agua}}$  y  $\alpha_{\text{agua+glicol}}$ , se puede calcular el coeficiente global de transferencia de calor (U) de la tubería de hdpe con las características antes mencionadas.

$$U = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_{\text{agua+glicol}}} + \frac{r_1}{\lambda_{\text{hdpe}}} * \ln\left(\frac{r_2}{r_1}\right) + \frac{r_1}{r_2 * \alpha_{\text{agua}}}}$$

$$U = \frac{1}{\frac{1}{2028,1} + \frac{0,0399}{0,5} \ln\left(\frac{0,045}{0,0399}\right) + \frac{0,0399}{0,045 * 314,5}} = 77,45 \text{ W/m}^2\text{K}$$

Reemplazando en caso 2 de la ecuación de transferencia de calor, se tiene:

$$\dot{m}_{\text{agua+glicol}} = \rho * \dot{V} = 1052,8 * 0,001662 = 1,75 \text{ kg/s}$$

$$A_{TC} = \pi * d_i * L = \pi * 0,0798 * L \text{ m}^2$$

$$\frac{5 - 10}{0 - 10} = e^{-\left(\frac{77,45 * \pi * 0,0798 * L}{1,75 * 3617,8}\right)} / \ln(\quad)$$

$$\ln(0,5) = \frac{-77,45 * \pi * 0,0798 * L}{1,75 * 3617,8}$$

$$L_{\text{calefacción}} = 365,5 \text{ m.}$$

### 7.2.2 Cálculo de largo de la tubería para refrigeración ( $L_{\text{refrigeración}}$ )

Para obtener el  $\alpha_{\text{agua+glicol}}$ : Análisis del flujo por interior de tubería de hdpe en convección forzada.

Propiedades del agua + 30% etilenglicol:

$$t_r = t_f = \frac{1}{2} \left( t_s + \frac{1}{2} (t_1 + t_2) \right)$$

$$\text{Si, } t_s = 17^\circ\text{C}$$

$$t_{ent} = 20^\circ\text{C}$$

$$t_{sal} = 15^\circ\text{C}$$

$$\therefore t_r = t_f = \frac{1}{2} \left( 17 + \frac{1}{2} (20 + 15) \right) = 17,25^\circ\text{C}$$

De este modo se obtiene de tabla los siguientes valores (Detalles en Anexo II, sección A.2.2, página 103)

$$t_r = t_f = 17,25^\circ\text{C}$$

- $\rho = 1047 \text{ kg/m}^3$

- $c = 3666,5 \text{ J/kgK}$

- $\mu = 9,14 \frac{kg}{mh} = 0,002538 \frac{kg}{ms}$
- $\lambda = 0,479 W/mK$
- $Pr = \frac{c*\mu}{\lambda} = \frac{3666,5*0,002538}{0,479} = 19,43$
- $\vartheta = \frac{\mu}{\rho} = \frac{0,002538 \frac{kg}{ms}}{1047 \frac{kg}{m^3}} = 2 * 10^{-6} m^2/s$

$$\vec{v} = \frac{4Q}{\pi * (di)^2} = \frac{4 * 0,001671 \frac{m^3}{s}}{\pi * (0,0798)^2 m^2} = 0,33 m/s$$

$$\therefore Re = \frac{v \rightarrow * d}{\vartheta} = \frac{0,33 * 0,0798}{2 * 10^{-6}} = 13167 > 3000, \text{ por lo que hay regimen turbulento}$$

$$Nu = 0,012(Re^{0,87} - 280)Pr^{0,4} \left[ 1 + \left( \frac{d}{l} \right)^{\frac{2}{3}} \right]$$

$$Si, \quad l = \frac{\pi * d^2}{2} = \frac{\pi * 0,0798^2}{2} = 0,01 m^2$$

$$\therefore Nu = 0,012(13167^{0,87} - 280)19,43^{0,4} \left[ 1 + \left( \frac{0,0798}{0,01} \right)^{\frac{2}{3}} \right]$$

$$Nu = 698,2$$

$$Si, \quad Nu = \frac{\alpha * d}{\lambda}$$

$$\text{Entonces, } \alpha_{\text{agua+glicol}} = \frac{Nu * \lambda}{d} = \frac{698,2 * 0,479}{0,0798} = 4191 \frac{W}{m^2K}$$

Teniendo ambos coeficientes convectivos:  $\alpha_{\text{agua}}$  y  $\alpha_{\text{agua+glicol}}$ , se puede calcular el coeficiente global de transferencia de calor (U) de la tubería de hdpe con las características antes mencionadas.

$$U = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_{\text{agua+glicol}}} + \frac{r_1}{\lambda_{hdpe}} * \ln\left(\frac{r_2}{r_1}\right) + \frac{r_1}{r_2 * \alpha_{\text{agua}}}}$$

$$U = \frac{1}{\frac{1}{4191} + \frac{0,0399}{0,5} \ln\left(\frac{0,045}{0,0399}\right) + \frac{0,0399}{0,045 * 435,6}} = 84,2 W/m^2K$$

Reemplazando en caso 2 de la ecuación de transferencia de calor, se tiene:

$$\dot{m}_{H2O+glicol} = \rho * Q = 1047 * 0,001671 = 1,75 kg/s$$

$$A_{TC} = \pi * d_i * L = (\pi * 0,0798 * L) m^2$$

$$\frac{15 - 10}{20 - 10} = e^{-\left(\frac{84,2 * \pi * 0,0798 * L}{1,75 * 3666,5}\right)} / \ln(\quad)$$

$$\ln(0,5) = \frac{-84,2 * \pi * 0,0798 * L}{1,75 * 3666,5}$$

$$L_{Refrigeración} = 210,7 \text{ m.}$$

∴ Se obtiene que  $L_{Calefacción} > L_{Refrigeración}$ , por lo tanto se usará la tubería de mayor longitud, para que así sea útil en invierno y verano.

∴ El largo de la tubería a instalar en el circuito de intercambio geotérmico será de 366 metros.

∴ Se necesitarán 8 rollos de tubería de hdpe de 50 m. con las características antes mencionadas.

### 7.2.3 Elección de bomba de circulación en circuito de intercambio geotérmico

A continuación se calcularán las pérdidas de carga que se provocan en el circuito de intercambio geotérmico, junto al caudal necesario de circulación se elegirá la bomba que hará circular el fluido de agua + 30% de etilenglicol.

#### Datos del circuito

Largo tubería HDPE = 366 m.

$\dot{V}_{\text{circuito\_cerrado}} = 6300 \text{ kg/h.}$

$v_{\text{fluido}} = 0,33 \text{ m/s,}$  para una tubería de diámetro interior de 79,8 mm.

- En calefacción:

$$Re = 4533$$

- En refrigeración:

$$Re = 13167$$

$$\frac{\varepsilon}{D} = \frac{0,008 \text{ mm.}}{79,8 \text{ mm.}} = 0,0001, \text{ en ambos casos.}$$

Con los datos del número de Reynold y la rugosidad relativa, se obtiene del diagrama de Moody (Anexo III, sección A.2.4, página 105) un factor de fricción de 0,039 en calefacción y de 0,03 en refrigeración.

- En calefacción:

$$\text{Pérdida de carga} = f * 1,2 * \frac{L_{\text{tubería}}}{d_i} * \frac{v^2}{2 * g}$$

$$\text{Pérdida de carga} = 0,039 * 1,2 * \frac{366}{0,0798} * \frac{0,33^2}{2 * 9.8} = 1,2 \text{ m.}$$

- En refrigeración:

$$\text{Pérdida de carga} = 0,03 * 1,2 * \frac{366}{0,0798} * \frac{0,33^2}{2 * 9.8} = 0,92 \text{ m.}$$

Observación: Se multiplicó por un factor de 1,2 para agregar una estimación de las pérdidas singulares como un 20% de las pérdidas regulares del circuito.

Por lo tanto, la bomba de cumplir con los siguientes requerimientos:

- $\dot{V} = 0,001662 \text{ m}^3/\text{s} = 6 \text{ m}^3/\text{h}$
- Pérdida de carga = 1,2 m

Por lo que se elige desde el catálogo de Enertres, el kit de conexión entre bomba de calor y colector con bomba modelo Wilo-Stratos 32/1-8 (Mayor información técnica en anexo III, sección A.3.12, página 116), para satisfacer los requerimientos de caudal y pérdidas de carga.

## 7.2.4 Circuito de distribución de calor en el recinto

### 7.2.4.1 Descripción del suelo radiante

Para el desarrollo del circuito de distribución de calor se usa la tecnología de suelo radiante, se han tenido en cuenta los distintos tipos de instalaciones de suelo radiante existentes en la actualidad. Dichas instalaciones han sido desarrolladas en el continente europeo, incluso existe una norma para poder hacer el cálculo de estos sistemas, la norma UNE EN-1264.

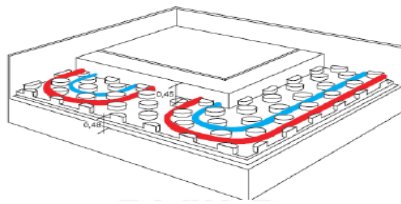


Figura 7.3: Corte de una instalación de suelo radiante.

### 7.2.4.2 Consideraciones de diseño según norma UNE EN 1264:

- El sistema de climatización por suelo radiante requiere la aplicación de capa aislante de fondo, para reducir la inercia térmica del sistema, reduciendo la masa a calentar y evitar que el calor pase de forma incontrolada a un ambiente que no la necesita.
- Antes del vertido del cemento, se debe extender a lo largo de toda superficie vertical, paredes, columnas, etc., una banda perimetral aislante que debe cubrir desde la base de soporte hasta la superficie del suelo radiante acabado.

- Los cálculos efectuados para utilización solo calefacción, no son válidos para aplicación calefacción y refrigeración. Efectivamente en todos aquellos casos en que el suelo radiante vaya a ser usado también en refrigeración, el cálculo del paso debe basarse en esta última aplicación, tratándose de condiciones en la que la emisión específica del suelo resulta más limitada.
- Ningún circuito debe superar la longitud de 200 m. La longitud depende obviamente del caudal y del diámetro del tubo. Es aconsejable limitar los circuitos a un máximo de 120 m.
- Temperatura de entrada: La establece el circuito del recinto más desfavorable de la instalación, es decir, el más largo y con más necesidades térmicas.

### 7.2.4.3 Cálculo de diseño y longitud de las tuberías de suelo radiante

A continuación se calcula la longitud de las tuberías del suelo radiante y sus circuitos. Los cálculos a continuación se basan en el manual técnico de Uponor para el diseño del piso radiante de la vivienda. Según norma UNE EN-1264.

Primero, teniendo que  $q_{ref}=78 \text{ W/m}^2$  (Refrigeración) y dado que la instalación se diseña para refrigeración, de los gráficos existentes en el manual técnico Uponor, se busca un paso (distancia entre tuberías) que cubra los requerimientos del recinto.

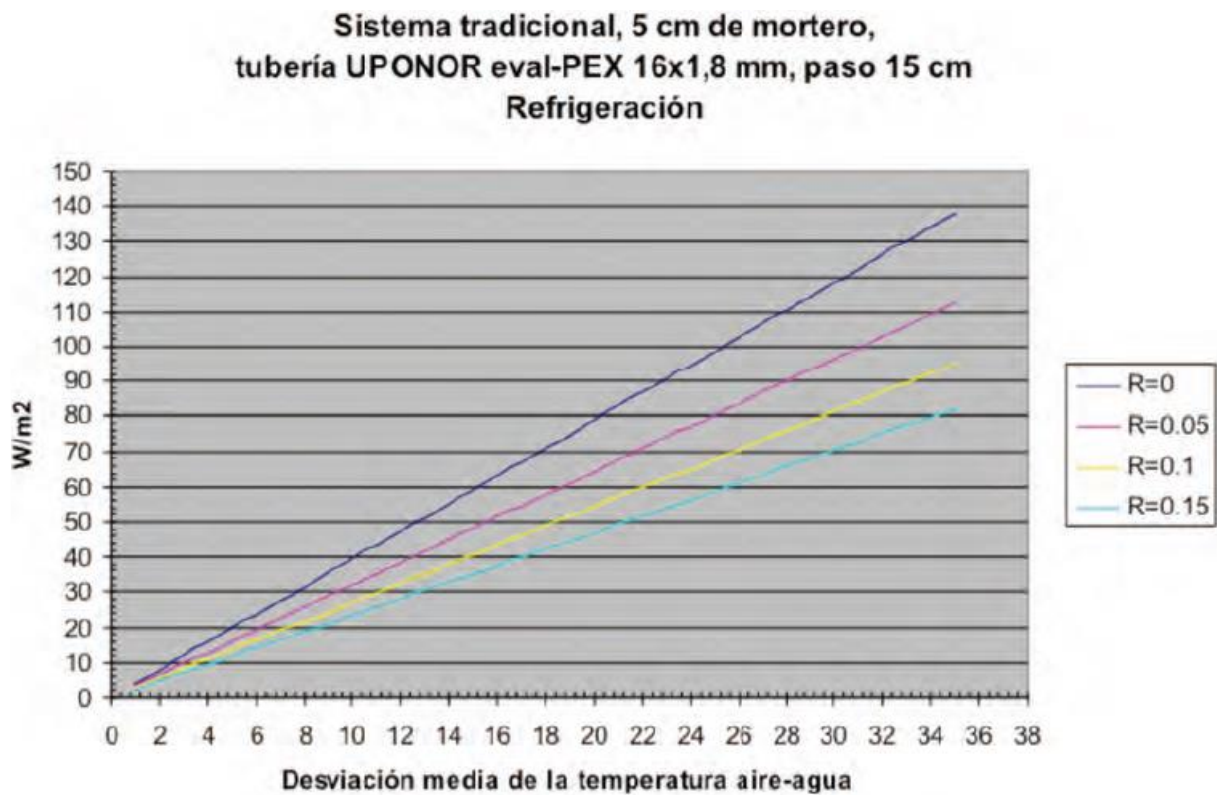


Figura 7.4: Gráfico con condiciones de suelo radiante, caso 1.



Del gráfico, se tiene que con un paso de 15 cm. y una resistividad térmica de cerámica de  $R=0,05$  ( $m^2K/W$ ). Se cubre  $q_{ref}=78$  ( $W/m^2K$ ) y además se obtiene la desviación media de la temperatura aire-agua de  $23^\circ C$ .

La longitud de la tubería para cada circuito se calcula mediante la siguiente expresión:

$$L = \frac{A}{e} + 2l$$

Donde:

A: Área a climatizar por el circuito ( $m^2$ )

e: Separación entre tuberías (m)

l: Distancia entre el colector y el área a climatizar (m)

Para el cálculo de la longitud de un circuito de tuberías PEX, se supondrá que el circuito más largo del sistema es la sexta parte del área total, por lo tanto el área a climatizar por el circuito será de  $50 m^2$ , la separación entre tuberías será de 15 cm. y la distancia entre el colector y el área a climatizar será de 5 m.

Por lo que se tiene:

$$L = \frac{50 m^2}{0,15 m} + 2 * 5m = 343,3 m.$$

Por lo tanto, se tiene una longitud de 344 m. para el circuito de tubería PEX más largo del recinto a climatizar.

El número de circuitos en el área a climatizar se calcula mediante la siguiente expresión:

$$N^{\circ}_{circuitos} = \frac{L_{total}}{L_{máx}}$$

Donde:

$N^{\circ}_{circuitos}$ : Número de circuitos necesario para satisfacer necesidades energéticas del local. (Circuitos)

$L_{total}$  : Largo total de tubería en el área mayor, para un paso de 15 cm. (m)

$L_{máx}$ : Largo máximo de la tubería en un circuito. (m)

Por lo tanto, si para una separación de tuberías de 15 cm. entonces se tiene  $L_{1 m^2} = 6,4$  metros de tubería por cada metro cuadrado de suelo radiante.

$$N^{\circ}_{circuitos} = \frac{344 (m)}{100(m)} = 3,44$$

Por lo tanto, se tendrán 4 circuitos con aproximadamente 86 metros de tubería cada uno.

### 8.2.4.3 Composición y características del suelo radiante

En este caso se utiliza para los circuitos, tuberías PEX de Ø16x1,8 mm. y se considera una separación máxima de 15 cm. recomendado por el manual técnico Uponor para caso de climatización. (Detalles de las características físicas de la tubería en anexo III, sección A.3.3, página 110)

Tabla 8.1: Características de construcción suelo radiante.

Características		Medida (mm.)
Aislamiento (espesor)		25,4
Tuberías	φ <sub>i</sub>	12,4
	φ <sub>e</sub>	16
Mortero (espesor)		50
Cerámica (espesor)		12

Tabla 7.2: Datos técnicos tubería PEX.

#### CARACTERÍSTICAS FÍSICAS

característica	valor	unidad
Densidad	951	Kg/m <sup>3</sup>
Grado de Reticulación	> 75	% peso
Rugosidad	0,007	mm

#### CARACTERÍSTICAS TÉRMICAS

característica	valor	unidad
Temperatura máxima de servicio	95	°C
Temperatura máxima puntual	110	°C
Comportamiento al calor 120°C; 1h	< 2,5	%
Coefficiente de dilatación lineal	1,5 · 10 <sup>-4</sup>	K <sup>-1</sup>
Calor específico a 23°C	2,3	KJ/ kg-K
Conductividad térmica	0,35 – 0,38	W/ m-K
Temperatura VICAT	130 – 132	°C

Fuente: Catálogo técnico Pipex S.A.

#### 7.2.4.4 Bases de cálculo

Para realizar el cálculo de la instalación de suelo radiante se debe partir de una temperatura máxima de la superficie del suelo según el tipo de instalación.

De la norma UNE EN-1264 se tienen las siguientes expresiones para poder calcular el flujo máximo de calor por unidad de área, conociendo la temperatura media del suelo ( $t_{piso}$ ) y la temperatura de diseño del interior del lugar a climatizar ( $t_{recinto}$ ) y según el caso resulta:

- **Calefacción**

$$q_{diseño\ max.} = 8,92(t_{piso} - t_{recinto})^{1,1} \left(\frac{W}{m^2}\right)$$

Para  $t_{piso}=29^{\circ}C$  (máximo valor permisible según norma UNE EN 1264) y  $t_{recinto}=20^{\circ}C$  (temperatura de diseño para el recinto en invierno). Reemplazando los valores, se tiene:

$$\therefore q_{diseño\ max.} = 8,92(29 - 20)^{1,1} = 100 \left(\frac{W}{m^2}\right) \text{ (Calefacción)}$$

- **Refrigeración**

$$q_{diseño\ máx.} = 7(t_{piso} - t_{recinto}) \left(\frac{W}{m^2}\right)$$

#### 7.2.4.5 Cálculo de la temperatura del piso en refrigeración

Para el cálculo de la temperatura de rocío, se tiene la siguiente ecuación:

$$t_{pr} = (HR)^{\frac{1}{8}} * (112 + 0,9 * t) + (0,1 * t) - 112$$

$$t_{pr} = (0,45)^{\frac{1}{8}} * (112 + 0,9 * 24) + (0,1 * 24) - 112 = 11,3^{\circ}C$$

Tabla 7.3: Cálculo temperatura punto de rocío.

$t_{recinto}$	24°C
HR	45%
$t_{pr}$	11,3°C

Donde:

$t_{pr}$ = Temperatura punto de rocío [°C].

$t_{recinto}$ = Temperatura ambiente [°C].

HR= Humedad relativa.

Por lo que se elige una temperatura de suelo para el caso de refrigeración de 12 °C evitando así el riesgo de condensación de agua en el piso de la habitación a climatizar. Reemplazando esta temperatura en la ecuación siguiente, se tiene:

$$q_{\text{diseño máx.}} = 7(t_{\text{piso}} - t_{\text{recinto}}) \left( \frac{W}{m^2} \right)$$

#### 7.2.4.6 Elección de la temperatura del recinto en verano

En verano se considerará una temperatura de recinto de 24°C, como condición interior de diseño, acorde a la tabla obtenida del RITCH (Reglamento de instalaciones térmicas de edificios en Chile).

Tabla 7.4: Condiciones interiores de diseño según invierno y verano

Condiciones interiores de diseño		
Época del año	Temperatura ambiente	Humedad relativa ambiente
Verano	23 a 25°C	40 a 60%
Invierno	20 a 23°C	40 a 60%

Reemplazando los valores antes calculados, se tiene:

$$q_{\text{diseño máx.}} = 7(12 - 24) = 84 \left( \frac{W}{m^2} \right) \text{ (Refrigeración)}$$

Tabla 7.5: Resumen entre carga requerida y carga de diseño para climatización

	$q_{\text{requerido}} \text{ (W/m}^2\text{)}$	$q_{\text{max diseño}} \text{ (W/m}^2\text{)}$
Calefacción	60	100
Refrigeración	78	84

Se puede observar que las cargas de diseño del suelo radiante para calefacción y refrigeración son mayores que las cargas de calefacción y refrigeración requeridas por el recinto, por lo que se puede decir que el suelo puede proporcionar la energía necesaria para mantener el ambiente a la temperatura elegida de 20°C en invierno y a 24°C en verano.

### 7.2.4.7 Elección bomba de circulación para piso radiante

A continuación se calcularán las pérdidas de carga que se provocan en el circuito más largo de tuberías PEX para suelo radiante en el recinto, junto al caudal necesario de circulación se elegirá la bomba de circulación.

#### Tener en consideración

Largo tubería PEX más larga en un circuito=100 m. con tuberías PEX de Ø16x1,8

Cantidad de circuitos en el mayor área a climatizar=4 circuitos para 50 m<sup>2</sup>.

Cada circuito cubrirá un área aproximada de 12,5 m<sup>2</sup>.

#### Cálculo de caudales máxicos

El cálculo se realiza de acuerdo a lo que recomienda el manual técnico Uponor de suelo radiante, basado en la norma UNE-EN 1264, el caudal se calcula con la siguiente expresión:

$$\dot{m} = \frac{A_{sr} * q}{\sigma * c_w} \left( 1 + \frac{R_o}{R_u} + \frac{t_i - t_u}{q * R_u} \right) \text{ (kg/s)}$$

Dónde:

$A_{sr}$ : Superficie cubierta por el circuito de suelo radiante (m<sup>2</sup>)

$q$ : Densidad de flujo térmico (W/m<sup>2</sup>)

$\sigma$ : Salto de temperatura (K)

$c_w$ : Calor específico del agua (J/kgK)

$R_o$ : Resistencia térmica parcial ascendente del suelo (m<sup>2</sup>K/W)

$R_u$ : Resistencia térmica parcial descendente del suelo (m<sup>2</sup>K/W)

$t_i$ : Temperatura del recinto inferior (°C)

$t_u$ : Temperatura del recinto (°C)

Los valores de las resistencias térmicas ascendentes y descendentes se calculan mediante las siguientes expresiones:

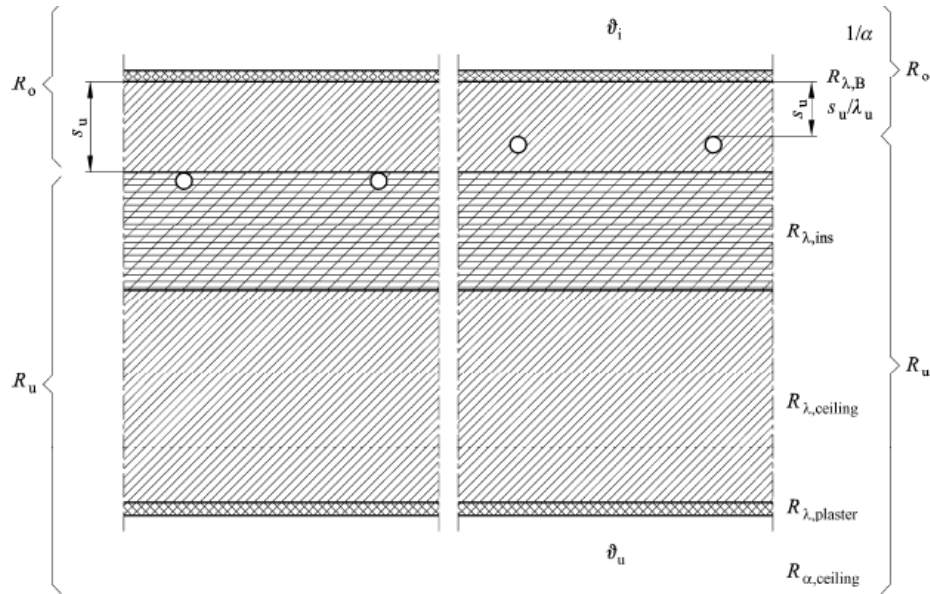


Figura 7.4: Esquema de disposición de la tubería en el suelo radiante.

Según norma UNE EN 1264, para este caso se define:

$$\frac{1}{\alpha} = 0,093 \left( \frac{m^2}{KW} \right)$$

$$R_{ceiling} = 0,17 \left( \frac{m^2K}{W} \right)$$

$$R_o = \frac{1}{\alpha} + R_{\lambda,B} + \frac{S_u}{\lambda_u} \left( \frac{m^2}{KW} \right)$$

$$R_u = R_{\lambda,ins} + R_{\lambda,ceiling} + R_{\lambda,plaster} + R_{\alpha,ceiling} \left( \frac{m^2}{KW} \right)$$

$$\sigma = T_{entrada\ agua} - T_{salida\ agua} \text{ (K)}$$

Reemplazando valores en las ecuaciones anteriores, se tiene:

$$R_o = \frac{1}{\alpha} + R_{cerámica} + R_{mortero} = 0,093 \left( \frac{m^2}{KW} \right) + \frac{0,012\ m}{0,81 \left( \frac{W}{mK} \right)} + \frac{0,05\ m}{1,3 \left( \frac{W}{mK} \right)} = 0,063 \left( \frac{m^2K}{W} \right)$$

$$R_u = R_{aislante} + R_{ceiling} = \frac{0,0254\ m}{0,035 \left( \frac{W}{mK} \right)} + 0,17 \left( \frac{m^2K}{W} \right) = 1,01 \left( \frac{m^2K}{W} \right)$$

Donde:

$\frac{1}{\alpha}$ : Resistencia térmica por convección del piso hacia el ambiente a climatizar ( $m^2K/W$ ).

$R_{\lambda,B}$ : Resistencia térmica del revestimiento del suelo ( $m^2K/W$ ).

$S_u$ : Espesor de la capa por encima del tubo (m).

$\lambda_u$ : Conductividad térmica del material por encima del tubo (W/mK).

$R_{\lambda,ins}$ : Resistencia térmica del aislante ( $m^2K/W$ ).

$R_{\lambda,ceiling}$ : Resistencia térmica de material entre suelo y aislante ( $m^2K/W$ ).

$R_{\lambda,plaster}$ : Resistencia térmica de material de plástico antes del aislante ( $m^2K/W$ ).

$R_{\alpha,ceiling}$ : Resistencia térmica por convección por el suelo ( $m^2K/W$ ).

Observación: Ceiling es un material que se coloca entre el suelo y el aislamiento, el plaster es el plástico que se coloca para evitar que ingrese agua al sistema, para el caso de cálculos estos materiales no se utilizarán.

- En calefacción:

$$Q = \frac{A_{sr} * q}{\sigma * c_w} \left( 1 + \frac{R_o}{R_u} + \frac{t_i - t_u}{q * R_u} \right) \text{ (kg/s)}$$

$$\dot{m} = \frac{12,5 \text{ m}^2 * 60 \frac{W}{m^2}}{5K * 4180 \frac{J}{kgK}} \left( 1 + \frac{0,063 \frac{m^2}{KW}}{1,01 \frac{m^2}{KW}} + \frac{(6 - 20) K}{60 \frac{W}{m^2} * 1,01 \frac{m^2}{KW}} \right) \text{ (kg/s)}$$

$$\dot{m} = 0,03 \frac{kg}{s}, \text{ como } \rho_{agua} = 1 \frac{kg}{lt}$$

$$\dot{V} = 0,03 \frac{lt}{s} = 3 * 10^{-5} \frac{m^3}{s} = 0.108 \frac{m^3}{h}$$

$$\text{Por lo tanto; } \vec{v} = \frac{4Q}{\pi * d_i^2} = \frac{4 * 3 * 10^{-5} \frac{m^3}{s}}{\pi * 0,0124^2 m^2} = 0,25 \frac{m}{s}$$

$$Re = \frac{v * d}{\nu_{35^\circ C}} = \frac{0,25 * 0,0124}{7,24 * 10^{-7}} = 4282 > 3000, \text{ por lo que hay regimen turbulento}$$

$$\frac{\varepsilon}{D} = \frac{0,007mm.}{12,4 mm.} = 0,00056, \text{ En ambos casos.}$$

- En refrigeración:

$$\dot{m} = \frac{12,5 \text{ m}^2 * 78 \frac{W}{m^2}}{5 K * 4186 \frac{J}{kgK}} \left( 1 + \frac{0,063 \frac{m^2}{KW}}{1,01 \frac{m^2}{KW}} + \frac{(6 - 24) K}{78 \frac{W}{m^2} * 1,01 \frac{m^2}{KW}} \right) \text{ (kg/s)}$$

$$\dot{m} = 0,04 \frac{kg}{s}, \text{ como } \rho_{agua} = 1 \frac{kg}{lt}$$

$$\dot{V} = 0,04 \frac{lt}{s} = 4 * 10^{-5} \frac{m^3}{s} = 0,14 \frac{m^3}{h}$$

$$\text{Por lo tanto; } \vec{v} = \frac{4Q}{\pi * d_i^2} = \frac{4 * 4 * 10^{-5} \frac{m^3}{s}}{\pi * 0,0124^2 m^2} = 0,33 \frac{m}{s}$$

$$Re = \frac{v^{\rightarrow} * d}{\nu_{18^{\circ}C}} = \frac{0,33 * 0,0124}{1,05 * 10^{-6}} = 3897 > 3000, \text{ por lo que hay regimen turbulento}$$

Con los datos del número de Reynold y la rugosidad relativa, se obtiene del Diagrama de Moody (Anexo III, sección A.2.4, página 105) un factor de fricción de 0,04 en calefacción y de 0,044 en refrigeración.

- En calefacción:

$$\text{Pérdida de carga} = f * 1,2 * \frac{L_{tubería}}{d_i} * \frac{v^2}{2 * g}$$

$$\text{Pérdida de carga} = 0,04 * 1,2 * \frac{100}{0,0124} * \frac{0,25^2}{2 * 9.8} = 1,23 \text{ m.}$$

- En refrigeración:

$$\text{Pérdida de carga} = 0,044 * 1,2 * \frac{100}{0,0124} * \frac{0,3^2}{2 * 9.8} = 2 \text{ m.}$$

Nota: Se multiplicó por un factor de 1,2 para agregar una estimación de las pérdidas singulares como un 10% de las pérdidas regulares del circuito.

#### 7.2.4.8 Cálculo de caudal máximo en suelo radiante

##### Datos

Área total = 300 m<sup>2</sup> (suelo radiante)



Observación: La mayor demanda de intercambio térmico ocurre en verano, por lo que el caudal máximo ocurre en régimen de refrigeración.

- Reemplazando lo valores en la siguiente ecuación, se tiene:

$$\dot{m} = \frac{A_{sr} * q}{\sigma * c_w} \left( 1 + \frac{R_o}{R_u} + \frac{t_i - t_u}{q * R_u} \right) (\text{kg/s})$$

$$\dot{m} = \frac{300 \text{ m}^2 * 78 \frac{\text{W}}{\text{m}^2}}{5 \text{ K} * 4186 \frac{\text{J}}{\text{kgK}}} \left( 1 + \frac{0,063 \frac{\text{m}^2}{\text{KW}}}{1,01 \frac{\text{m}^2}{\text{KW}}} + \frac{(6 - 24)\text{K}}{78 \frac{\text{W}}{\text{m}^2} * 1,01 \frac{\text{m}^2}{\text{KW}}} \right) (\text{kg/s})$$

$$\dot{V} = 0,93 \left( \frac{\text{lt}}{\text{s}} \right) = 3,35 \left( \frac{\text{m}^3}{\text{h}} \right)$$

La mayor pérdida de carga para el circuito más desfavorable es de 2 m. y se necesita un caudal de 3,35  $\left( \frac{\text{m}^3}{\text{h}} \right)$ , por lo que se elige desde el catálogo de UPONOR un grupo de impulsión UPONOR Fluvia E grupo de impulsión PPG-30-A. Que cumple con los requisitos necesarios según especificaciones técnicas. (Mayor información técnica en anexo III sección A.3.6, página 112).

### 7.3 Condiciones caso N° 2 para sistema de climatización geotérmica en lazo cerrado

- Ubicación: Puerto Montt
- Superficie del Recinto: 300 m<sup>2</sup>
- Potencia Específica de Calefacción: 75 W/m<sup>2</sup>
- Potencia Específica de Refrigeración: 97,5 W/m<sup>2</sup>
- Temperatura Recinto: 20°C
- Temperatura exterior de diseño (invierno): 3°C

### 7.3.1 Selección bomba de calor geotérmica

$$Potencia\ a\ instalar = 97,5 \frac{W}{m^2} * 300\ m^2 = 29250\ W$$

$$= 29,25\ kW$$

$$Q_{ref} = Q_{evap} = 29,25\ kW$$

$$Q_{equipo} = \frac{22,5\ kW}{0,9} = 32,5\ kW$$

Por lo tanto, se busca en el catálogo Enertres una bomba que soporte un

$$Q_{equipo} = 32,5\ kW$$

Potencia de refrigeración bomba geotérmica= 32,5 kW

\*Según catálogo Enertres 2015 para bombas de calor de lazo cerrado.

(Más detalles técnicas en anexo III sección A.3.1, página 107)

Se elige modelo: TERRA Twin 42 HGL P R410 A.

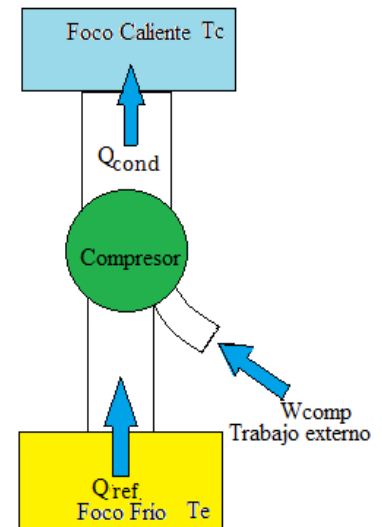


Figura 7.5 Sumatoria esquemática de energías en bomba de calor.

### 7.3.2 Circuito de intercambio de calor geotérmico

**Bomba de calor modelo:** (TERRA Twin 42 HGL P R410A)

#### Diseño del circuito geotérmico

Para conocer el largo que debe tener la tubería de polietileno de alta densidad para funcionar de forma óptima en calefacción y refrigeración, absorbiendo o cediendo calor a la fuente de agua superficial en la que se instale la tubería, se analizarán los casos de acuerdo a condiciones impuestas.

Para un caudal de circuito geotérmico de 10200 kg/h, según catálogo Enertres, con un fluido por interior de tubería compuesto de agua con 30% de etilenglicol, dónde este fluido tiene una densidad de 1052 kg/m<sup>3</sup> en calefacción y 1047 kg/m<sup>3</sup> en refrigeración, entonces:

- Calefacción:

$$\dot{V}_{circuito\_cerrado} = 10200 \frac{kg}{h} * \frac{1}{1052,8} \frac{m^3}{kg} = 9,69 \frac{m^3}{h} * \frac{1}{3600} \frac{h}{s} = 0,002691 \frac{m^3}{s}$$

- Refrigeración:

$$\dot{V}_{circuito\_cerrado} = 10200 \frac{kg}{h} * \frac{1}{1047} \frac{m^3}{kg} = 9,74 \frac{m^3}{h} * \frac{1}{3600} \frac{h}{s} = 0,002706 \frac{m^3}{s}$$

#### 7.3.2.1 Cálculo de largo de la tubería para calefacción (L<sub>calefacción</sub>)

Se entregan a continuación los resultados, obtenidos con el mismo método de cálculo del caso anterior.

Para obtener el  $\alpha_{agua+glicol}$ : Análisis del flujo por interior de tubería de hdpe en convección forzada. Propiedades del agua + 30% etilenglicol

De este modo se obtiene de tabla los siguientes valores (Obtenido desde anexo II sección A.2.3, página 104):

$$t_r = t_f = 2,75 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$\vec{v} = \frac{4Q}{\pi * (di)^2} = \frac{4 * 0,002691 \frac{m^3}{s}}{\pi * (0,0798)^2 m^2} = 0,54 \text{ m/s}$$

$$\therefore Re = \frac{v \vec{v} * d}{\vartheta} = \frac{0,54 * 0,0798}{5,81 * 10^{-6}} = 7417 > 3000, \text{ por lo que hay regimen turbulento.}$$

$$\therefore Nu = 0,012(7417^{0,87} - 280)47,51^{0,4} \left[ 1 + \left( \frac{0,0798}{0,01} \right)^{\frac{2}{3}} \right]$$

$$Nu = 575,1$$

$$\text{Entonces, } \alpha_{agua+glicol} = \frac{Nu * \lambda}{d} = \frac{575,1 * 0,466}{0,0798} = 3358,4 \frac{W}{m^2K}$$

Teniendo ambos coeficientes convectivos:  $\alpha_{agua}$  y  $\alpha_{agua+glicol}$ , se puede calcular el coeficiente global de transferencia de calor (U) de la tubería de hdpe con las características antes mencionadas.

$$U = \frac{1}{\frac{1}{3358,4} + \frac{0,0399}{0,5} \ln \left( \frac{0,045}{0,0399} \right) + \frac{0,0399}{0,045 * 314,5}} = 78,6 \text{ W/m}^2\text{K}$$

Reemplazando en caso 2 de la ecuación de transferencia de calor, se tiene:

$$\dot{m}_{H2O+glicol} = \rho * Q = 1052,8 * 0,002691 = 2,83 \text{ kg/s}$$

$$A_{TC} = \pi * d_i * L = \pi * 0,0798 * L \text{ m}^2$$

$$\frac{5 - 10}{0 - 10} = e^{-\left( \frac{78,6 * \pi * 0,0798 * L}{2,83 * 3617,8} \right)} / \ln(\quad)$$

$$\ln(0,5) = \frac{-78,6 * \pi * 0,0798 * L}{2,83 * 3617,8}$$

$$L_{\text{Calfacción}} = 360,15 \text{ m.}$$

### 7.3.2.2 Cálculo de largo de la tubería para refrigeración ( $L_{\text{refrigeración}}$ )

Para obtener el  $\alpha_{agua+glicol}$ : Análisis del flujo por interior de tubería de hdpe en convección forzada. Propiedades del agua + 30% etilenglicol:

De este modo se obtiene de tabla los siguientes valores (Obtenido desde anexo II sección A.2.2, página 103):

$$t_r = t_f = 17,25^\circ\text{C}$$

$$\vec{v} = 0,54\text{m/s}$$

$$\therefore Re = \frac{v \cdot d}{\nu} = \frac{0,54 \cdot 0,0798}{2 \cdot 10^{-6}} = 21546 > 3000, \text{ por lo que hay regimen turbulento}$$

$$Nu = 0,012(Re^{0,87} - 280)Pr^{0,4} \left[ 1 + \left(\frac{d}{l}\right)^{\frac{2}{3}} \right]$$

$$\text{Si, } l = \frac{\pi \cdot d^2}{2} = \frac{\pi \cdot 0,0798^2}{2} = 0,01 \text{ m}^2$$

$$\therefore Nu = 0,012(21546^{0,87} - 280)19,43^{0,4} \left[ 1 + \left(\frac{0,0798}{0,01}\right)^{\frac{2}{3}} \right]$$

$$Nu = 1101,1$$

$$\text{Entonces, } \alpha_{\text{agua+glicol}} = \frac{Nu \cdot \lambda}{d} = \frac{1101,1 \cdot 0,479}{0,0798} = 6609,4 \frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{K}}$$

Teniendo ambos coeficientes convectivos:  $\alpha_{\text{agua}}$  y  $\alpha_{\text{agua+glicol}}$ , se puede calcular el coeficiente global de transferencia de calor (U) de la tubería de hdpe con las características antes mencionadas.

$$U = \frac{1}{\frac{1}{6609,4} + \frac{0,0399}{0,5} \ln\left(\frac{0,045}{0,0399}\right) + \frac{0,0399}{0,045 \cdot 435,6}} = 84,8 \text{ W/m}^2\text{K}$$

Reemplazando en caso 2 de la ecuación de transferencia de calor, se tiene:

$$\dot{m}_{\text{H}_2\text{O+glicol}} = \rho \cdot Q = 1047 \cdot 0,002706 = 2,83 \text{ kg/s}$$

$$A_{TC} = \pi \cdot d_i \cdot L = \pi \cdot 0,0798 \cdot L \text{ m}^2$$

$$\frac{15 - 10}{20 - 10} = e^{-\left(\frac{84,2 \cdot \pi \cdot 0,0798 \cdot L}{2,83 \cdot 3666,5}\right)} / \ln(\quad)$$

$$\ln(0,5) = \frac{-84,2 \cdot \pi \cdot 0,0798 \cdot L}{2,83 \cdot 3666,5}$$

$$\mathbf{L_{Refrigeración} = 338,3 \text{ m.}}$$

$\therefore$  Se obtiene que  $L_{\text{calefacción}} < L_{\text{refrigeración}}$ , por lo tanto se usará la tubería de mayor longitud, para que así sea útil en invierno y verano.

$\therefore$  El largo de la tubería a instalar en el circuito de intercambio geotérmico será de 361 metros.

$\therefore$  Se necesitarán 8 rollos de tubería de hdpe de 50 m. con las características antes mencionadas.

#### 7.4 Elección de bomba de circulación en circuito de intercambio geotérmico

A continuación se calcularán las pérdidas de carga que se provocan en el circuito de intercambio geotérmico, junto al caudal necesario de circulación se elegirá la bomba que hará circular el fluido de agua + 30% de etilenglicol.

##### Datos del circuito

Largo tubería HDPE = 361 m.

$\dot{V}_{\text{circuito\_cerrado}} = 6300 \text{ kg/h}$ .

$v_{\text{fluido}} = 0,54 \text{ m/s}$ , para una tubería de diámetro interior de 79,8 mm.

- En calefacción:

$$Re = 7417 > 3000, \text{ por lo que hay régimen turbulento}$$

- En refrigeración:

$$Re = 21546 > 3000, \text{ por lo que hay régimen turbulento}$$

$$\frac{\varepsilon}{D} = \frac{0,008 \text{ mm.}}{79,8 \text{ mm.}} = 0,0001, \text{ en ambos casos.}$$

Con los datos del número de Reynold y la rugosidad relativa, se obtiene del diagrama de Moody (Anexo III, sección A.2.4, página 105) un factor de fricción de 0,034 en calefacción y de 0,026 en refrigeración.

- En calefacción:

$$\text{Pérdida de carga} = f * 1,2 * \frac{L_{\text{tubería}}}{d_i} * \frac{v^2}{2 * g}$$

$$\text{Pérdida de carga} = 0,034 * 1,2 * \frac{361}{0,0798} * \frac{0,54^2}{2 * 9.8} = 2,75 \text{ m.}$$

- En refrigeración:

$$\text{Pérdida de carga} = 0,026 * 1,2 * \frac{361}{0,0798} * \frac{0,54^2}{2 * 9.8} = 2,1 \text{ m.}$$

Observación: Se multiplicó por un factor de 1,2 para agregar una estimación de las pérdidas singulares como un 20% de las pérdidas regulares del circuito.

Por lo tanto, la bomba de cumplir con los siguientes requerimientos:

- $\dot{V} = 0,002691 \text{ m}^3/\text{s} = 9,7 \text{ m}^3/\text{h}$
- Pérdida de carga = 2,8 m

Por lo que se elige desde el catálogo de Enertres, el kit de conexión entre bomba de calor y colector con bomba modelo Wilo-Stratos 40/1-12 (Más detalles técnicos en anexo III sección A.3.12, página 116), para satisfacer los requerimientos de caudal y pérdidas de carga.

## 7.5 Circuito de distribución de calor en el recinto

### 7.5.1 Elección bomba de circulación para suelo radiante.

A continuación se calcularán las pérdidas de carga que se provocan en el circuito más largo de tuberías PEX para suelo radiante en el recinto, junto al caudal necesario de circulación se elegirá la bomba de circulación.

#### Datos del circuito

Mayor área a climatizar = 50 m<sup>2</sup>

Área de suelo radiante por circuito = 12,5 m<sup>2</sup>

$q_{\text{calef}}=75 \text{ W/m}^2$

$q_{\text{ref}}=97,5 \text{ W/m}^2$

Tuberías PEX de Ø16x1,8 mm.

Conociendo  $q_{\text{ref}}=97,5 \text{ W/m}^2$  (Refrigeración) y dado que la instalación se diseña para refrigeración, de los gráficos existentes en el manual técnico Uponor, se busca un paso (distancia entre tuberías) que cubra los requerimientos del recinto.

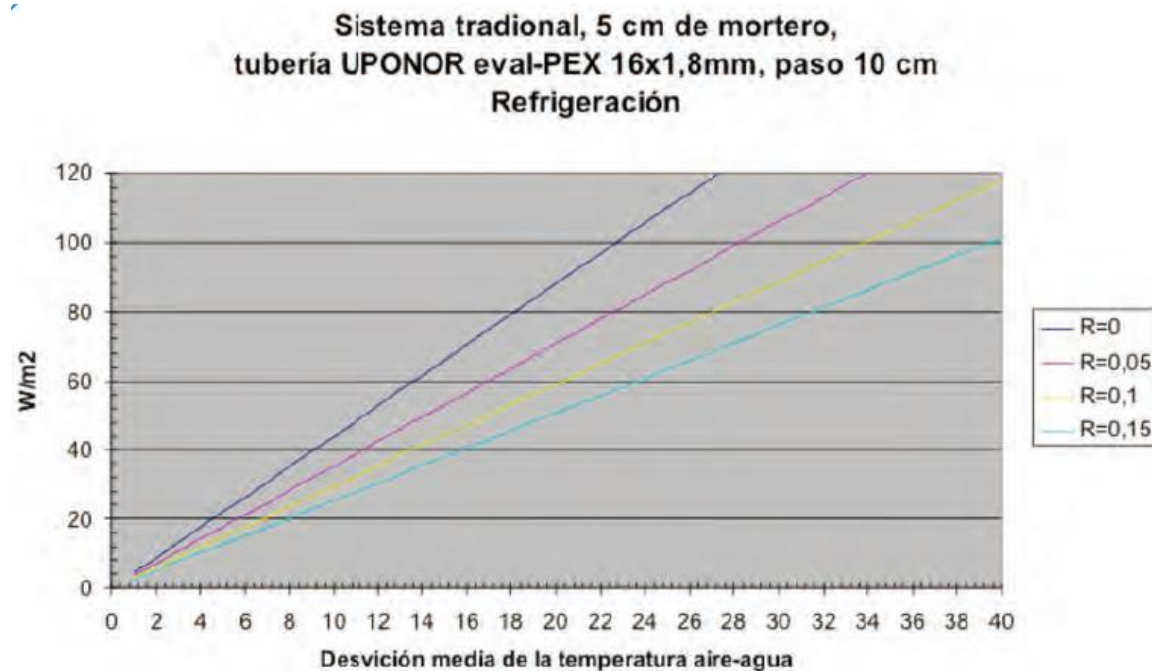


Figura 7.6: Gráfico con condiciones de suelo radiante para refrigeración, caso 2.

Para el cálculo de la longitud de un circuito de tuberías PEX, se supondrá que el circuito más largo del sistema, el área a climatizar por el circuito será de  $50 \text{ m}^2$ , la separación entre tuberías será de 10 cm. y la distancia entre el colector y el área a climatizar será de 5 m.

Por lo que se tiene:

$$L = \frac{50 \text{ m}^2}{0,1 \text{ m}} + 2 * 5\text{m} = 510 \text{ m}.$$

Por lo tanto, se tiene una longitud de 510 m. para el circuito de tubería PEX más largo del recinto a climatizar.

El número de circuitos en el área a climatizar se calcula mediante la siguiente expresión:

$$N^{\circ} \text{ circuitos} = \frac{L_{total}}{L_{m\acute{a}x}}$$

Donde:

$N^{\circ} \text{ circuitos}$ : Número de circuitos necesario para satisfacer necesidades energéticas del local. (Circuitos)

$L_{total}$ : Largo total de tubería en el área mayor, para un paso de 15 cm. (m)

$L_{m\acute{a}x}$ : Largo máximo de la tubería en un circuito. (m)

Por lo tanto, si para una separación de tuberías de 15 cm. entonces se tiene  $L_1 \text{ m}^2 = 6,4$  metros de tubería por cada metro cuadrado de suelo radiante.

$$N^{\circ} \text{ circuitos} = \frac{510 \text{ (m)}}{100 \text{ (m)}} = 5,1$$

Por lo tanto, se tendrán 6 circuitos con aproximadamente 85 metros de tubería cada uno.

Cada circuito cubrirá un área aproximada de  $8,3 \text{ m}^2$ .

### 7.5.1.1 Cálculo de caudales máxicos del circuito más desfavorable

- En calefacción:

$$\dot{m} = \frac{A_{sr} * q}{\sigma * c_w} \left( 1 + \frac{R_o}{R_u} + \frac{t_i - t_u}{q * R_u} \right) \text{ (kg/s)}$$

$$\dot{m} = \frac{8,3 \text{ m}^2 * 75 \frac{\text{W}}{\text{m}^2}}{5\text{K} * 4180 \frac{\text{J}}{\text{kgK}}} \left( 1 + \frac{0,063 \frac{\text{m}^2}{\text{kW}}}{1,01 \frac{\text{m}^2}{\text{kW}}} + \frac{(6 - 20) \text{ K}}{75 \frac{\text{W}}{\text{m}^2} * 1,01 \frac{\text{m}^2}{\text{kW}}} \right) \text{ (kg/s)}$$

$$\dot{m} = 0,026 \frac{\text{kg}}{\text{s}}, \text{ como } \rho_{\text{agua}} = 1 \frac{\text{kg}}{\text{lt}}$$

$$\dot{V} = 0,026 \frac{lt}{s} = 2,6 * 10^{-5} \frac{m^3}{s} = 0,094 \frac{m^3}{h}$$

$$\text{Por lo tanto; } \vec{v} = \frac{4Q}{\pi * d_i^2} = \frac{4 * 2,6 * 10^{-5} \frac{m^3}{s}}{\pi * 0,0124^2 m^2} = 0,22 \frac{m}{s}$$

$$Re = \frac{v \cdot d}{\nu_{35^\circ C}} = \frac{0,22 * 0,0124}{7,24 * 10^{-7}} = 3768 > 3000, \text{ por lo que hay regimen turbulento}$$

$$\frac{\varepsilon}{D} = \frac{0,007 mm.}{12,4 mm.} = 0,00056, \text{ En ambos casos.}$$

- En refrigeración:

$$\dot{m} = \frac{8,3 m^2 * 97,5 \frac{W}{m^2}}{5 K * 4186 \frac{J}{kgK}} \left( 1 + \frac{0,063 \frac{m^2}{KW}}{1,01 \frac{m^2}{KW}} + \frac{(6 - 24) K}{97,8 \frac{W}{m^2} * 1,01 \frac{m^2}{KW}} \right) \text{ (kg/s)}$$

$$\dot{m} = 0,034 \frac{kg}{s}, \text{ como } \rho_{agua} = 1 \frac{kg}{lt}$$

$$\dot{V} = 0,034 \frac{lt}{s} = 3,4 * 10^{-5} \frac{m^3}{s} = 0,12 \frac{m^3}{h}$$

$$\text{Por lo tanto; } \vec{v} = \frac{4Q}{\pi * d_i^2} = \frac{4 * 3,4 * 10^{-5} \frac{m^3}{s}}{\pi * 0,0124^2 m^2} = 0,28 \frac{m}{s}$$

$$Re = \frac{v \cdot d}{\nu_{18^\circ C}} = \frac{0,28 * 0,0262}{1,05 * 10^{-6}} = 6987 > 3000, \text{ por lo que hay regimen turbulento}$$

Con los datos del número de Reynold y la rugosidad relativa, se obtiene del Diagrama de Moody (Anexo III, sección A.2.4, página 105) un factor de fricción de 0,045 en calefacción y de 0,039 en refrigeración.

- En calefacción:

$$\text{Pérdida de carga} = 0,045 * 1,2 * \frac{100}{0,0124} * \frac{0,22^2}{2 * 9.8} = 1,08 m$$

- En refrigeración:

$$\text{Pérdida de carga} = 0,039 * 1,2 * \frac{100}{0,0124} * \frac{0,12^2}{2 * 9.8} = 0,3 m$$

Observación: Se multiplicó por un factor de 1,2 para agregar una estimación de las pérdidas singulares como un 20% de las pérdidas regulares del circuito.



### 7.5.1.3 Cálculo de caudal máximo en suelo radiante

**Datos:**

Área total = 300 m<sup>2</sup> (Suelo radiante)

Observación: La mayor demanda de intercambio térmico ocurre en verano, por lo que el caudal máximo ocurre en régimen de refrigeración.

- Reemplazando lo valores en la siguiente ecuación, se tiene:

$$\dot{m} = \frac{A_{sr} * q}{\sigma * c_w} \left( 1 + \frac{R_o}{R_u} + \frac{t_i - t_u}{q * R_u} \right) \text{ (kg/s)}$$

$$\dot{m} = \frac{300 \text{ m}^2 * 97,5 \frac{\text{W}}{\text{m}^2}}{5 \text{ K} * 4180 \frac{\text{J}}{\text{kgK}}} \left( 1 + \frac{0,063 \frac{\text{m}^2}{\text{KW}}}{1,01 \frac{\text{m}^2}{\text{KW}}} + \frac{(6 - 24)\text{K}}{97,5 \frac{\text{W}}{\text{m}^2} * 1,01 \frac{\text{m}^2}{\text{KW}}} \right) \text{ (kg/s)}$$

$$\dot{V} = 1,23 \left( \frac{\text{lt}}{\text{s}} \right) = 4,43 \left( \frac{\text{m}^3}{\text{h}} \right)$$

Se elige desde el catálogo de UPONOR un grupo de impulsión UPONOR Fluvia E grupo de impulsión PPG-30-A. Que cumple con los requisitos necesarios según especificaciones técnicas (Más detalles técnicos en anexo III sección A.3.6, página 112).

### Capítulo 8: Sistema de lazo abierto

A continuación se analizarán los casos con y sin intercambiador de calor de seguridad para bomba de calor, con datos obtenidos del catálogo Enertres, para Concepción y Puerto Montt, para captación freática de pozo, o agua superficial de río, lago o laguna.

En el catálogo Enertres se deja en evidencia que los daños por congelación y corrosión no son cubiertos por la garantía si no se dispone del set de intercambiador de seguridad y además se agrega que el set de intercambiador de seguridad debe ser instalado en los sistemas de agua freática obligatoriamente.

Para el cálculo del piso radiante de cada instalación se utilizarán los datos obtenido anteriormente en el sistema de lazo cerrado debido a que técnicamente se siguen los mismos principios de diseño, las características y condiciones exteriores del recinto son iguales para ambos casos de estudio en Concepción y Puerto Montt, lo que varía en estos casos de lazo abierto son propias de las

características que tiene la bomba de calor del circuito y de este modo, el circuito de intercambio de energía geotérmico es propia de la instalación de sistemas para climatización geotérmica de este tipo. En este capítulo se resume la instalación de lazo abierto en general, debido a que técnicamente este tipo de tecnología se puede utilizar obteniendo agua desde un pozo subterráneo o bien extraer agua desde alguna fuente superficial.

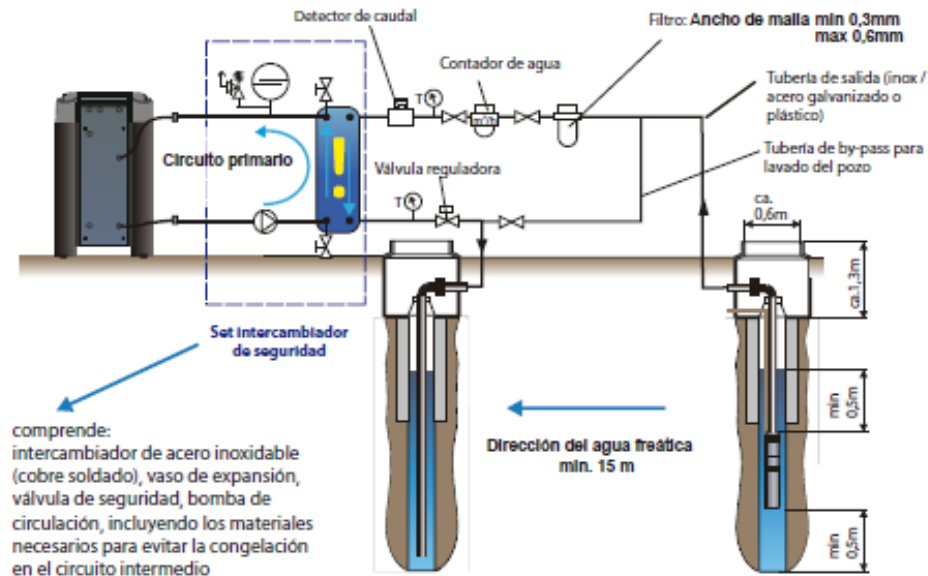


Figura 8.1: Esquema de instalación de lazo abierto con captación de agua freática. Ref. Catálogo Enertres.

### 8.1 Principios de diseño

La instalación en sistema de lazo abierto incluye tubería plástica, igual a la profundidad del pozo más 50 cm. Se requiere un nivel de agua en pozo de 2 m.

La temperatura de entrada del agua freática en invierno no debe descender de 7°C.

Se utilizarán en ambos casos las características físicas del suelo radiante calculado con anterioridad.

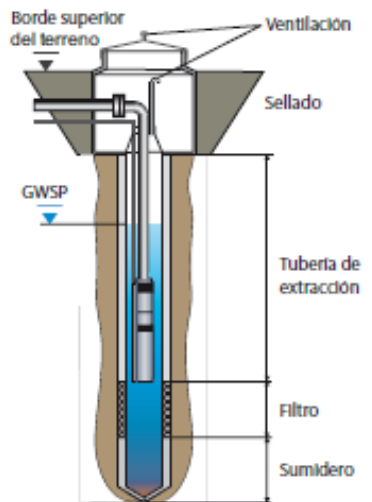


Figura 8.2: Toma de agua freática.

### 8.2 Intercambiador intermedio de seguridad o protección de la bomba de calor

Al circular agua subterránea directamente a través de una bomba de calor existen los siguientes riesgos:

- Que partículas en el agua puedan obstruir o desgastar las tuberías asociadas a la bomba de calor.
- Que minerales puedan precipitar al interior del evaporador de la bomba de calor.
- Que la salinidad o la presencia de gases disueltos provoquen corrosión.

Para proteger a la bomba de calor está la opción de utilizar un intercambiador de placas que proteja la exposición directa de la bomba al agua bombeada, esto generará pérdidas de calor en el sistema.

Utilizar el intercambiador de calor intermedio de seguridad puede generar que el problema de incrustación por precipitación de sales disueltas en el área de transferencia de calor ocurra en el intercambiador, pero esto es mucho más económico que generar el problema en la misma bomba de calor.

Hay que tener en consideración que utilizar un intercambiador de seguridad como parte del sistema de climatización de lazo abierto con captación de agua freática trae consigo una baja en el rendimiento de la instalación y de la eficiencia de la bomba de calor, esto porque la bomba de calor sin intercambiador de seguridad funciona directamente con la temperatura que le proporciona el agua de la napa subterránea, en cambio con intercambiador de seguridad hace que exista una caída de la temperatura que hace que el rendimiento general de la bomba de calor y el sistema en general disminuya.

### Esquema de bomba de calor con intercambiador de seguridad

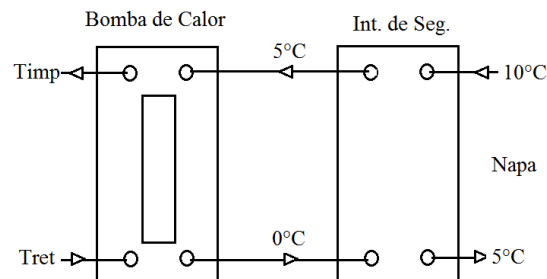


Figura 8.3: bomba de calor más intercambiador de seguridad.

### Diagrama de rendimiento de intercambiador de seguridad

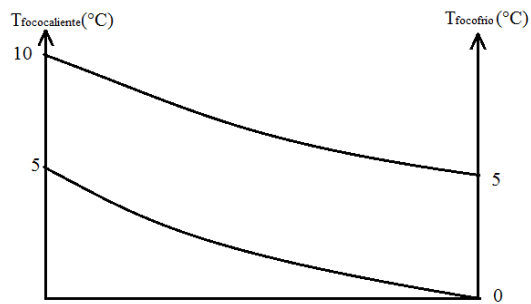


Figura 8.4: Gráfico rendimiento intercambiador de calor.

$$\eta_{IS} = \frac{10 - 5}{10 - 0} = 50\%$$

Por lo tanto el rendimiento del intercambiador de seguridad es de un 50% con los datos dados.

### Esquema de bomba de calor sin intercambiador de seguridad

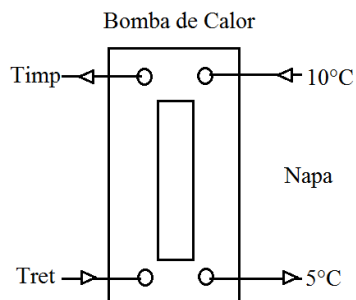


Figura 8.5: Esquema de bomba de calor sin intercambiador de seguridad.

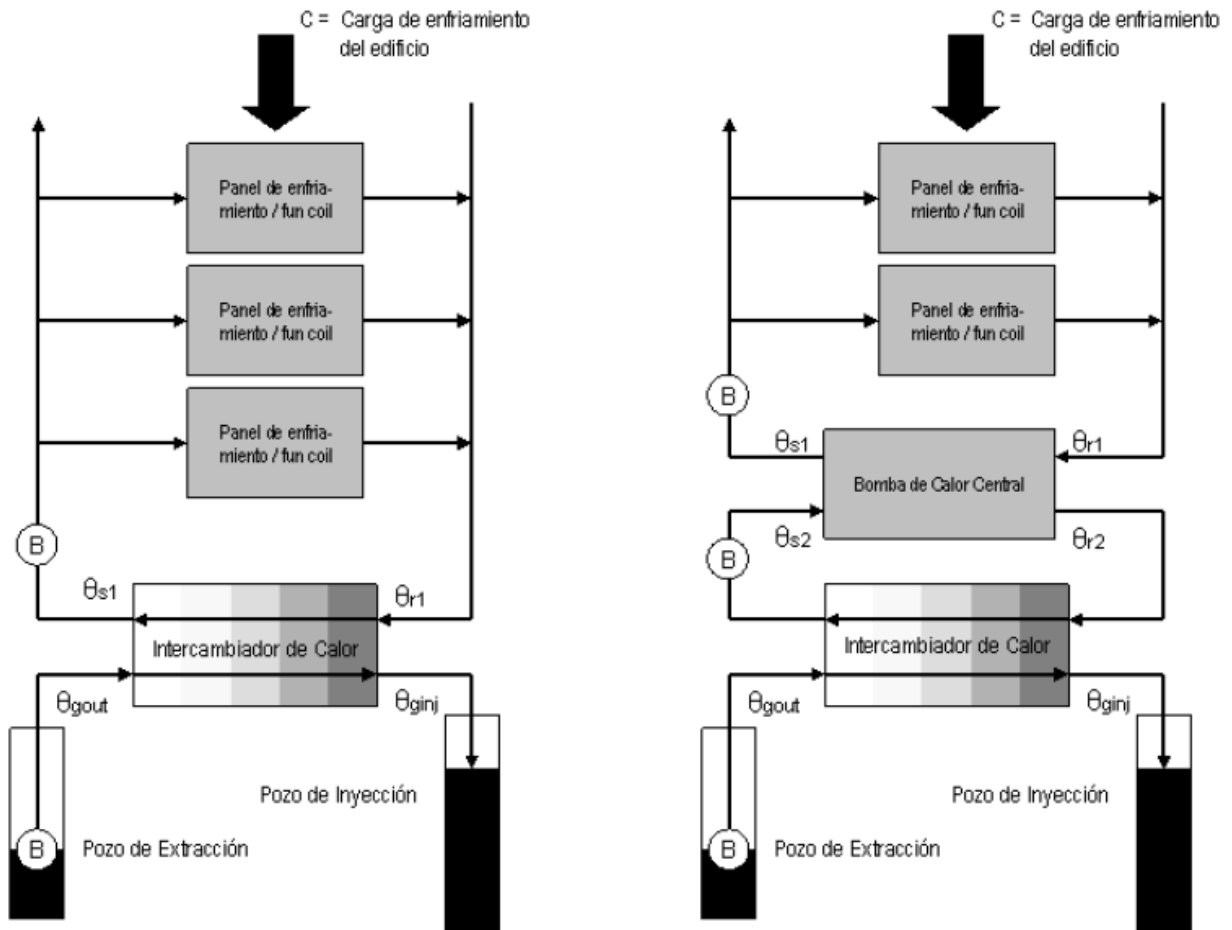


Figura 8.6: Diagramas esquemáticos mostrando como funciona un intercambio de calor de protección. A la izquierda entregando refrigeración pasiva y a la derecha calefacción activa, notar que el uso del intercambiador requiere la presencia de bombas de circulación adicionales.

### 8.3 Selección de bombas de calor para lazo abierto

#### 8.3.1 Caso 1

Para más detalles técnicos revisar anexo I sección A.1.2, página 98.

a) Selección de bomba de calor sin intercambiador de calor de seguridad

Ciudad = Concepción

$Q_{\text{equipo\_ref}} = 26 \text{ kW}$

Por lo tanto, se elige desde catálogo de bombas de calor de Enertres para bombas de calor que funcionan con agua freática, la bomba de calor modelo Terra 26 Twin HGL P R410A.

Datos técnicos (Terra 26 Twin HGL P R410A)

Potencia de salida para frío = 29,2 kW

$$\text{EER} = 5,9$$

Potencia de salida para calor = 34 kW

$$\text{COP} = 6,4$$

Caudal mínimo agua freática = 8400 lt/h

Caudal mínimo calefacción/frío = 6100 lt/h

Conexiones Sole/calefacción e hidráulicas = RM 1 ½"

b) Selección de bomba de calor con intercambiador de calor de seguridad

Ciudad = Concepción

$$Q_{\text{equipo\_ref}} = 26 \text{ kW}$$

Por lo tanto, se elige desde catálogo de bombas de calor de Enertres para bombas de calor que funcionan con agua freática, agregando en este caso el intercambiador de seguridad, la bomba de calor modelo Terra 26 Twin HGL P R410A.

Datos técnicos (Terra 26 Twin HGL P R410A)

Potencia de salida para frío = 26 kW

$$\text{EER} = 4,2$$

Potencia de salida para calor = 31,4 kW kW

$$\text{COP} = 5,2$$

Caudal mínimo agua freática = 8400 lt/h

Caudal mínimo calefacción/frío = 6100 lt/h

Conexiones Sole/calefacción e hidráulicas = RM 1 ½"

### 8.3.2 Caso 2

#### Selección de bomba de calor sin intercambiador de calor de seguridad

Ciudad = Puerto Montt

$$Q_{\text{equipo\_ref}} = 32,5 \text{ kW}$$

Por lo tanto, se elige desde catálogo de bombas de calor de Enertres para bombas de calor que funcionan con agua freática, la bomba de calor modelo Terra 42 Twin HGL P R410A.

**Datos técnicos** (Terra 42 Twin HGL P R410A)

Potencia de salida para frío = 45,2 kW

$$\text{EER} = 5,7$$

Potencia de salida para calor = 53,1 kW

$$\text{COP} = 6,2$$

Caudal mínimo agua freática = 13400 lt/h

Caudal mínimo calefacción/frío = 9700 lt/h

Conexiones Sole/calefacción e hidráulicas = RM 2”

#### **a) Selección de bomba de calor con intercambiador de calor de seguridad**

Ciudad = Puerto Montt

$$Q_{\text{calef}} = 32,5 \text{ kW}$$

Por lo tanto, se elige desde catálogo de bombas de calor de Enertres para bombas de calor que funcionan con agua freática, la bomba de calor modelo Terra 42 Twin HGL P R410A.

#### **Datos técnicos (Terra 42 Twin HGL P R410A)**

Potencia de salida para frío = 40,3 kW

$$\text{EER} = 4,1$$

Potencia de salida para calor = 49 kW

$$\text{COP} = 5,1$$

Caudal mínimo agua freática = 13400 lt/h

Caudal mínimo calefacción/frío = 9700 lt/h

Conexiones Sole/calefacción e hidráulicas = RM 2”

### **Capítulo 9: Evaluación del aspecto económico**

Para el estudio económico se compararán los casos de una instalación de climatización geotérmica con instalaciones convencionales de calefacción, para combustible como pellets, gas Licuado y petróleo, soportados en verano con sistema chiller para refrigeración. Todas las instalaciones funcionarán con piso radiante. Se evaluará y determinará la alternativa económicamente más atractiva. Conocidos los tipos de instalación y los equipos seleccionados, se procede a evaluar la rentabilidad económica de cada sistema, dependiendo los casos supuestos, con el fin de determinar la alternativa económicamente más viable

### 9.1 Análisis del ciclo de vida: Norma ASTM E917

El análisis del ciclo de vida de instalaciones y sistemas de la norma ASTM E917 permite evaluar proyectos que no poseen ingresos por venta, como es el caso de las instalaciones para climatización, consiste en traer al presente los valores de las diversas anualidades futuras, costos de operación, costo de energía y costos de reemplazo de algún accesorio u equipo, lo que sumado a la inversión inicial se obtiene el costo total del proyecto traído al presente.

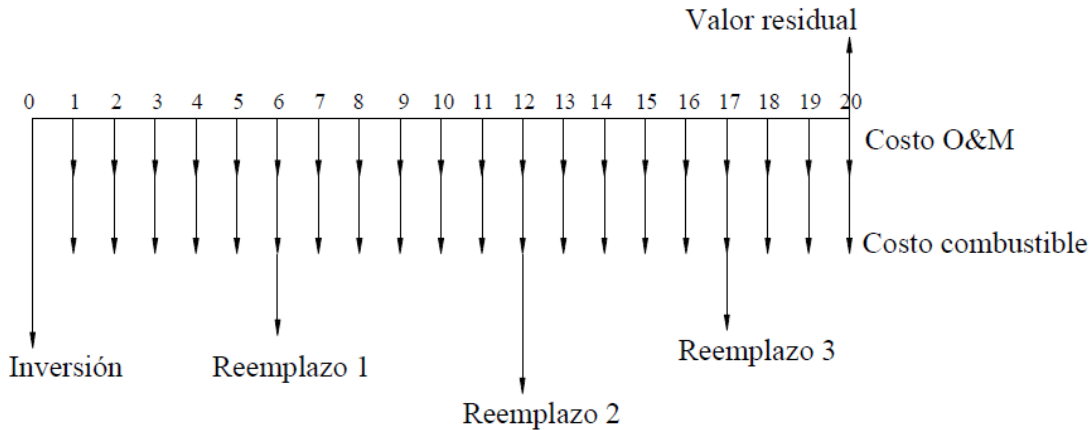


Figura 9.1: Flujos de dinero en el horizonte de evaluación.

Los diversos casos en evaluación, se estudian desde la perspectiva de selección e instalación en un recinto que no posee algún tipo de sistema de climatización existente con anterioridad. Para la evaluación se considerarán las siguientes ecuaciones:

- Valor presente en (pesos) del costo de energía anual que varía según tasa de escalamiento  $e$  del combustible a lo largo del horizonte de evaluación  $n$  a una tasa de interés o descuento  $i$ .

$$C_{energía} = C_{comb} \left( \frac{1+e}{1-e} \right) \left[ 1 - \left( \frac{1+e}{1-i} \right)^n \right]$$

Donde:

$C_{comb}$ : Costo de combustible anual en (pesos)

$e$ : Tasa de escalamiento del combustible en (%)

$i$ : Tasa de descuento del proyecto en (años)

$n$ : Horizonte de evaluación del proyecto en (años)

- Valor presente en (pesos) del costo de operación y mano de obra anual en un período de evaluación  $n$  con una tasa de interés o de descuento  $i$ .



$$P_{O\&M} = C_{O\&M} \left[ \frac{(1+i)^n - 1}{i(1+i)^n} \right]$$

Donde:

$C_{O\&M}$ : Costo de operación y mano de obra anual

- Valor presente del costo de reemplazo futuro de algún equipo u accesorio descontado a una tasa de interés  $i$  durante  $n$  periodos.

$$C_{reem_n} = C_{reem} \left[ \frac{1}{(1+i)^n} \right]$$

Donde:

$C_{reem}$ : Costo de los equipos u accesorios a reemplazar en (pesos).

$n$ : Año de reemplazo.

- Valor residual traído al presente, es el único ingreso del proyecto al final del horizonte de evaluación  $n$  y su valor dependerá del potencial del equipo en un mercado secundario.

$$VR = -V_r \left[ \frac{1}{(1+i)^n} \right]$$

Donde:

$V_r$ : Valor residual de los activos al final del proyecto en (pesos)

### 9.1.1 Definición de condiciones de contorno para el cálculo de análisis de ciclo de vida de cada tecnología

Para todos los cálculos efectuados se utilizaron las siguientes consideraciones:

- Horizonte de evaluación: 20 años
- Tasa de descuento ( $i$ ): 10% Anual
- Tasa de escalamiento de combustible ( $e$ ): 5% (electricidad), 6%(Pellets), 4%(Gas licuado y Petróleo) anual.
- Valor Dólar: 660 \$/US\$
- Valor Euro: 730 \$/Euro

- Depreciación lineal: 25 años
- Costo O&M: 5% de la inversión inicial

### 9.1.2 Cálculo de consumos y costos de energía para calefacción

El cálculo de consumo de combustible y costo por consumo anual de combustible, comienza ingresando características físicas del recinto, se obtiene la potencia instalada y la potencia que debe tener el equipo en el caso de calefacción. Teniendo la demanda energética, que representa el requerimiento específico de energía en función de las condiciones ambientales del momento, se procede a calcular el consumo de energía mes (kWh/año), el consumo de combustible y el costo de la energía anual (US\$/año).

Tabla 9.1: Ejemplo de planilla Excel utilizada en cálculo de costos de consumo de combustible.

Caso 1 GAS LICUADO					
Localización	Concepción		Pérdidas del Recinto		
Superficie recinto	300	m <sup>2</sup>	Potencia Específica	60	W/m <sup>2</sup>
Altura promedio	4	m	T° interior de cálculo	20	°C
Días operación/semana	7		T° exterior de cálculo	5	°C
Horas operación/día	14		Potencia instalada	18	kW
Volumen recinto	1200	m <sup>3</sup>	Potencia Caldera	23,5	kW
Valor de G	1,00	W/m <sup>3</sup> °C			
Horas día	24				
Grados-día Anual	1638,4	°C día/año			

### Consumos y Costos de Energía para Calefacción

Valor Dólar	660	\$/US\$
Combustible	Gas Licuado	
Poder Calorífico	12,8	kWh/kg
Rendimiento Caldera	85%	
Rendimiento Instalación	90%	
Costo Combustible	1.100	\$/kg
Costo Energía Térmica	36,163	US\$/GJ
Costo Energía	0,130	US\$/kWh

mes	Utiliza Calef?	GD/mes base 16°C	GD/mes en operación	días/mes	días semana en operación	Hrs. día en operación	factor operación	Consumo energía mes kWh/mes	Consumo comb. kg/mes	Costo energía mes US\$/mes
Enero	off	51,4	0,0	31	0	0	0,00	0,0	0,0	0,0
Febrero	off	55,5	0,0	28	0	0	0,00	0,0	0,0	0,0
Marzo	on	91,5	91,5	31	7	14	0,58	2008,9	156,9	261,5
Abril	on	131,3	131,3	30	7	14	0,58	2884,4	225,3	375,5
Mayo	on	162,8	162,8	31	7	14	0,58	3574,2	279,2	465,3
Junio	on	208,0	208,0	30	7	14	0,58	4568,1	356,8	594,7
Julio	on	222,5	222,5	31	7	14	0,58	4885,5	381,6	636,0
Agosto	on	214,4	214,4	31	7	14	0,58	4707,7	367,7	612,9
Septiembre	on	195,8	195,8	30	7	14	0,58	4300,5	335,9	559,9
Octubre	on	145,2	145,2	31	7	14	0,58	3189,1	249,1	415,2
Noviembre	off	96,8	0,0	30	0	0	0,00	0,0	0,0	0,0
Diciembre	off	63,2	0,0	31	0	0	0,00	0,0	0,0	0,0
Total Anual		1638,4	1371,5	365				30118,2	2352,6	3921,0

\*Valores grados día mensuales obtenidos de apuntes Profesor Reinaldo Sánchez A. para curso de “Proyectos e instalación de equipos térmicos” (Para más detalles revisar [anexo A.2.5](#), página 106).

Consumo específico anual=100,39 kWh/m<sup>2</sup>año

Costo por consumo de combustible anual=2.587.890 pesos/año

### 9.1.3 Costos de consumos de combustible para refrigeración

Una forma certera para estimar los costos por concepto de consumo de combustibles para refrigeración se puede obtener mediante la simulación de la vivienda en un software especializado en instalaciones térmica (Ej.: Ecotest, TAS, Design Builder, etc.) estos software consideran en la evaluación pérdidas y ganancias de energía todo el año, cómo esto no es el objetivo de esta Habilidad Profesional se estimará la demanda energética para refrigeración y así estimar proporcionalmente el costo por consumo de combustible para refrigeración con la siguiente información. Del análisis del apunte “Evaluación de demanda energética en edificios” de la asignatura de “Proyecto de equipos e instalaciones térmicas”, se tienen parámetros lineales de la demanda energética en edificios para un ejemplo de un edificio de 7 pisos y 5531 m<sup>2</sup> de superficie a climatizar. Para las siguientes condiciones:

Tabla 9.2: Condiciones de la estructura de un edificio para simulación.

Solución	Pisos ventilados	Muros	Techumbre	Ventanas
1, sin EE	Sin aislación	Sin aislación	50 mm lana mineral	Vidrio cristal simple
2, con EE	40 mm aislación	40 mm aislación	100 mm aislación	Vidrio cristal simple
3, con EE	80 mm aislación	80 mm aislación	150 mm lana mineral	Vidrio cristal doble

Ref. Apuntes Prof. Reinaldo Sánchez A.

Se obtienen los siguientes consumos de energía, para el edificio:

Tabla 9.3: Resultados de simulación de edificio.

		Solución 1	Solución 2	Solución 3
Calefacción	kW h/ m <sup>2</sup> año	34.5	21.3	15.0
Refrigeración	kW h/ m <sup>2</sup> año	4.4	7.4	9.8
Total	kW h/ m <sup>2</sup> año	38.9	28.8	24.8
Total	kW h/año	215,267	159,072	136,892

Reducción consumo	0.0%	26.1%	36.4%
-------------------	------	-------	-------

Ref. Apuntes Prof. Reinaldo Sánchez A.

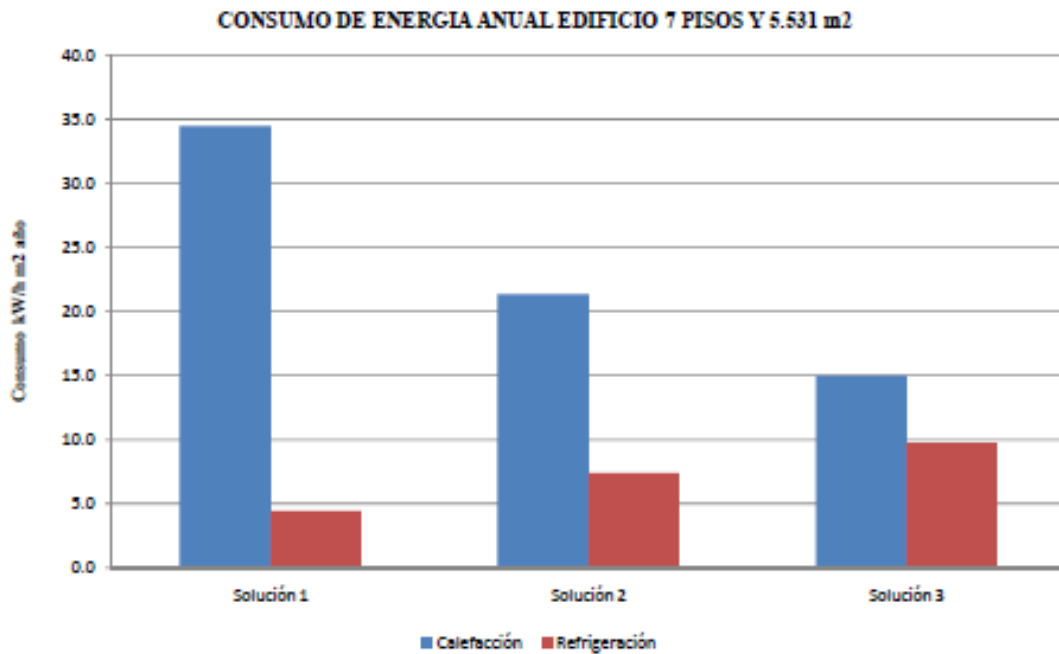


Figura 9.1: Gráfico de consumo de energía anual de un edificio, respecto a su nivel de eficiencia energética.  
 Ref. Apuntes Profesor Reinaldo Sánchez A. para curso de “Proyectos e instalación de equipos térmicos”.

Con esto se puede obtener un valor estimado del costo de consumo de combustible para refrigeración, como una proporción del costo de consumo de combustible para calefacción.

Por lo que se utiliza de la tabla y la gráfica para la solución 1 antes descrita, debido a que el edificio que se está analizando en el caso de esta Habilitación Profesional no posee eficiencia energética. Se utiliza por lo tanto que la demanda energética de refrigeración y por consiguiente el costo por consumo de combustible para refrigeración es un 12,75% del total del costo de consumo de combustible. Para todo tipo de instalación y ambas ciudades en estudio.

Nota: En el ítem Anexos de aspecto económico aparecen las demás inversiones realizadas a las tecnologías de comparación tradicionales de climatización. (Para más detalles de cálculo revisar anexo IV, página 117).

**9.1.6 Resumen de inversiones y costos de operación (climatización)**

Tabla 9.5: Resumen de inversiones y gasto de combustible en ambos casos

CASO 1 (Concepción)	Costos Inversión	Costos Instalación	TOTAL		Gasto en Combustible	
	Euros	Euros	Euros	Pesos	Euros	pesos
Pellets+Chiller	53.131,20 €	15.939,36 €	69.070,56 €	\$50.421.509	1.904,75 €	\$1.390.466
Gas Licuado+Chiller	34.221,35 €	10.266,41 €	44.487,76 €	\$32.476.065	3.864,44 €	\$2.821.038
Petróleo+Chiller	34.249,56 €	10.274,87 €	44.524,43 €	\$32.502.835	2.384,87 €	\$1.740.953
Lazo Abierto c/ int.	51.892,22 €	15.567,67 €	67.459,89 €	\$49.245.721	1.254,65 €	\$915.894
Lazo Abierto s/ int.	47.548,22 €	14.264,47 €	61.812,69 €	\$45.123.265	1.019,40 €	\$744.164
Lazo Cerrado	46.780,37 €	14.034,11 €	60.814,48 €	\$44.394.571	1.517,25 €	\$1.107.593

CASO 2 (Puerto Montt)	Costos Inversión	Costos Instalación	TOTAL		Gasto en Combustible	
	Euros	Euros	Euros	Pesos	Euros	pesos
Pellets+Chiller	56.065,87 €	16.819,76 €	72.885,63 €	\$53.206.511	2.883,52 €	\$2.104.971
Gas Licuado+Chiller	37.385,87 €	11.215,76 €	48.601,64 €	\$35.479.195	5.850,22 €	\$4.270.657
Petróleo+Chiller	37.413,93 €	11.224,18 €	48.638,11 €	\$35.505.819	3.610,36 €	\$2.635.560
Lazo Abierto c/ int.	59.598,73 €	17.879,62 €	77.478,35 €	\$56.559.197	1.936,61 €	\$1.413.723
Lazo Abierto s/ int.	54.653,53 €	16.396,06 €	71.049,59 €	\$51.866.202	1.593,02 €	\$1.162.901
Lazo Cerrado	54.219,75 €	16.265,92 €	70.485,67 €	\$51.454.539	2.296,91 €	\$1.676.741

**9.1.7 Evaluación económica del caso 1 (Concepción) para las distintas tecnologías en estudio**

<b>Alternativa N° 1 Geotermia Lazo Cerrado</b>			
Horizonte evaluación	20	años	
Tasa descuento	10%		
Tasa escalamiento comb.	5%		
Inversión	\$44.394.571		
Costo Energía Comb.	\$ 1.390.466	Anual	
Costo reemplazo 1	\$ 850.000	5	años
Costo reemplazo 2	\$ 2.500.000	10	años
Costo reemplazo 3	\$ 800.000	14	años
Costo reemplazo 4	\$ 2.500.000	18	años
Depreciación lineal	25	años	
Valor residual	\$ 8.891.498		
Costo O&M	\$ 2.212.729	5%	Inversión
		<b>Valor Actual</b>	
1) Inversión inicial		\$ 44.394.571	
2) Costo O&M		\$ 18.897.801	
3) Costo de reemplazo 1		\$ 527.783	
4) Costo de reemplazo 2		\$ 963.858	
5) Costo de reemplazo 3		\$ 460.830	
6) Costo de reemplazo 4		\$ 223.832	
7) Costo Energía		\$ 930.711	
8) Valor Residual		-\$ 1.319.794	
<b>Resultado Final</b>		<b>\$ 65.068.409</b>	

<b>Alternativa N° 2 Geotermia Lazo Abierto con int. de seg.</b>			
Horizonte evaluación	20	años	
Tasa descuento	10%		
Tasa escalamiento comb.	5%		
Inversión	\$49.245.721		
Costo Energía Comb.	\$ 915.894	Anual	
Costo reemplazo 1	\$ 750.000	5	años
Costo reemplazo 2	\$ 2.250.000	10	años
Costo reemplazo 3	\$ 750.000	14	años
Costo reemplazo 4	\$ 2.250.000	18	años
Depreciación lineal	25	años	
Valor residual	\$ 9.849.144		
Costo O&M	\$ 2.462.286	5%	Inversión
		<b>Valor Actual</b>	
1) Inversión inicial		\$ 49.245.721	
2) Costo O&M		\$ 20.962.829	
3) Costo de reemplazo 1		\$ 465.691	
4) Costo de reemplazo 2		\$ 867.472	
5) Costo de reemplazo 3		\$ 197.498	
6) Costo de reemplazo 4		\$ 404.482	
7) Costo Energía		\$ 613.056	
8) Valor Residual		-\$ 1.464.013	
<b>Resultado Final</b>		<b>\$ 71.292.937</b>	

<b>Alternativa N° 3</b>		<b>Geotermia Lazo Abierto sin int. de seg.</b>	
Horizonte evaluación	20	años	
Tasa descuento	10%		
Tasa escalamiento comb.	5%		
Inversión	\$45.123.265		
Costo Energía Comb.	\$744.164	Anual	
Costo reemplazo 1	\$ 750.000	5	años
Costo reemplazo 2	\$ 2.250.000	10	años
Costo reemplazo 3	\$ 750.000	14	años
Costo reemplazo 4	\$ 2.250.000	18	años
Depreciación lineal	25	años	
Valor residual	\$ 9.024.653		
Costo O&M	\$ 2.256.163	5%	Inversión
		<b>Valor Actual</b>	
1) Inversión inicial		\$ 45.123.265	
2) Costo O&M		\$ 19.234.773	
3) Costo de reemplazo 1		\$ 465.691	
4) Costo de reemplazo 2		\$ 867.472	
5) Costo de reemplazo 3		\$ 197.498	
6) Costo de reemplazo 4		\$ 404.682	
7) Costo Energía		\$ 498.108	
8) Valor Residual		-\$ 1.341.457	
<b>Resultado Final</b>		<b>\$ 65.423.249</b>	

<b>Alternativa N° 4</b>		<b>Pellets más Chiller</b>	
Horizonte evaluación	20	años	
Tasa descuento	10%		
Tasa escalamiento comb.	6%		
Inversión	\$50.421.509		
Costo Energía Comb.	\$ 1.390.466	Anual	
Costo reemplazo 1	\$ 850.000	5	años
Costo reemplazo 2	\$ 2.500.000	10	años
Costo reemplazo 3	\$ 850.000	14	años
Costo reemplazo 4	\$ 2.500.000	18	años
Depreciación lineal	25	años	
Valor residual	\$10.084.302		
Costo O&M	\$ 2.521.075	5%	Inversión
		<b>Valor Actual</b>	
1) Inversión inicial		\$ 50.421.509	
2) Costo O&M		\$ 21.463.336	
3) Costo de reemplazo 1		\$ 527.783	
4) Costo de reemplazo 2		\$ 963.858	
5) Costo de reemplazo 3		\$ 223.832	
6) Costo de reemplazo 4		\$ 449.647	
7) Costo Energía		\$ 820.488	
8) Valor Residual		-\$ 1.498.967	
<b>Resultado Final</b>		<b>\$ 73.371.486</b>	

<b>Alternativa N° 5</b>		<b>Gas Licuado más Chiller</b>	
Horizonte evaluación	20	años	
Tasa descuento	10%		
Tasa escalamiento comb.	4%		
Inversión	\$32.476.065		
Costo Energía Comb.	\$2.821.038	Anual	
Costo reemplazo 1	\$ 850.000	5	años
Costo reemplazo 2	\$ 2.500.000	10	años
Costo reemplazo 3	\$ 850.000	14	años
Costo reemplazo 4	\$ 2.500.000	18	años
Depreciación lineal	25	años	
Valor residual	\$ 6.495.213		
Costo O&M	\$ 1.626.803	5%	Inversión
		<b>Valor Actual</b>	
1) Inversión inicial		\$ 32.476.065	
2) Costo O&M		\$ 13.824.352	
3) Costo de reemplazo 1		\$ 527.783	
4) Costo de reemplazo 2		\$ 963.858	
5) Costo de reemplazo 3		\$ 223.832	
6) Costo de reemplazo 4		\$ 449.647	
7) Costo Energía		\$ 2.060.755	
8) Valor Residual		-\$ 965.472	
<b>Resultado Final</b>		<b>\$ 49.560.821</b>	

<b>Alternativa N° 6</b>		<b>Petróleo más Chiller</b>	
Horizonte evaluación	20	años	
Tasa descuento	10%		
Tasa escalamiento comb.	4%		
Inversión	\$32.502.835		
Costo Energía Comb.	\$1.740.953	Anual	
Costo reemplazo 1	\$ 850.000	5	años
Costo reemplazo 2	\$ 2.500.000	10	años
Costo reemplazo 3	\$ 850.000	14	años
Costo reemplazo 4	\$ 2.500.000	18	años
Depreciación lineal	25	años	
Valor residual	\$ 6.500.567		
Costo O&M	\$ 1.625.142	5%	Inversión
		<b>Valor Actual</b>	
1) Inversión inicial		\$ 32.502.835	
2) Costo O&M		\$ 13.835.748	
3) Costo de reemplazo 1		\$ 527.783	
4) Costo de reemplazo 2		\$ 963.858	
5) Costo de reemplazo 3		\$ 223.832	
6) Costo de reemplazo 4		\$ 449.647	
7) Costo Energía		\$ 1.271.758	
8) Valor Residual		-\$ 966.268	
<b>Resultado Final</b>		<b>\$ 48.809.193</b>	



**9.1.8 Evaluación económica del caso 2 (Puerto Montt) para las distintas tecnologías en estudio**

Alternativa N° 1 Geotermia Lazo Cerrado			
Horizonte evaluación	20	años	
Tasa descuento	10%		
Tasa escalamiento comb.	5%		
Inversión	\$51.454.539		
Costo Energía Comb.	\$1.676.741	Anual	
Costo reemplazo 1	\$ 850.000	5	años
Costo reemplazo 2	\$ 2.500.000	10	años
Costo reemplazo 3	\$ 850.000	14	años
Costo reemplazo 4	\$ 2.500.000	18	años
Depreciación lineal	25	años	
Valor residual	\$ 10.290.908		
Costo O&M	\$ 2.572.727	5%	Inversión
		Valor Actual	
1) Inversión inicial		\$ 51.454.539	
2) Costo O&M		\$ 21.903.075	
3) Costo de reemplazo 1		\$ 527.783	
4) Costo de reemplazo 2		\$ 963.858	
5) Costo de reemplazo 3		\$ 223.832	
6) Costo de reemplazo 4		\$ 449.647	
7) Costo Energía		\$ 1.122.330	
8) Valor Residual		-\$ 1.529.678	
Resultado Final		\$ 75.115.386	

Alternativa N° 2 Geotermia Lazo Abierto con int. de seg.			
Horizonte evaluación	20	años	
Tasa descuento	10%		
Tasa escalamiento comb.	5%		
Inversión	\$56.559.197		
Costo Energía Comb.	\$ 1.413.723	Anual	
Costo reemplazo 1	\$ 750.000	5	años
Costo reemplazo 2	\$ 2.250.000	10	años
Costo reemplazo 3	\$ 750.000	14	años
Costo reemplazo 4	\$ 2.250.000	18	años
Depreciación lineal	25	años	
Valor residual	\$11.311.839		
Costo O&M	\$ 2.827.960	5%	Inversión
		Valor Actual	
1) Inversión inicial		\$ 56.559.197	
2) Costo O&M		\$ 24.076.016	
3) Costo de reemplazo 1		\$ 465.691	
4) Costo de reemplazo 2		\$ 867.472	
5) Costo de reemplazo 3		\$ 197.498	
6) Costo de reemplazo 4		\$ 404.682	
7) Costo Energía		\$ 946.278	
8) Valor Residual		-\$ 1.681.433	
Resultado Final		\$ 81.835.403	

Alternativa N° 3	Geotermia Lazo Abierto sin int. de seg.		
Horizonte evaluación	20	años	
Tasa descuento	10%		
Tasa escalamiento comb.	5%		
Inversión	\$51.866.202		
Costo Energía Comb.	\$1.162.901	Anual	
Costo reemplazo 1	\$ 750.000	5	años
Costo reemplazo 2	\$ 2.250.000	10	años
Costo reemplazo 3	\$ 750.000	14	años
Costo reemplazo 4	\$ 2.250.000	18	años
Depreciación lineal	25	años	
Valor residual	\$ 10.373.240		
Costo O&M	\$ 2.593.310	5%	Inversión
		Valor Actual	
1) Inversión inicial		\$ 51.866.202	
2) Costo O&M		\$ 22.078.311	
3) Costo de reemplazo 1		\$ 465.691	
4) Costo de reemplazo 2		\$ 867.472	
5) Costo de reemplazo 3		\$ 197.498	
6) Costo de reemplazo 4		\$ 404.682	
7) Costo Energía		\$ 778.390	
8) Valor Residual		-\$ 1.541.916	
Resultado Final		\$ 75.116.331	

Alternativa N° 4	Pellets más Chiller		
Horizonte evaluación	20	años	
Tasa descuento	10%		
Tasa escalamiento comb.	6%		
Inversión	\$53.206.511		
Costo Energía Comb.	\$2.104.971	Anual	
Costo reemplazo 1	\$ 850.000	5	años
Costo reemplazo 2	\$ 2.500.000	10	años
Costo reemplazo 3	\$ 850.000	14	años
Costo reemplazo 4	\$ 2.500.000	18	años
Depreciación lineal	25	años	
Valor residual	\$10.641.302		
Costo O&M	\$ 2.660.326	5%	Inversión
		Valor Actual	
1) Inversión inicial		\$ 53.206.511	
2) Costo O&M		\$ 22.648.851	
3) Costo de reemplazo 1		\$ 527.783	
4) Costo de reemplazo 2		\$ 963.858	
5) Costo de reemplazo 3		\$ 223.832	
6) Costo de reemplazo 4		\$ 449.647	
7) Costo Energía		\$ 1.242.104	
8) Valor Residual		-\$ 1.581.762	
Resultado Final		\$ 77.680.824	

<b>Alternativa N° 5</b>		<b>Gas Licuado más Chiller</b>	
Horizonte evaluación	20	años	
Tasa descuento	10%		
Tasa escalamiento comb.	4%		
Inversión	\$35.479.195	Anual	
Costo Energía Comb.	\$4.270.657		
Costo reemplazo 1	\$ 850.000	5	años
Costo reemplazo 2	\$ 2.500.000	10	años
Costo reemplazo 3	\$ 850.000	14	años
Costo reemplazo 4	\$ 2.500.000	18	años
Depreciación lineal	25	años	
Valor residual	\$ 7.095.839		
Costo O&M	\$ 1.773.960	5%	Inversión
		<b>Valor Actual</b>	
1) Inversión inicial	\$ 35.479.195		
2) Costo O&M	\$ 15.102.719		
3) Costo de reemplazo 1	\$ 527.783		
4) Costo de reemplazo 2	\$ 963.858		
5) Costo de reemplazo 3	\$ 223.832		
6) Costo de reemplazo 4	\$ 449.647		
7) Costo Energía	\$ 3.119.696		
8) Valor Residual	-\$ 1.054.751		
Resultado Final	\$ 54.811.978		

<b>Alternativa N° 6</b>		<b>Petróleo más Chiller</b>	
Horizonte evaluación	20	años	
Tasa descuento	10%		
Tasa escalamiento comb.	4%		
Inversión	\$35.505.819	Anual	
Costo Energía Comb.	\$2.635.560		
Costo reemplazo 1	\$ 850.000	5	años
Costo reemplazo 2	\$ 2.500.000	10	años
Costo reemplazo 3	\$ 850.000	14	años
Costo reemplazo 4	\$ 2.500.000	18	años
Depreciación lineal	25	años	
Valor residual	\$ 7.101.164		
Costo O&M	\$ 1.775.291	5%	Inversión
		<b>Valor Actual</b>	
1) Inversión inicial	\$ 35.505.819		
2) Costo O&M	\$ 15.114.053		
3) Costo de reemplazo 1	\$ 527.783		
4) Costo de reemplazo 2	\$ 963.858		
5) Costo de reemplazo 3	\$ 223.832		
6) Costo de reemplazo 4	\$ 449.647		
7) Costo Energía	\$ 1.925.264		
8) Valor Residual	-\$ 1.055.543		
Resultado Final	\$ 53.654.713		

### 9.1.9 Resumen de carga anual equivalente

Tabla 9.6: Resumen carga anual equivalente

<b>Tipo de Instalación</b>	<b>Caso 1</b>	<b>Caso 2</b>
Lazo Cerrado	\$ 65.068.409	\$ 75.115.386
Lazo Abierto c/ IS	\$ 71.292.937	\$ 81.835.403
Lazo Abierto s/ IS	\$ 65.423.249	\$ 75.116.331
Pellet + Chiller	\$ 73.371.486	\$ 77.680.824
Gas + Chiller	\$ 49.560.821	\$ 54.811.978
Petróleo + Chiller	\$ 48.809.193	\$ 53.654.713

Comentarios:

- Se determinaron las demandas energéticas anuales y los costos asociados de manera general y aproximada para calefacción y refrigeración utilizando para ello distintas fuentes energéticas.
- Esto dio como resultado un panorama que indica cuál es la fuente energética más favorable siguiendo la norma ASTM E917, teniendo en cuenta que no se está reemplazando alguna tecnología existente, sino que se está buscando la alternativa más viable para instalar desde cero.
- Se tomó en cuenta una profundidad de pozo de extracción de 15 m. y con desagüe en alcantarillado que es la opción más económica, dado que lo más caro dentro de la tecnología de lazo abierto es la excavación de pozos.
- Los costos de reemplazo para el año 5, 10, 14 y 18 fueron estimados con motivos de estudio, iguales para todos los tipos de tecnología, debido a que los costos de equipos a reemplazar son similares, tratándose todos de equipos que funcionan como parte del sistema de climatización.

### 9.1.10 Conclusión análisis ciclo de vida

Del estudio realizado para sistemas de climatización geotérmica de baja temperatura y piso radiante para las ciudades de Concepción y Puerto Montt, se evaluó el suministro de energía térmica para calefacción y refrigeración para distintas alternativas como: bomba de calor geotérmica (lazo cerrado y lazo abierto con y sin intercambiador de seguridad), caldera a gas, caldera a petróleo, caldera a pellets, estas calderas con soporte de mini chillers para verano. Se concluye que la mejor alternativa desde el punto de vista económico, desde más a menos viables es:

- **Para el caso 1 (Concepción)**
  - 1.- Caldera a petróleo más Chiller
  - 2.- Caldera a gas licuado más Chiller
  - 3.- Bomba de calor geotérmica de lazo cerrado
  - 4.- Bomba de calor geotérmica sin intercambiador de seguridad
  - 5.- Bomba de calor geotérmica con intercambiador de seguridad
  - 6.- Caldera pellets más Chiller
  
- **Para el caso 2 (Puerto Montt)**
  - 1.- Caldera a petróleo más Chiller
  - 2.- Caldera a gas licuado más Chiller
  - 3.- Bomba de calor geotérmica de lazo cerrado
  - 4.- Bomba de calor geotérmica sin intercambiador de seguridad
  - 5.- Caldera pellets más Chiller
  - 6.- Bomba de calor geotérmica con intercambiador de seguridad

## **Capítulo 10: Aspectos legales generales**

En el año 2000 en Chile se publicó la Ley N° 19.657 sobre concesiones de Energía Geotérmica, la que tiene como objetivo promocionar la industria de la geotermia a través de la agilización de los procedimientos y remover barreras para constituir concesiones de exploración y explotación. La energía geotérmica 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 la creación de la Ley N°19.657 establece bases generales sobre la geotermia en Chile, es poco específica en el momento de hablar de geotermia de baja temperatura, o de clasificar de algún modo los tipos de geotermia, no se diferencian temperaturas de trabajo, ni magnitudes de proyectos. No indica diferencia alguna entre geotermia de alta temperatura para generación eléctrica ubicada en zonas volcánicas y geotermia de baja temperatura utilizada para calefaccionar una vivienda utilizando la inercia térmica del terreno o agua. Lo que técnicamente no tiene comparación la superficie de

terrenos a utilizar, ni la magnitud en potencia a instalar, recursos humanos, técnicos, etc. que implican la realización de estos proyectos.

En el caso particular de esta Habilitación Profesional sobre energía geotérmica de muy baja temperatura utilizada para climatización, se debe entender que cualquier proyecto de este tipo se registrará del mismo modo que un proyecto de geotermia de alta temperatura para generación eléctrica, debido a que la legislación chilena actual trata la geotermia como un todo. Técnicamente para la ley los proyectos geotérmicos que se rigen por ella son los que consisten en extracción, producción y transformación de fluidos geotérmicos en energía térmica o eléctrica.

En el caso de uso de agua subterránea los procedimientos y leyes que los 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. En los sistemas geotérmicos de baja temperatura de lazo abierto es necesario estudiar el derecho de uso no consuntivo y su proceso de gestión de solicitudes.

### **10.1 Aspectos legales de sistemas geotérmicos de muy baja temperatura de lazo abierto con uso de aguas subterráneas**

Para el caso particular de obtener derechos de utilización de aguas subterráneas existen dos caminos legales, existe el procedimiento sobre concesiones geotérmicas, que contempla el uso del agua subterránea en procesos de explotación geotérmica. El otro consiste en el estudio de los derechos de aprovechamiento no consuntivo de aguas subterráneas, que es definido por el Código de Aguas (1981) como el 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.

El organismo responsable de la otorgación de derechos es la Dirección General de Aguas (DGA), aquí es dónde se realiza el proceso de solicitud y adjudicación de los mismos.

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

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

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 caso de este trabajo.

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.

### **10.1.2 Requisitos**

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). Dentro de las más relevantes se encuentran: 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.

## Capítulo 11: Conclusiones

1.- De la evaluación de factibilidad técnica y económica de utilizar energía geotérmica con bomba de calor agua-agua, comparando dichas tecnologías con respecto a sistemas de calefacción con caldera y enfriamiento por chiller, en ciudades del sur de Chile. Se puede inferir que, la implementación de sistemas geotérmicos de baja temperatura para climatización es factible desde un punto de vista técnico, es posible su instalación y funcionamiento en las ciudades de Concepción y Puerto Montt y depende de las características hidrográficas de la ubicación específica del recinto a climatizar. Se debe contar con la presencia de algún cuerpo de agua superficial (río, lago o laguna) y/o la presencia de agua en las napas subterráneas, de no ser así, es imposible la instalación de algún sistema de climatización geotérmico basado en bomba de calor agua-agua. Concepción y Puerto Montt, ambas ciudades del sur de Chile son ciudades que por su ubicación geográfica tienen altas probabilidades de contar con las condiciones antes mencionadas para la instalación de un sistema de este tipo. La evaluación de este tipo de sistemas requiere una perspectiva multidisciplinaria, conociendo e interpretando adecuadamente los datos hidrogeológicos y estimando adecuadamente las demandas energéticas.

Desde un punto de vista económico con análisis del ciclo de vida de instalaciones y sistemas de la norma ASTM E917 para las distintas tecnologías en estudio, se puede concluir que no es factible la instalación de un sistema de climatización geotérmica de baja temperatura en comparación con sistemas convencionales de climatización, esto debido principalmente a que en 20 años (horizonte de evaluación del proyecto) no se amortiza el alto costo de inversión en equipos para sistema de climatización geotérmica con bomba de calor agua-agua y suelo radiante, en comparación con la menor inversión en sistemas de caldera a gas licuado, petróleo y chiller de enfriamiento. Los costos por consumo de electricidad en sistemas geotérmicos son menores comparados con sistemas convencionales, pero no alcanzan a ser lo suficientemente bajos como para ser más factibles económicamente en el horizonte de evaluación para los requerimientos específicos de la aplicación, en este caso calefacción y refrigeración.

2.- De la descripción del contexto tecnológico de la energía geotérmica en sistemas de climatización, Se describió en la primera parte de esta Habilitación Profesional, específicamente en los capítulos: 2,



3, 4 y 5 lo referente al contexto tecnológico que rodea a la energía geotérmica en sistemas de climatización.

3.- De establecer variables y parámetros de un recinto, que permita el estudio de casos y la comparación de instalación de sistemas de climatización en el sur de Chile. Se establecieron variables y parámetros de un recinto, que permitieron la comparación de las diversas tecnologías en estudio. Se eligieron las ciudades de Concepción y Puerto Montt para estudiar el comportamiento de un recinto estándar con potencia específica para calefacción de 60 y 75 ( $\text{W}/\text{m}^2$ ) respectivamente. De las cuáles se obtuvieron valores de G (Coeficiente de distribución de pérdidas volumétricas) de 1 y 1,1 ( $\text{W}/\text{m}^3\text{K}$ ) para un recinto de 300 ( $\text{m}^2$ ) de superficie y 4 metros de altura promedio, por lo que se demuestra que el recinto presenta comportamiento cercano a un edificio Departamento (albañilería) de piso intermedio, sin aislación térmica y con 30 % de ventanas, esto significa que el modelo estándar que se propone posee pocas pérdidas volumétricas. Las condiciones anteriormente descritas permiten desarrollar un estudio comparativo para los distintos tipos de tecnologías en estudio. Se profundiza y muestra en los capítulos 6,7 y 8 del presente informe mayor detalle de los parámetros de estudio utilizados.

4.- De desarrollar un estudio técnico económico que caracterice y compare sistemas de lazo abierto y cerrado, en la tecnología de bombas de calor geotérmicas, respecto de sistemas de calefacción con caldera y enfriamiento con chiller, para alimentar suelo radiante de un recinto. Se puede concluir que; dentro de los sistemas geotérmicos de climatización, entre lazo abierto y cerrado, para condiciones económicas impuestas, es más factible el sistema de lazo cerrado debido a su menor costo en inversión en comparación con los de lazo abierto, donde es necesaria la perforación de 15 metros de pozo encamisado y esto genera un mayor costo en inversión. Dentro de los sistemas de lazo abierto, cabe mencionar que al contar con intercambiador de calor de seguridad presentan una caída de su eficiencia por lo que presentan un mayor consumo de electricidad, y además, al agregar un intercambiador de seguridad aumenta el costo de la inversión inicial, esto hace que económicamente sea menos factible su elección en comparación con un sistema de lazo abierto sin intercambiador de seguridad. Según los datos recabados se puede concluir que el riesgo de hacer funcionar la bomba de calor agua-agua sin intercambiador de seguridad es mayor a los beneficios que trae su mayor eficiencia y menor gasto

en electricidad, considerando que el costo de la bomba de calor puede alcanzar un 40% de la inversión total en un sistema geotérmico de climatización, mucho mayor al de un intercambiador de seguridad.

Comparando económicamente los casos entre Concepción y Puerto Montt, se nota un encarecimiento de la inversión inicial, debido a los mayores requerimientos energéticos es necesario equipos con mayor potencia para suplir las necesidades energéticas para un mismo recinto.

Cabe señalar que el costo de la inversión para la tecnología de suelo radiante ocupa cerca de un 35% de la inversión total y ocupa el segundo lugar en costos de inversión para sistemas de climatización geotérmicos y el primer lugar en costos de inversión para sistemas de caldera de calefacción más chiller de enfriamiento.

Del análisis económico con análisis del ciclo de vida de instalaciones y sistemas de la norma ASTM E917 se concluye que; no es factible la instalación de un sistema de climatización geotérmica de baja temperatura en comparación con sistemas convencionales de climatización, esto debido principalmente a que en 20 años (horizonte de evaluación del proyecto) no se amortiza el alto costo de inversión en equipos para sistema de climatización geotérmica con bomba de calor agua-agua y suelo radiante, en comparación con la menor inversión en sistemas de caldera a gas licuado, petróleo y chiller de enfriamiento.

5.- De la evaluación de las implicancias normativas para un proyecto de climatización con energía geotérmica de baja temperatura bajo parámetros locales, se concluye que; en Chile es bastante inusual el uso de este tipo de energía debido a lo elevado de los costos de inversión inicial que implica una gran barrera económica a la hora de elegir un tipo de tecnología u otro. Se debe sumar a esto que normativamente la ley N°19.657 que rige las concesiones de energía geotérmica, no hace diferencia entre energía geotérmica de baja o alta temperatura, lo que genera bastantes exigencias a la hora de pedir permisos para un proyecto de esta envergadura, tomando en consideración lo poco invasivo de estos sistemas en comparación con sistemas geotérmicos de alta temperatura. Es interesante el potencial que posee la energía geotérmica de baja temperatura para climatización, debido a que es una tecnología limpia, eficiente y de bajo consumo energético en comparación con sistemas de climatización convencionales basados en el uso de combustible fósiles como el petróleo, gas o biomasa.

Al incentivar el uso de este tipo de tecnología a través de subvenciones, como se hace en países europeos como España, se propiciaría el desarrollo de empresas y especialización de profesionales en el rubro, ayudando a la activación en el mercado actual de una tecnología que ayuda a disminuir las emisiones de dióxido de carbono a la atmósfera, ayudando en parte a la sostenibilidad y sustentabilidad de nuestro planeta.

## Capítulo 12: Bibliografía

- Mankiw N., Gregory. Principios de economía, 3ra. Edición, (2004).
- Chain, Sapag. Preparación y evaluación de proyectos, 5ta. Edición, (2008).
- Sánchez A., Reinaldo. Apuntes asignatura transferencia de Calor, (2008).
- Sánchez A., Reinaldo. Apuntes asignatura proyectos de equipos térmicos e instalaciones térmicas y de fluidos, (2008).
- Cerda M., Luis. Apuntes asignatura acondicionamiento ambiental, (2014).
- Sánchez A., Reinaldo. Apuntes asignatura termodinámica, (2007).
- ASTM E 917-02. Standard Practice for Measuring Life-Cycle Cost of Buildings and Building Systems, (2005).
- Llopis, Guillermo-Rodrigo, Vicente. Guía de la Energía Geotérmica, (2008).
- Regeocities. Resumen de la Legislación sobre Geotermia poco profunda en Europa, (2013).
- Enertres. Sistema Integrales de Climatización con Energías Renovables, Catálogo Tarifa, (2014).
- Manual de Normas y Procedimientos para la Administración de Recursos Hídricos, Dirección General de Aguas, Ministerio de Obras Públicas, Chile, (2008).
- Reglamento de Instalaciones térmicas de Edificios en Chile, Cámara Chilena de Refrigeración y Climatización, (2007).
- Manual de instalaciones térmicas, Cámara Chilena de la Construcción, (2014).
- Uponor. Información Técnica Geotermia, (2013).
- Tarifa Uponor 2015.
- Tarifa Wilo 2014.
- Boletín Técnico Tuberías HDPE Vinilit.
- Boletín Técnico Tuberías PVC Vinilit.
- Catálogo Calderas de Pie Anwo.
- Catálogo General de Aire Acondicionado Carrier.

## ANEXOS

### Anexo I: Cálculos complementarios realizados

#### A.1.1 Cálculo vasos de expansión

Los vasos de expansión son elementos imprescindibles en todo sistema de climatización y su función es mantener la presión de la instalación y absorber el incremento del volumen de fluidos en tuberías en circuito cerrado, que se produce como consecuencia de las variaciones de temperatura.

Los vasos de expansión son los encargados de compensar este aumento de volumen de fluido, evitando que la presión del circuito sobrepase la presión nominal de sus componentes.

**Cálculo del volumen del vaso de expansión (Detalles técnicos en anexo III sección A.3.1, página 107)**

$$V_t = \frac{(C * e)}{F_p}$$

Donde:

$V_t$ (Lts): Volumen total del estanque de expansión

$C$ (Lts): Capacidad volumétrica de la instalación

$e$ : Coeficiente de expansión para temperatura máxima del sistema.

$$F_p: \text{Factor de presión} = 1 - \frac{(P_0+1)}{(P_{max}+1)}$$

$P_0$ (Bar): Presión de inflado del vaso =  $\left(\frac{H(m)}{10}\right) + 0,2$  ( $bar \geq 1 bar$  (valor mínimo 1 bar)).

$P_{vs}$ (Bar): Presión de tarado de la válvula de seguridad.

$P_{max}$ (Bar): Presión máxima del sistema =  $P_{vs} - 0,5 bar$  (cuando  $P_{vs} \leq 5bar$ )

$P_{vs} * 0,9 bar$  (cuando  $P_{vs} > 5bar$ )

### 1.- Lazo cerrado

#### Caso 1

- **Circuito de intercambio geotérmico**

El volumen o capacidad útil que debe tener el depósito debe ser al menos de:

$$C = (\pi * r^2) * L = \left( \pi * \left( \frac{0.0798 \text{ m}}{2} \right)^2 * 366 \text{ m} \right) = 1,83 \text{ m}^3 = 1830 \text{ lt.}$$

Multiplicando por un factor de seguridad del 10% y 20% extra de volumen de otros dispositivos, se tiene que:

$$V_t = 1830 * 1,3 = 2379 \text{ lt}$$

El factor de dilatación para un fluido de agua + 30% etilenglicol es de:

$e = 0,0114$  Para 20°C que es la mayor temperatura y se presenta en el fluido de intercambio geotérmico en ciclo de refrigeración. (Ref. Catálogo Ibaiondo)

$$F_p = 1 - \frac{(P_0 + 1)}{(P_{max} + 1)} = 1 - \frac{1 + 1}{3 + 1} = 0,5$$

$$\therefore V_t = \frac{2379 * 0.0114}{0,5} = 54,2 \text{ lt}$$

Por lo tanto se elige un vaso de expansión de 80 lt. **Modelo 80CMF Ibaiondo**, precio: 88,07 Euros

- **Circuito piso radiante**

El volumen o capacidad útil que debe tener el depósito debe ser al menos de:

$$C = (\pi * r^2) * L = \left( \pi * \left( \frac{0,0124 \text{ m}}{2} \right)^2 * 2000 \text{ m} \right) = 0,24 \text{ m}^3 = 240 \text{ lt.}$$

Multiplicando por un factor de seguridad del 20% y de volumen de otros dispositivos, se tiene que:

$$C = 240 * 1,2 = 288 \text{ lt}$$

El factor de dilatación para un fluido de agua

$e = 0,0217$  Para 50°C que es la mayor temperatura y se presenta en el fluido de intercambio geotérmico en ciclo de calefacción. (Ref. Catálogo Ibaiondo)

$$F_p = 1 - \frac{(P_0 + 1)}{(P_{max} + 1)} = 1 - \frac{1 + 1}{2,5 + 1} = 0,43$$

$$\therefore V_t = \frac{288 * 0.0217}{0,43} = 14,5 \text{ lt}$$

Por lo tanto se elige un vaso de expansión de 18 lt. **Modelo 18 CMF Ibaiondo**, precio: 21,77 Euros

**Caso 2**

- **Circuito de intercambio geotérmico**

El volumen o capacidad útil que debe tener el depósito debe ser al menos de:

$$C = (\pi * r^2) * L = \left( \pi * \left( \frac{0.0798 \text{ m}}{2} \right)^2 * 361 \text{ m} \right) = 1,8 \text{ m}^3 = 1800 \text{ lt.}$$

Multiplicando por un factor de seguridad del 10% y de 20% volumen de otros dispositivos, se tiene:

$$C = 1800 * 1,3 = 2340 \text{ lt}$$

El factor de dilatación para un fluido de agua + 30% etilenglicol es de:

$e = 0,0114$  Para 20°C que es la mayor temperatura y se presenta en el fluido de intercambio geotérmico en ciclo de refrigeración. (Ref. Catálogo Ibaiondo)

$$F_p = 1 - \frac{(P_0 + 1)}{(P_{max} + 1)} = 1 - \frac{1 + 1}{3 + 1} = 0,5$$

$$\therefore V_t = \frac{2340 * 0.0114}{0,5} = 53,4 \text{ lt}$$

Por lo tanto se elige un vaso de expansión de 80 lt. **Modelo 80 CMF Ibaiondo**, precio: 88,07 Euros

- **Circuito piso radiante**

El volumen o capacidad útil que debe tener el depósito debe ser al menos de:

$$C = (\pi * r^2) * L = \left( \pi * \left( \frac{0,0124 \text{ m}}{2} \right)^2 * 3000 \text{ m} \right) = 0,36 \text{ m}^3 = 360 \text{ lt.}$$

Multiplicando por un factor de seguridad del 20% y de volumen de otros dispositivos, se tiene que:

$$C = 360 * 1,2 = 432 \text{ lt}$$

El factor de dilatación para un fluido de agua

$e = 0,0217$  Para 50°C que es la mayor temperatura y se presenta en el fluido de intercambio geotérmico en ciclo de calefacción. (Ref. Catálogo Ibaiondo)

$$F_p = 1 - \frac{(P_0 + 1)}{(P_{max} + 1)} = 1 - \frac{1 + 1}{2,5 + 1} = 0,43$$

$$\therefore V_t = \frac{432 * 0.0217}{0,43} = 21,8 \text{ lt}$$

Por lo tanto se elige un vaso de expansión de 25 lt. **Modelo 25CMF Ibaiondo**, precio: 26,79 Euros

## 2.- Lazo abierto

### Caso 1

- **Circuito piso radiante**

Se elige un vaso de expansión de 18 lt. **Modelo 18 CMF Ibaiondo**, precio: 21,77 Euros dado que posee las mismas características que el piso radiante antes calculado.

### Caso 2

- **Circuito piso radiante**

Se elige un vaso de expansión de 25 lt. **Modelo 25CMF Ibaiondo**, precio: 26,79 Euros dado que posee las mismas características que el piso radiante antes calculado.

### A.1.2 Cálculo de datos técnicos no especificados lazo abierto

A continuación se obtendrán las aproximaciones de las características técnicas que no incluye el catálogo Enertres para bomba de calor porque solo incluye datos técnicos con intercambiador de seguridad. (Ref. Catálogo Enertres, Captación freática).

Se obtendrán los COP y EER que no aparecen en el catálogo Enertres, para los sistemas de lazo abierto sin intercambiador, es posible realizar este cálculo debido a que las condiciones de temperatura con las que se mide el COP y EER, están fijadas por norma, entonces al realizar una sumatoria de energía como bomba de calor, se puede obtener de igual manera el rendimiento aproximado como máquina frigorífica para las temperaturas fijadas por norma.

Se utilizará para los cálculos de gastos por consumo de energía eléctrica para bomba de calor en los diversos casos, se le quitarán 0.5 puntos de cada COP y EER obtenido, para acercarse de mejor forma a una eficiencia real que tendrían las instalaciones, debido a que los COP y EER son calculados y almacenados en los catálogos para condiciones de rendimiento óptimo, las que no ocurren frecuentemente en una instalación.



**Bomba de calor: Terra Twin 42 HGL P R410 A (con intercambiador de seguridad)**

- Teniendo los datos para calefacción:

$Q_c = 49 \text{ kW}$  (Potencia de salida con  $S10^\circ\text{C/W } 35^\circ\text{C}$  para calefacción)

$W_e = 8,7 \text{ kW}$  (Consumo eléctrico del compresor en calefacción)

$\text{COP} = 5,1$

- Se obtienen los datos para refrigeración:

Considerando la siguiente ecuación:

$$W_e = Q_{cond} - Q_{evap}$$

Despejando  $Q_{evap} = Q_{ref}$  desde la ecuación, se tiene:

$$Q_{ref} = Q_{cond} - W_e$$

$$Q_{ref} = 49 - 8,7 = 40,3 \text{ kW}$$

$$EER = \frac{Q_{ref}}{W_e} = \frac{40,3}{8,7} = 4,6$$

**En resumen se tiene;**

Potencia de salida para refrigeración = 40,3 kW

$W_e = 8,7 \text{ kW}$  (Consumo eléctrico del compresor en calefacción)

$EER = 4,1$  (Luego de restar 0,5 del total)

**Bomba de calor: Terra Twin 26 HGL P R410 A (con intercambiador de seguridad)**

- Teniendo los datos para calefacción:

$Q_c = 31,1 \text{ kW}$  (Potencia de salida con  $S10^\circ\text{C/W } 35^\circ\text{C}$  para calefacción)

$W_e = 5,5 \text{ kW}$  (Consumo eléctrico del compresor en calefacción)

$\text{COP} = 5,2$

- Se obtienen los datos para refrigeración:

Considerando la siguiente ecuación:

$$W_e = Q_{cond} - Q_{evap}$$

Despejando  $Q_{evap} = Q_{ref}$  desde la ecuación, se tiene:

$$Q_{ref} = Q_{cond} - W_e$$

$$Q_{ref} = 31,4 - 5,5 = 25,9 \text{ kW}$$

$$EER = \frac{Q_{ref}}{W_e} = \frac{25,9}{5,5} = 4,7$$

**En resumen se tiene;**

Potencia de salida para refrigeración = 26 kW

$W_e = 5,5$  kW (Consumo eléctrico del compresor en calefacción)

EER = 4,2 (Luego de restar 0,5 del total)

**Bomba de calor: Terra Twin 42 HGL P R410 A (sin intercambiador de seguridad)**

- Teniendo los datos para refrigeración:

$Q_{ref} = 45,2$  kW

EER = 5,7

Utilizando las siguientes ecuaciones:

$$(1) W_e = Q_{cond} - Q_{evap}, \text{ siendo } Q_{evap} = Q_{ref}$$

$$(2) Q_{cond} = Q_{ref} \left(1 + \frac{1}{EER}\right)$$

$$\text{De (2) en (1) se tiene; } W_e = Q_{ref} \left(1 + \frac{1}{EER}\right) - Q_{evap}$$

$$\therefore W_e = 45,2 \left(1 + \frac{1}{5,7}\right) - 45,2 = 7,9 \text{ kW}$$

- Se obtienen los datos para calefacción:

Considerando la siguiente ecuación:

$$W_e = Q_{cond} - Q_{evap}$$

Despejando  $Q_{cond}$  desde la ecuación, se tiene:

$$Q_{cond} = W_e + Q_{evap}$$

$$Q_{cond} = 7,9 + 45,2 = 53,1 \text{ kW}$$

$$COP = \frac{Q_{cond}}{W_e} = \frac{53,1}{7,9} = 6,7$$

**En resumen se tiene;**

Potencia de salida para calefacción = 53,1 kW

$W_e = 7,9$  kW (Consumo eléctrico del compresor en calefacción)

COP = 6,2

**Bomba de calor: Terra Twin 26 HGL P R410 A (sin intercambiador de seguridad)**

- Teniendo los datos para refrigeración:

$Q_{ref} = 29,1$  kW

$$EER = 5,9$$

Utilizando la siguiente ecuación:

$$\therefore W_e = 29,1 \left( 1 + \frac{1}{5,9} \right) - 29,1 = 4,9 \text{ kW}$$

• Se obtienen los datos para calefacción:

Considerando la siguiente ecuación:

$$W_e = Q_{cond} - Q_{evap}$$

Despejando  $Q_{cond}$  desde la ecuación, se tiene:

$$Q_{cond} = W_e + Q_{evap}$$

$$Q_{cond} = 4,9 + 29,1 = 34 \text{ kW}$$

$$COP = \frac{Q_{cond}}{W_e} = \frac{34}{4,9} = 6,9$$

**En resumen se tiene;**

Potencia de salida para calefacción = 34 kW

$W_e = 4,9 \text{ kW}$  (Consumo eléctrico del compresor en calefacción)

$COP = 6,4$

Tabla 13.1: Resumen datos lazo abierto obtenido

Bomba de calor	Terra 26		Terra 42	
Sin int. de seg.	Qref (kW)	29,1	Qref (kW)	45,2
	EER	5,9	EER	5,7
	Qcalef (kW)	34	Qcalef (kW)	53,1
	COP	6,4	COP	6,2
Con int. de seg.	Qref (kW)	26	Qref (kW)	40,3
	EER	4,2	EER	4,1
	Qcalef (kW)	34,4	Qcalef (kW)	49
	COP	5,2	COP	5,1

**Anexo II: Propiedades físicas y valores utilizados en aspectos técnicos.**

**A.2.1 Valores típicos de G (Coeficiente volumétrico de distribución de pérdidas térmicas)**

			% Ventanas	G W/m <sup>3</sup> K
Casa	MADERA	Sin aislación térmica	30	3,04
			60	3,69
		Con 30 mm de aislación en paredes, techo y piso	30	2,01
			60	2,74
	ALBAÑILERÍA	Sin aislación térmica	30	3,4
			60	3,75
		Con 30 mm de aislación en paredes, techo y piso	30	2,61
			60	2,72
Depto. (albañilería)	Primer piso	Sin aislación térmica	30	1,38
			60	1,55
		Con 30 mm de aislación en paredes, techo y piso	30	1,34
			60	1,52
	Piso Intermedio	Sin aislación térmica	30	1,13
			60	1,31
	Último piso	Sin aislación térmica	30	2,03
			60	2,21
		Con 30 mm de aislación en paredes, techo y piso	30	1,53
			60	1,7

**A.2.2 Propiedades físicas de la solución acuosa de agua más 30% de monoetilenglicol**

**CARACTERISTIQUES PHYSIQUES DES FLUIDES THERMIQUES  
PHYSICAL DATA OF THERMAL FLUIDS**

**MEG 30%**

solution aqueuse de monoéthylène glycol à 30%  
30% monoethylene glycol aqueous solution

température de fusion : -14,5°C  
freezing temperature

température $\theta$ temperature	masse volum. $\rho$ density	chaleur spécifique $C_p$ specific heat		viscosité dynamique $\mu$ dynamic viscosity		conductivité thermique $\lambda$ thermal conductivity		pression de vapeur $P_v$ vapor pressure	
°C	kg/m <sup>3</sup>	J/kg.K	kcal/kg.°C	Pa.s	kg/m.h	W/m.K	kcal/h.m.°C	Pa (abs)	bar(rel.) barg
-10	1057	3811	0,863	0,003465	25,908	0,464	0,399	254	
-5	1056	3820	0,865	0,002931	20,729	0,467	0,402	374	
0	1054	3829	0,867	0,002501	16,852	0,470	0,405	543	
5	1052	3839	0,869	0,002151	13,902	0,473	0,407	775	
10	1050	3850	0,872	0,001864	11,625	0,476	0,409	1092	
15	1048	3861	0,875	0,001628	9,843	0,478	0,411	1517	
20	1046	3872	0,877	0,001428	8,431	0,480	0,413	2081	
25	1044	3884	0,880	0,001262	7,299	0,482	0,415	2821	-0,99

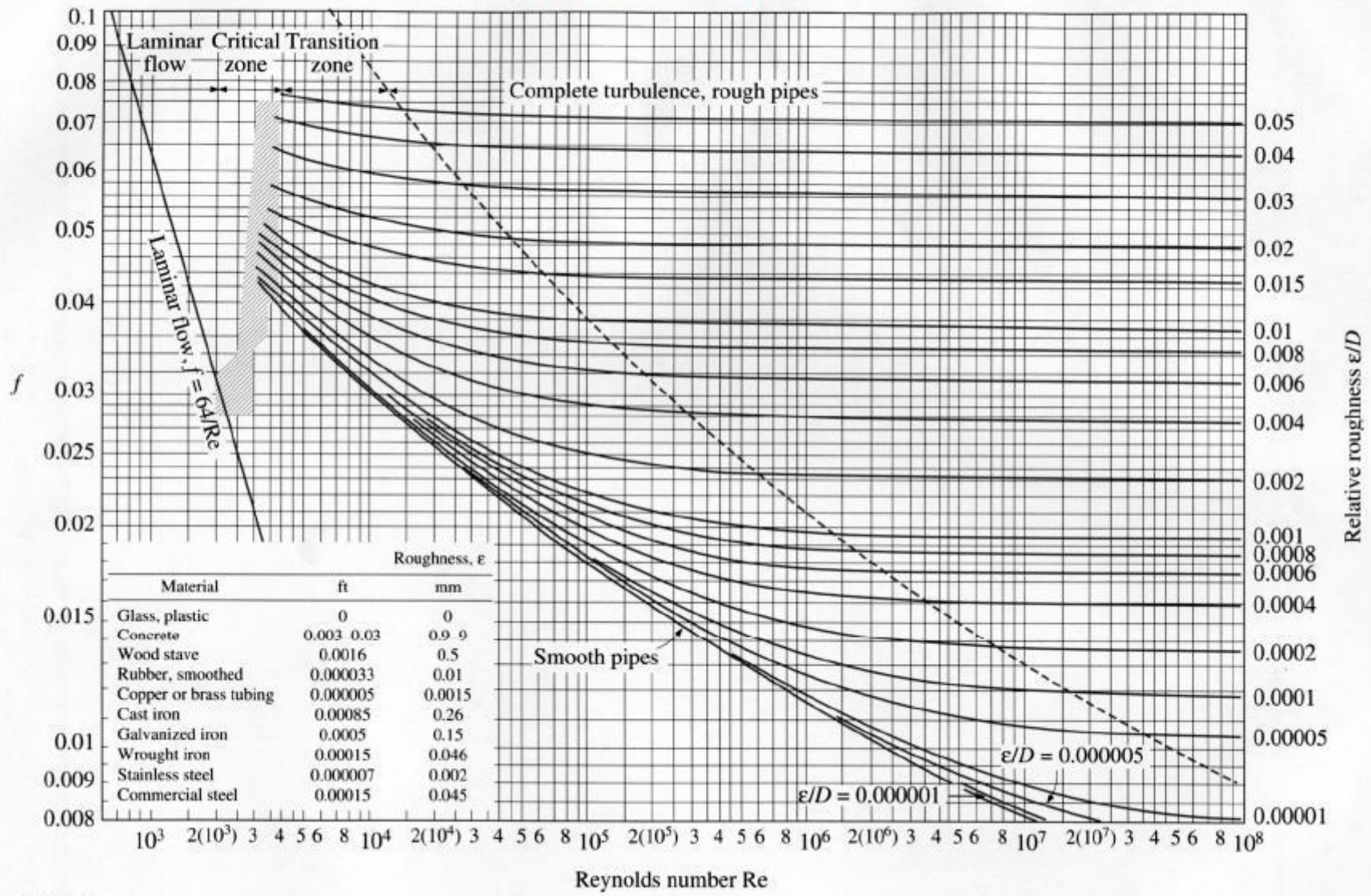
A.2.3 Propiedades físicas del agua en estado de saturación

PROPIEDADES FISICAS AGUA EN ESTADO DE SATURACION

Temp. t (°C)	Presión bar	Densidad		Calor específico		Cond. Térmica		Visc. cinemática		N° Prandtl		Difusividad Térmica		Coef. Dilatación		Tens. Superf.	Coef. Laplace	Calor vap.
		$\rho_l$ kg/m <sup>3</sup>	$\rho_v$ kg/m <sup>3</sup>	$C_{p_l}$ (kJ/kg K)	$C_{p_v}$ (kJ/kg K)	$k_l$ W/mK	$k_v$ W/mK	$\nu_l$ m <sup>2</sup> /s	$\nu_v$ m <sup>2</sup> /s	$Pr_l$	$Pr_v$	$D_{t_l}$ m <sup>2</sup> /s	$D_{t_v}$ m <sup>2</sup> /s	$\beta_l$ 1/K	$\beta_v$ 1/K	$\sigma$ N/m	$b$ m	$h_{fg}$ kJ/kg
0	0,006	1000,0	0,005	4,220	1,884	0,561	1,71E-02	1,79E-06	1,90E-03	13,48	1,017	1,33E-07	1,87E-03	-8,82E-05	3,68E-03	7,57E-02	2,78E-03	2501
2	0,007	1000,0	0,006	4,214	1,888	0,565	1,72E-02	1,87E-06	1,67E-03	12,49	1,017	1,34E-07	1,84E-03	-3,29E-05	3,66E-03	7,54E-02	2,77E-03	2498
4	0,008	1000,0	0,006	4,208	1,888	0,569	1,73E-02	1,57E-06	1,46E-03	11,60	1,017	1,35E-07	1,44E-03	1,98E-06	3,63E-03	7,51E-02	2,77E-03	2491
6	0,009	1000,0	0,007	4,203	1,890	0,572	1,74E-02	1,47E-06	1,29E-03	10,81	1,017	1,36E-07	1,27E-03	3,10E-05	3,61E-03	7,48E-02	2,76E-03	2487
8	0,011	1000,0	0,006	4,199	1,893	0,576	1,75E-02	1,39E-06	1,14E-03	10,09	1,017	1,37E-07	1,12E-03	8,01E-05	3,58E-03	7,45E-02	2,76E-03	2482
10	0,012	999,7	0,009	4,196	1,895	0,580	1,76E-02	1,31E-06	1,01E-03	9,45	1,017	1,38E-07	9,89E-04	6,77E-05	3,56E-03	7,42E-02	2,75E-03	2477
12	0,014	999,4	0,011	4,193	1,897	0,584	1,77E-02	1,24E-06	8,92E-04	8,85	1,017	1,39E-07	8,77E-04	1,14E-04	3,54E-03	7,39E-02	2,75E-03	2472
14	0,016	999,2	0,012	4,190	1,899	0,588	1,79E-02	1,17E-06	7,92E-04	8,33	1,017	1,40E-07	7,79E-04	1,39E-04	3,51E-03	7,36E-02	2,74E-03	2468
16	0,018	998,9	0,014	4,188	1,901	0,591	1,80E-02	1,11E-06	7,05E-04	7,85	1,017	1,41E-07	6,93E-04	1,62E-04	3,49E-03	7,33E-02	2,74E-03	2463
18	0,021	998,5	0,015	4,186	1,904	0,595	1,81E-02	1,05E-06	6,29E-04	7,41	1,017	1,42E-07	6,19E-04	1,85E-04	3,47E-03	7,30E-02	2,73E-03	2459
20	0,023	998,2	0,017	4,184	1,906	0,598	1,82E-02	1,00E-06	5,82E-04	7,00	1,017	1,43E-07	5,52E-04	2,07E-04	3,45E-03	7,27E-02	2,73E-03	2454
22	0,026	997,7	0,019	4,183	1,908	0,602	1,84E-02	9,57E-07	5,03E-04	6,63	1,017	1,44E-07	4,95E-04	2,28E-04	3,43E-03	7,24E-02	2,72E-03	2449
24	0,030	997,3	0,022	4,182	1,911	0,605	1,85E-02	9,13E-07	4,51E-04	6,29	1,017	1,45E-07	4,44E-04	2,48E-04	3,41E-03	7,21E-02	2,72E-03	2444
26	0,034	996,7	0,024	4,181	1,913	0,609	1,86E-02	8,73E-07	4,06E-04	5,98	1,017	1,46E-07	3,99E-04	2,67E-04	3,38E-03	7,18E-02	2,71E-03	2439
28	0,038	996,2	0,027	4,181	1,915	0,612	1,88E-02	8,36E-07	3,65E-04	5,69	1,017	1,47E-07	3,59E-04	2,85E-04	3,36E-03	7,15E-02	2,71E-03	2435
30	0,042	995,6	0,030	4,180	1,918	0,616	1,89E-02	8,01E-07	3,29E-04	5,42	1,017	1,48E-07	3,24E-04	3,03E-04	3,35E-03	7,12E-02	2,70E-03	2430
32	0,048	995,0	0,034	4,180	1,921	0,619	1,90E-02	7,68E-07	2,97E-04	5,17	1,016	1,49E-07	2,93E-04	3,21E-04	3,33E-03	7,09E-02	2,70E-03	2425
34	0,053	994,3	0,038	4,180	1,923	0,622	1,92E-02	7,38E-07	2,69E-04	4,93	1,016	1,50E-07	2,65E-04	3,38E-04	3,31E-03	7,06E-02	2,69E-03	2420
36	0,059	993,6	0,042	4,180	1,926	0,625	1,93E-02	7,10E-07	2,44E-04	4,72	1,016	1,50E-07	2,40E-04	3,54E-04	3,29E-03	7,02E-02	2,69E-03	2416
38	0,066	992,9	0,046	4,180	1,929	0,628	1,95E-02	6,83E-07	2,21E-04	4,52	1,016	1,51E-07	2,18E-04	3,70E-04	3,27E-03	6,99E-02	2,68E-03	2411
40	0,074	992,2	0,051	4,180	1,931	0,631	1,96E-02	6,58E-07	2,01E-04	4,33	1,016	1,52E-07	1,98E-04	3,85E-04	3,25E-03	6,96E-02	2,68E-03	2406
42	0,082	991,4	0,057	4,180	1,934	0,633	1,98E-02	6,35E-07	1,83E-04	4,15	1,016	1,53E-07	1,80E-04	4,01E-04	3,24E-03	6,93E-02	2,67E-03	2401
44	0,091	990,6	0,062	4,180	1,937	0,636	1,99E-02	6,13E-07	1,67E-04	3,99	1,015	1,54E-07	1,64E-04	4,15E-04	3,22E-03	6,89E-02	2,66E-03	2396
46	0,101	989,7	0,069	4,181	1,940	0,639	2,01E-02	5,92E-07	1,53E-04	3,83	1,015	1,54E-07	1,50E-04	4,30E-04	3,20E-03	6,86E-02	2,66E-03	2392
48	0,112	988,9	0,076	4,181	1,944	0,641	2,02E-02	5,72E-07	1,39E-04	3,69	1,015	1,55E-07	1,37E-04	4,44E-04	3,19E-03	6,83E-02	2,65E-03	2387
50	0,124	988,0	0,083	4,182	1,947	0,644	2,04E-02	5,54E-07	1,28E-04	3,55	1,015	1,56E-07	1,26E-04	4,58E-04	3,17E-03	6,79E-02	2,65E-03	2382
52	0,136	987,1	0,091	4,182	1,950	0,646	2,05E-02	5,36E-07	1,17E-04	3,43	1,015	1,57E-07	1,15E-04	4,71E-04	3,15E-03	6,76E-02	2,64E-03	2377
54	0,150	986,1	0,100	4,183	1,954	0,648	2,07E-02	5,19E-07	1,08E-04	3,31	1,014	1,57E-07	1,06E-04	4,85E-04	3,14E-03	6,73E-02	2,64E-03	2372
56	0,165	985,2	0,109	4,184	1,957	0,650	2,09E-02	5,04E-07	9,88E-05	3,19	1,014	1,58E-07	9,74E-05	4,98E-04	3,12E-03	6,69E-02	2,63E-03	2367
58	0,182	984,2	0,120	4,184	1,961	0,652	2,10E-02	4,89E-07	9,10E-05	3,08	1,014	1,58E-07	8,97E-05	5,11E-04	3,11E-03	6,66E-02	2,63E-03	2363
60	0,200	983,2	0,130	4,185	1,965	0,654	2,12E-02	4,74E-07	8,38E-05	2,98	1,014	1,59E-07	8,27E-05	5,23E-04	3,10E-03	6,62E-02	2,62E-03	2358
62	0,219	982,1	0,142	4,186	1,969	0,656	2,14E-02	4,61E-07	7,74E-05	2,89	1,014	1,60E-07	7,63E-05	5,36E-04	3,08E-03	6,59E-02	2,62E-03	2353
64	0,239	981,1	0,155	4,187	1,973	0,658	2,16E-02	4,48E-07	7,16E-05	2,80	1,014	1,60E-07	7,05E-05	5,48E-04	3,07E-03	6,55E-02	2,61E-03	2348
66	0,262	980,0	0,168	4,188	1,977	0,660	2,17E-02	4,36E-07	6,61E-05	2,71	1,014	1,61E-07	6,52E-05	5,60E-04	3,06E-03	6,52E-02	2,61E-03	2343
68	0,286	978,9	0,183	4,189	1,982	0,662	2,19E-02	4,24E-07	6,12E-05	2,63	1,014	1,61E-07	6,04E-05	5,72E-04	3,04E-03	6,48E-02	2,60E-03	2338
70	0,312	977,7	0,196	4,190	1,986	0,663	2,21E-02	4,13E-07	5,68E-05	2,55	1,013	1,62E-07	5,60E-05	5,84E-04	3,03E-03	6,45E-02	2,59E-03	2333
72	0,340	976,6	0,210	4,191	1,991	0,665	2,23E-02	4,03E-07	5,27E-05	2,48	1,013	1,62E-07	5,20E-05	5,96E-04	3,02E-03	6,41E-02	2,59E-03	2328
74	0,370	975,4	0,223	4,193	1,996	0,666	2,24E-02	3,92E-07	4,89E-05	2,41	1,013	1,63E-07	4,83E-05	6,07E-04	3,01E-03	6,38E-02	2,58E-03	2323
76	0,401	974,2	0,237	4,195	2,001	0,667	2,26E-02	3,83E-07	4,55E-05	2,34	1,013	1,63E-07	4,49E-05	6,19E-04	3,00E-03	6,34E-02	2,58E-03	2318
78	0,434	973,0	0,252	4,197	2,006	0,669	2,28E-02	3,74E-07	4,24E-05	2,28	1,013	1,64E-07	4,19E-05	6,30E-04	2,99E-03	6,30E-02	2,57E-03	2313
80	0,469	971,8	0,268	4,197	2,012	0,670	2,30E-02	3,65E-07	3,95E-05	2,22	1,014	1,64E-07	3,90E-05	6,41E-04	2,98E-03	6,27E-02	2,57E-03	2308
82	0,504	970,5	0,284	4,198	2,018	0,671	2,32E-02	3,56E-07	3,67E-05	2,16	1,014	1,65E-07	3,61E-05	6,53E-04	2,97E-03	6,23E-02	2,56E-03	2303
84	0,550	969,2	0,301	4,199	2,024	0,672	2,34E-02	3,48E-07	3,40E-05	2,10	1,014	1,65E-07	3,33E-05	6,65E-04	2,96E-03	6,19E-02	2,55E-03	2298

A.2.4 Diagrama de Moody

**Diagrama de Moody**



**A.2.5 Tabla grados día para Concepción y Puerto Montt.**

	<b>Concepción</b>	<b>Puerto Montt</b>
<b>Enero</b>	51,4	65,3
<b>Febrero</b>	55,5	79,6
<b>Marzo</b>	91,5	129,7
<b>Abril</b>	131,3	188,8
<b>Mayo</b>	162,8	234,2
<b>Junio</b>	208,0	303,2
<b>Julio</b>	222,5	317,4
<b>Agosto</b>	214,4	295,2
<b>Septiembre</b>	195,8	239,9
<b>Octubre</b>	145,2	174,0
<b>Noviembre</b>	96,8	114,6
<b>Diciembre</b>	63,2	77,4
<b>Total</b>	<b>1638,4</b>	<b>2219,3</b>

Observación: La tabla considera los 365 día/año y las 24 horas/día. Datos calculados con una temperatura base de 16° C.



### Anexo III: Características técnicas de equipos seleccionados

#### A.3.1 Bombas de calor

#### Datos técnicos: TERRA Twin HGL y TERRA Twin circuito cerrado y agua freática con refrigerante R410A

Tipo	Potencia nominal <sup>1</sup>	Consumo eléctrico <sup>1</sup>	COP <sup>2</sup>	Potencia nominal <sup>1</sup>	Consumo eléctrico <sup>1</sup>	COP <sup>2</sup>	Caudales mínimos				Conexiones Sole/ calefacción e Hidráulicas
							Agua freática	Calefacción Frio	Circuito cerrado	Calefacción Frio	
	<b>FREÁTICA</b> Con S10°C/W35°C de acuerdo a norma EN14511			<b>CIRCUITO CERRADO</b> Con S0°C/W35°C de acuerdo a norma EN14511							
15	17.0 kW	3.7 kW	5.2	14.5 kW	3.3 kW	4.5	5000 l/h	3400 l/h	3600 kg/h	2500 l/h	RM 1 1/4"
20	24.5 kW	4.2 kW	5.9	20.4 kW	4.1 kW	4.9	6700 l/h	4700 l/h	5000 kg/h	3600 l/h	RM 1 1/2"
26	31.4 kW	5.5 kW	5.7	26.2 kW	5.4 kW	4.8	8400 l/h	6100 l/h	6300 kg/h	4500 l/h	RM 1 1/2"
35	41.7 kW	7.2 kW	5.8	35.3 kW	7.1 kW	4.9	11300 l/h	8100 l/h	8100 kg/h	6100 l/h	RM 2"
42	49.0 kW	8.7 kW	5.6	42.0 kW	8.8 kW	4.8	13400 l/h	9700 l/h	10200 kg/h	7200 l/h	RM 2"

<sup>1</sup> De acuerdo a norma EN 14511 con salto térmico de 5°C entre ida y retorno

<sup>2</sup> COP = coeficiente de rendimiento de acuerdo a norma EN 14511

#### TERRA Twin HGL

TERRA Twin HGL R410A 62°C - 20 HGL

Potencia de salida para S 0°C/W 35 °C según EN 14511 (kW) - 20.42

TERRA Twin HGL 400 VAC/50 Hz TRIFÁSICA - 195620

Precio (€) - 16.300 €

Puesta en marcha (incluidos 40 km) - 305 €

TERRA Twin HGL CON PROCESO REVERSIBLE R410A a 62°C - -

Potencia de salida para S 0°C/W 35 °C según EN 14511 para calor (kW) - -

Potencia de salida para W/B 15°C C/W 7°C para frío (kW) - -

EER a WB 15°C/W 7°C - -

TERRA Twin HGL 400 VAC/50 Hz TRIFÁSICA CON PROCESO REVERSIBLE - -

Precio (€) - -

Puesta en marcha (incluidos 40 km) - -

#### TERRA Twin

TERRA Twin R410A 62°C 15 20

Potencia de salida para S 0°C/W 35 °C según EN 14511 (kW) 14.53 20.42

TERRA Twin 230 VAC/50 Hz MONOFÁSICA 195539 195540

TERRA Twin 400 VAC/50 Hz TRIFÁSICA - 195520

Precio (€) 12.507 € 13.950 €

Puesta en marcha (incluidos 40 km) 305 € 305 €

TERRA Twin CON PROCESO REVERSIBLE R410A a 62°C 15 P 20 P

Potencia de salida para S 0°C/W 35 °C según EN 14511 para calor (kW) 14.53 20.42

Potencia de salida para W/B 15°C C/W 7°C para frío (kW) 16.06 22.40

EER a WB 15°C/W 7°C 6.18 6.59

TERRA Twin 230 VAC/50 Hz MONOFÁSICA CON PROCESO REVERSIBLE 1955393 1955403

Precio (€) 14.003 € 15.446 €

Puesta en marcha (incluidos 40 km) 455 € 455 €

26 HGL	35 HGL	42 HGL
26.21	35.25	41.97
195621	195622	195623
18.486 €	21.176 €	22.305 €
305 €	305 €	305 €

26 HGL P	-	42 HGL P
26.21	-	41.9
29.11	-	45.20
6.41	-	6.21
1956213	-	1956233
19.981 €	-	24.305 €
455 €	-	455 €

26	35	42
26.21	35.25	41.97
195541	-	-
195521	195522	195523
16.359 €	20.015 €	21.058 €
305 €	305 €	305 €

26 P	-	-
26.21	-	-
29.11	-	-
6.41	-	-
1955413	-	-
17.855 €	-	-
455 €	-	-

Bomba de calor TERRA Twin HGL y TERRA Twin



La bomba de calor alcanza diferentes temperaturas dependiendo del refrigerante empleado:

TIPO	TERRA Twin HGL	TERRA Twin
Refrigerante	R410A, libre de CFC	R410A, libre de CFC
Potencia	20 hasta 42 kW	15 hasta 42 kW
Temperatura de impulsión	máx. 62°C	máx. 62°C
Tensión	400 V/ 50 Hz	400 V/ 50 Hz 230 V/50 Hz

# Captación Freática

Datos técnicos: TERRA S/W-HGL/BA bomba agua freática con intercambiador de seguridad				
TERRA Y TERRA HGL	Potencia Nominal	Consumo Eléctrico	COP	Dimensión
W10°C/W35°C según EN14511				Hidráulico
6	7,0 kW	1,33 kW	5.2	R 1"
8	9,1 kW	1,68 kW	5.4	R 1"
10	11,8 kW	2,22 kW	5.3	R 1"
13	15,9 kW	2,79 kW	5.7	R 1"
15 TWIN	18,2 kW	3,2 kW	5.7	R 1 1/4"
17	20,2 kW	3,74 kW	5.4	R 1 1/4"
20 TWIN	25,6 kW	4,16 kW	5.9	R 1 1/2"
26 TWIN	31,1 kW	5,47 kW	5.7	R 1 1/2"
35 TWIN	41,7 kW	7,20 kW	5.8	R 2"
42 TWIN	49,1 kW	8,74 kW	5.6	R 2"

### A.3.2 Características técnicas tuberías HDPE



## TABLAS DIMENSIONALES TUBERIAS HDPE

### Tubería PE 80 DIN 8074: Tensión de diseño 50 Kg/cm<sup>2</sup>

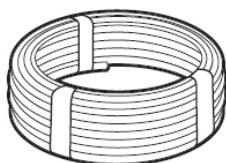
DIAMETRO		RELACION DIMENSIONAL ESTANDAR SDR (1)											
nominal		SDR 41		SDR 33		SDR 22		SDR 17		SDR 11		SDR 7,4	
D	equivalente	PRESION NOMINAL PN											
mm	pulgadas	PN 2,5		PN 3,2		PN 4		PN 6		PN 10		PN 16	
		espesor mínimo mm	peso medio kg/m	espesor mínimo mm	peso medio kg/m	espesor mínimo mm	peso medio kg/m	espesor mínimo mm	peso medio kg/m	espesor mínimo mm	peso medio kg/m	espesor mínimo mm	peso medio kg/m
20	1/2									1,9	0,11	2,8	0,16
25	3/4									2,3	0,17	3,5	0,24
32	1							1,9	0,19	2,9	0,27	4,4	0,39
40	1 1/4							2,3	0,29	3,7	0,43	5,5	0,61
50	1 1/2					2,0	0,32	2,9	0,45	4,6	0,67	6,9	0,95
63	2			2,0	0,40	2,5	0,50	3,6	0,70	5,8	1,06	8,6	1,49
75	2 1/2	1,9	0,46	2,3	0,56	2,9	0,68	4,3	0,99	6,8	1,48	10,3	2,12
90	3	2,2	0,65	2,8	0,80	3,5	0,99	5,1	1,40	8,2	2,14	12,3	3,03



**TUBERÍA PE 80 PN6 ROLLO**

Código	Código Nuevo	Diametro	Largo	USD
5875910321*	2029511*	32 mm	100 m	1,00
5875960506*	2029513*	50 mm	100 m	3,00
5875910631*	2029514*	63 mm	100 m	4,00
5875920903*	2029518*	90 mm	50 m	8,00
5875920906*	2029572*	100 mm	100 m	8,00

**A.3.3 Características técnicas tuberías PEX**



diámetro mm	espesor mm	código	longitud bobina metros	mts por palet	PVP €/m
16*	1.8*	915916180	200	4.000	1.19
			120	3.600	
			100	3.000	
20	1.9	915920190	200	3.600	1.53
			120	2.640	
			100	2.200	
25	2.3	915925230	50	1.400	2.32
32	2.9	915932290	50	800	3.82

SERIE 5.0 - EN BOBINAS

\*Esta dimensión pertenece a serie 4.0

**A.3.4 Características técnicas tuberías PVC**

Tabla2.2.a Tubería hidráulica color celeste. Largo útil 6.0 m

Diám. exterior		Clase 4		Clase 6		Clase 10		Clase 16 (*)	
Nominal (mm)	Nominal (pulg)	Espesor mín. (mm)	Peso tira (kg)	Espesor mín. (mm)	Peso tira (kg)	Espesor mín. (mm)	Peso tira (kg)	Espesor mín. (mm)	Peso tira (kg)
20	1/2	-	-	-	-	-	-	1,5	0,83
25	3/4	-	-	-	-	1,5	1,05	1,9	1,28
32	1	-	-	-	-	1,8	1,59	2,4	2,06
40	1 1/4	-	-	1,8	2,02	2,0	2,20	3,0	3,16
50	1 1/2	-	-	1,8	2,54	2,4	3,32	3,7	4,87
63	2	-	-	1,9	3,45	3,0	5,24	4,7	7,90
75	2 1/2	1,8	3,94	2,2	4,80	3,6	7,49	5,6	11,19
90	3	1,8	4,76	2,7	6,94	4,3	10,73	6,7	16,02
110	4	2,2	7,13	3,2	10,10	5,3	16,10	8,2	23,99
125	4 1/2	2,5	9,11	3,7	13,12	6,0	20,57	9,3	30,88
140	5	2,8	11,33	4,1	16,37	6,7	25,78	10,4	38,66
160	6	3,2	14,88	4,7	21,26	7,7	33,83	11,9	50,47
200	8	4,0	22,93	5,9	33,25	9,6	52,74	14,7	78,15
250	10	4,9	35,14	7,3	51,66	12,0	82,41	18,6	123,78
315	12	6,2	56,35	9,2	82,20	15,0	130,30	23,4	197,07
355	14	7,0	71,37	10,4	104,76	17,0	166,77	26,3	250,33
400	16	7,9	90,88	11,7	132,79	19,1	211,97	29,7	318,87

(\*) Clase 16: pedidos especiales.

Nota: Las tuberías Vinilit presión se fabrican normalmente con una longitud de 6 metros, pudiéndose fabricar en longitudes mayores según el requerimiento de nuestros clientes.

### A.3.5 Características técnicas Chiller



## 30RB017-033 Enfriadoras de agua de condensación por aire 30RQ017-033 Bombas de calor aire-agua

30RB/RQ 017-033 - Minichiller

#### Datos físicos

		30RB Modelos sólo frío				30RQ Modelos Bomba de calor			
		017	021	026	033	017	021	026	033
Capacidad frigorífica (1)	KW	16,5	21,6	27,6	33,6	16,1	20,4	27,0	33,0
Capacidad calorífica (1)	KW	-	-	-	-	16,8	21,4	29,6	33,0
Peso en funcionamiento (2)	Kg	189	208	255	280	206	223	280	295
Refrigerante		R-410A							
Compresor		Uno, tipo Scroll				Uno, tipo Scroll			
Tipo de control		Pro-Dialog Plus				Pro-Dialog Plus			
Intercambiador de calor de agua		Uno, tipo placas				Uno, tipo placas			
Kit hidráulico		Bomba, filtro, vaso de expansión, manómetro, válvula de purga, interruptor de flujo y válvula seguridad							
Bomba		Una, de una sola velocidad							
Volumen del vaso de expansión	l	5	5	8	8	5	5	8	8
Intercambiador de calor de aire		Tubos de cobre, aletas de aluminio							
Caudal de agua (Frío)	l/s	0,79	1,03	1,32	1,60	0,77	0,97	1,28	1,58
Conexiones de agua (Sal./Ent)	Pulg	1" - 11/4"	1" - 11/4"	1 1/4"	1 1/4"	1" - 11/4"	1" - 11/4"	1 1/4"	1 1/4"
Ventilador		Dos axial de 2 velocidades		Uno axial de 2 velocidades		Dos axial de 2 velocidades		Uno axial de 2 velocidades	
Caudal de aire	l/s	2.212	2.212	3.530	3.530	2.217	1.978	3.530	3.530
Tensión de alimentación	V-ph-Hz	400-3-50							
Consumo nominal frío/calor	KW	5,25	6,64	8,52	9,74	4,92/5,20	6,30/6,41	8,62/9,04	9,84/10,13
Corriente nominal	A	8	12	16	17	8	12	16	17
En cortocircuito	A	75	95	118	118	75	95	118	118
Consumo bomba	KW	0,54	0,59	0,99	1,10	0,54	0,59	0,99	1,10
Clase Energética Eurovent Frío/Calor		A	A	A	A	A/A	A/A	A/A	A/A

(1) Datos nominales de funcionamiento según condiciones Eurovent: LCP / A / AC.  
 - Funcionamiento en frío: Entrada de agua a 12°C y salida 7°C. Aire exterior a 35°C.T.S.  
 - Funcionamiento en calor: Entrada de agua a 40°C y salida a 46°C. Aire exterior a 7°C.T.S. y 6°C.T.H.  
 - Caudal de aire y agua nominales.  
 - Consumos en condiciones nominales.  
 (2) Peso con kit hidráulico.

#### Precios €

Versión con módulo hidráulico y neutro (30R- - - -CH)- 400V/3ph/50Hz

30RB Modelos sólo frío				30RQ Modelos Bomba de calor			
017	021	026	033	017	021	026	033
7.050	7.550	8.650	9.400	7.700	8.500	9.700	10.600

\* Consultar modelos sin neutro

\*\* Consultar modelos sin módulo hidráulico

Incluyen resistencia de carter y rejilla de protección para la batería.

### A.3.6 Características técnicas bomba de circulación suelo radiante



#### Uponor Fluvia E grupo de impulsión PPG-30-A centralita calefacción/refrigeración

Conexión a colectores.

**Incluye:**

- Bomba Wilo Stratos PARA 1/8
- Clase A. Conforme a la nueva Normativa Europea (EUP).
- Centralita de control C46
- Sonda exterior
- Sensor temperatura de suministro
- Válvula mezcladora de 3 vías
- Motor válvula mezcladora
- Válvulas de bola para conexión a primario
- Conexión a primario Rp1 (FT)
- Conexión a secundario 1 1/2"
- Soporte
- Tornillos de sujeción

**Para instalaciones con una potencia calorífica de 30 kW**

- Temp. Max. Primario: 90 °C
- Temp. Max. Secundario: 70 °C
- Temp. Min. Secundario: 15 °C
- Presión Max.: 10 bar
- kvs válvula: 8 m³/h
- Bomba Wilo Para 1-8
- Control presión proporcional
- Altura H: 8-2 m H2O
- Caudal Q: 0,1-8,3 m³/h
- Tensión: 230V

**Control**

Control del punto de rocío mediante el uso de Uponor Centralita C46 Código 1047844, Sonda de humedad inalámbrica H56 Código 1047846 y Uponor Antena C56 Código 1000513.

**Instalación recomendada:**

Paso de 15 cm y tubería de Ø 16 mm.  
 Válido para calefactar una superficie de 250 m²  
 (Datos orientativos)

Código Uponor	Dimensión	Uds. Caja	Uds. Palet	Descripción	PVP/m. ud
1059840	PPG-30-A	1	-	Uponor Fluvia E grupo de impulsión PPG-30-A centralita	2.770,95 €

### A.3.7 Características técnicas vaso de expansión

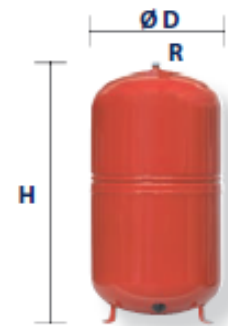
#### Modelos sin patas 5 bar (Membrana no recambiable)

Peso Kg.	Código	Modelo	Capacidad (Lt)	Presión Máx. (bar)	Dimensiones		R Conexión agua	Euros (€)
					Ø D (mm)	H (mm)		
2	02005343	5 CMF	5	5	200	250	3/4 "	17,78
2,5	02008343	8 CMF	8	5	200	340	3/4 "	18,56
3,2	02012343	12 CMF	12	5	270	310	3/4 "	19,40
4	02018343	18 CMF	18	5	270	415	3/4 "	21,77
4,5	02025343	25 CMF	25	5	320	430	3/4 "	26,79
7	02035343	35 CMF	35	5	360	475	3/4 "	38,73



#### Modelos con patas 4 - 6 bar (Membrana no recambiable)

Peso Kg.	Código	Modelo	Capacidad (Lt)	Presión Máx. (bar)	Dimensiones		R Conexión agua	Euros (€)
					Ø D (mm)	H (mm)		
7	02035345	35 CMF	35	4	360	480	3/4 "	41,03
7,5	02050343	50 CMF	50	4	360	630	3/4 "	60,35
16	04080351	80 CMF	80	6	485	570	1 "	88,07
18	04100351	100 CMF	100	6	485	650	1 "	125,60
24	04140351	140 CMF	140	6	485	935	1 "	155,43
36	04200351	200 CMF	200	6	600	860	1 "	198,71
44	04250351	250 CMF	250	6	600	1095	1 "	226,04



### A.3.8 Características técnicas caldera a Pellet

#### Calderas de pellets carga automática BI-250 (25kW) y BI-350 (35kW)

	BI-250	BI-350
CONEXIÓN ELÉCTRICA	230 V/ 50 Hz	230 V/ 50 Hz
POTENCIA TÉRMICA	7,00 - 25 kW	8,30 - 35 kW
RENDIMIENTO PLENA POTENCIA	94,19%	92,39%
RENDIMIENTO MÍNIMA POTENCIA	93,80%	95,76%
TEMPERATURA MÁX. DE CALDERA	90°C	90°C
DEPÓSITO DE PELLETS	<b>67 kg.</b>	<b>134 kg.</b>
DIMENSIONES (ancho x profundidad x altura)	130x75x152 cm	130x75x177 cm
PESO	335 kg	388 kg
CONEXIÓN CHIMENEA	Posterior	Posterior
DIÁMETRO INT. CONEX. CHIMENEA	130 mm	130 mm
VOLUMEN DE AGUA	80 l.	120 l.
CONEXIÓN IDA	1"	1 1/4"
CONEXIÓN RETORNO	1"	1 1/4"
TIRO DE CHIMENEA MIN./MÁX.	0,02/0,10 mbar	0,02/0,10 mbar

BI-250	DESCRIPCIÓN	ARTÍCULO	PRECIO
	Caldera de Pellets Enertres BI-250 (7,00 - 25,00kW)	20 01 02 01	13,954 €

BI-350	DESCRIPCIÓN	ARTÍCULO	PRECIO
	Caldera de Pellets Enertres BI-350 (8,30 - 35,00kW)	20 01 03 01	15,848 €

**Observaciones:** necesario acumulador de inercia de volumen mínimo de 20 l/kW, regulador de tiro en chimenea y grupo elevación temperatura de retorno (pág. 48).

### A.3.9 Características técnicas bombas de extracción agua freática para lazo abierto

## Bombas para agua fría

### Bombas para perforaciones



#### Wilo Sub TWU 4

Grupo de producto - PG 5

Wilo Sub TWU 4 3~400 V, 50 Hz															
Referencia	Modelo	Ø	Rp	P <sub>2</sub> (kW)	Precio €	Caudal (m <sup>3</sup> /h)									
						0	2	4	6	8	10	12	14	16	18
						Altura(m)									
6049357	TWU 4-0804-C DM	4"	2"	0.75	563,00	26	25.5	24.5	22	19.5	16	12			
6049358	TWU 4-0806-C DM	4"	2"	1.1	592,00	40	38	36.5	34	30	24.5	17			
6049359	TWU 4-0808-C DM	4"	2"	1.5	648,00	51	50.5	49	45.5	40	32.5	23.5			
6049360	TWU 4-0813-C DM	4"	2"	2.2	768,00	82	80	77	70.5	60.5	46.5	29			
6049361	TWU 4-0817-C DM	4"	2"	3	1.029,00	108	106	101	92.5	81.5	65	45			
6049362	TWU 4-0821-C DM	4"	2"	4	1.164,00	131	128	120	110	96.5	77	51			
6049363	TWU 4-0823-C DM	4"	2"	4	1.181,00	148	143	137	126	111	90	60			
6049364	TWU 4-0832-C DM	4"	2"	5.5	1.353,00	201	196	186	171	147	118	79			
						0	2.5	5	7.5	10	12.5	15	17.5	20	25
6061423	TWU 4-1608-C DM	4"	2"	2.2	798,00	50	48	45	42	38	35	29.5	25	20	11
6061427	TWU 4-1611-C DM	4"	2"	3	1.091,00	70	65	61.5	58.5	52	48	42	35	29	16
6061424	TWU 4-1613-C DM	4"	2"	4	1.220,00	80.5	76	72	69	63	59	50	43	35	19
6061425	TWU 4-1615-C DM	4"	2"	4	1.260,00	98	90	88	80	74	69	60	50	42	22
6061426	TWU 4-1620-C DM	4"	2"	5.5	1.526,00	123	119	111	106	97	88	78	69	57	30

### A.3.10 Características caldera a gas

## Calderas de Pie SIME RX

Caldera a gas de hierro fundido con quemador atmosférico.  
Encendido electrónico.



Código	Descripción
00.160.35	Calderas de Pie Sime RX 26 PVA IONO*

(\*) Con bomba y estanque de expansión incorporado.

### Especificaciones Técnicas - Sime RX 26 PVA IONO

Potencia térmica nominal	26.200 kcal/h
Capacidad de la caldera	13 lt
Presión máxima de servicio	4 bar
Capacidad de vaso expansión	10 lt
Peso	138 kg



### A.3.11 Características técnicas caldera a petróleo



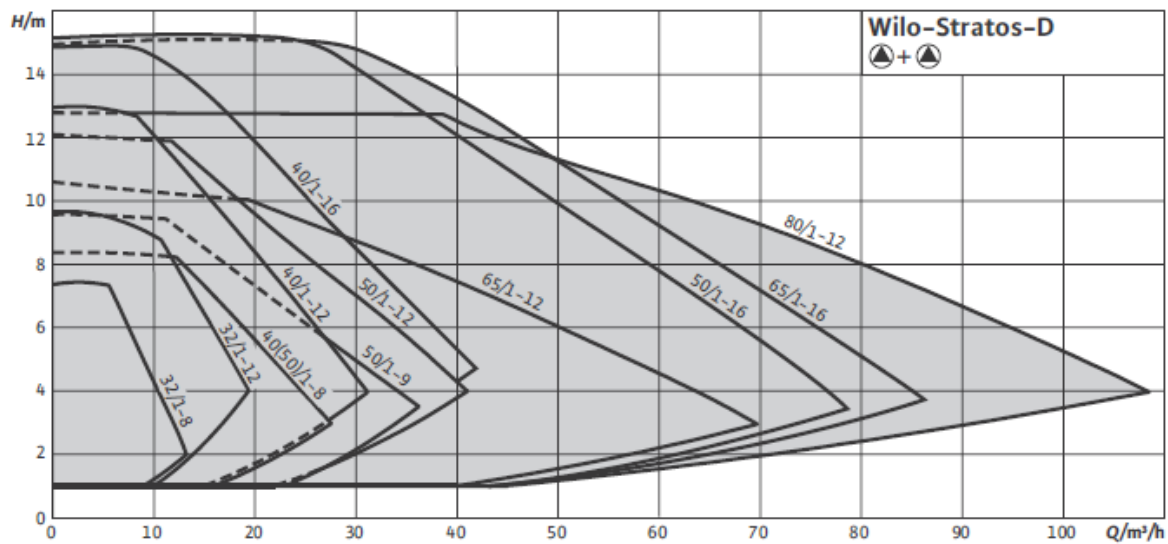
#### AR - RONDO - 1R - 2R

Caldera de hierro fundido para quemadores de petróleo/parafina o gas soplado.  
 Quemador no incluido.

Modelo	Código	Potencia Térmica		Cap. lt	Peso kg	Quem. Riello Sugerido	
		Nominal kcal/H	Imput kcal/H			Petróleo	Gas
<b>AR - 4</b>	<b>00.169.61</b>	25.300	29.400	23	122	40G5	—
<b>AR - 5</b>	<b>00.169.62</b>	34.400	39.000	27	147	40G5	—
<b>RONDO - 6</b>	<b>00.169.63</b>	41.400	45.600	24,8	186	40G5	—
<b>RONDO - 7</b>	<b>00.169.64</b>	49.500	54.400	28,8	212	40G10	—
<b>1R - 7</b>	<b>00.169.67</b>	63.600	71.500	42	293	40G10	40GS10
<b>1R - 8</b>	<b>00.169.68</b>	72.200	80.700	46,5	325	40G10	40GS10
<b>1R - 9</b>	<b>00.169.69</b>	80.200	88.900	51	357	40G10	40GS10
<b>2R - 6</b>	<b>00.169.71</b>	86.500	97.600	92	462	40G20	40GS20
<b>2R - 7</b>	<b>00.169.72</b>	106.500	119.600	107	520	40G20	40GS20
<b>2R - 8</b>	<b>00.169.73</b>	126.500	141.600	122	578	40G20	40GS20

### A.3.12 Características técnicas bomba de circulación Wilo Stratos 32/1-8 y Wilo Stratos 40/1-12

#### Wilo Stratos-D



#### Información de producto:

- Rango de temperatura desde -10°C a 110°C
- Fácil manejo gracias al display integrado de la bomba
- Control remoto y consulta a distancia de las funciones de la bomba con monitor Wilo-IR
- Modos de funcionamiento  $\Delta p-c/\Delta p-v/\Delta p-T$  (requiere dispositivo Wilo-IR)/control/DDC
- Funcionamiento de reducción nocturna automático "autopiloto"
- Protección del motor integrada
- Gestión de la bomba doble con módulos IF
- Tipo de protección IPX4D
- Carcasa de la bomba con revestimiento por cataforesis
- Brida combinada PN6/10 (desde DN32 a DN65)
- Apta también para tensión 1~230V, 60 Hz, opción en PN16

**Anexo IV: Aspecto económico**

**A.4.1 Inversión por concepto de piso radiante utilizado en todos los casos de estudio.**

Tabla 9.4: Inversión por concepto de suelo radiante CASO 1.

Componente	Descripción	Cant.	Costo Unitario	% Inv.	Costo Inversión
Grupo de Impulsión	UPONOR Fluvia E PPG-30-A	1	2.770,95 €	21%	2.770,95 €
Centralita de Control	Uponor Radio 24V centralita C46	1	976,00 €	7%	976,00 €
Sonda Humedad	Uponor Radio 24V sonda humedad H56	1	153,00 €	1%	153,00 €
Antena Radio	Uponor Radio 24V antena gris C56/C46	1	76,00 €	1%	76,00 €
Tuberías	Rollos de tubería de 50 m. Pipex (PEX-A) Ø16x1,8 mm.	40	59,50 €	18%	2.380,00 €
Mortero de Cemento	Mortero de Cemento ( metro cúbico)	14	50,00 €	5%	700,00 €
Panel de Autofijación	Uponor Panel en Rollo con autofijación 10x1 m <sup>2</sup>	30	125,00 €	28%	3.750,00 €
Cinta Adhesiva Pared-Panel	Uponor Multi Autofijación Zócalo Perimetral 50 m.	3	100,00 €	2%	300,00 €
Aditivo para Mortero	Uponor Multi aditivo para mortero 30 kg.	1	267,00 €	2%	267,00 €
Film Antihumedad	Uponor Multi fim antihumedad 1x200 m.	2	220,00 €	3%	440,00 €
Caja de Colectores	Uponor Vario Caja de Colectores de 8 a 10 salidas	1	99,85 €	1%	99,85 €
Tapa Caja de Colectores	Uponor Tapa Vario Tapa Colectores Galvanizada	1	64,60 €	0%	64,60 €
Kit Colector Caudalímetro	Uponor Vario colector kit caudalímetro (Sirve para 2 circuitos)	4	225,00 €	7%	900,00 €
Plus Adaptador a colector	Uponor Vario Plus Adaptador (16x2,0/1,8) 2 unidades por caja	4	4,82 €	0%	19,28 €
Kit para formar colector	Uponor Vario Plus colector plástico kit accesorios (Sirve para 2 circuitos)	4	125,45 €	4%	501,80 €
Depósito de Expansión	Vaso de Expansión de 18 lt. Modelo 18 CMF Ibaiondo	1	21,77 €	0%	21,77 €
<b>TOTAL</b>					13.420,25 €
					\$ 9.796.783

Tabla 9.5: Inversión por concepto de suelo radiante CASO 2.

Componente	Descripción	Cant.	Costo Unitario	% Inv.	Costo Inversión
Grupo de Impulsión	UPONOR Fluvia E PPG-30-A	1	2.770,9 €	19%	2.770,95 €
Centralita de Control	Uponor Radio 24V centralita C46	1	976,00 €	7%	976,00 €
Sonda Humedad	Uponor Radio 24V sonda humedad H56	1	153,00 €	1%	153,00 €
Antena Radio	Uponor Radio 24V antena gris C56/C46	1	76,00 €	1%	76,00 €
Tuberías	Rollos de tubería de 50 m. Pipex (PEX-A) Ø16x1,8 mm.	60	59,50 €	24%	3.570,00 €
Mortero de Cemento	Mortero de Cemento ( metro cúbico)	14	50,00 €	5%	700,00 €
Panel de Autofijación	Uponor Panel en Rollo con autofijación 10x1 m <sup>2</sup>	30	125,00 €	26%	3.750,00 €
Cinta Adhesiva Pared-Panel	Uponor Multi Autofijación Zócalo Perimetral 50 m.	3	100,00 €	2%	300,00 €
Aditivo para Mortero	Uponor Multi aditivo para mortero 30 kg.	1	267,00 €	2%	267,00 €
Film Antihumedad	Uponor Multi fim antihumedad 1x200 m.	2	220,00 €	3%	440,00 €
Caja de Colectores	Uponor Vario Caja de Colectores de 8 a 10 salidas	1	99,85 €	1%	99,85 €
Tapa Caja de Colectores	Uponor Tapa Vario Tapa Colectores Galvanizada	1	64,60 €	0%	64,60 €
Kit Colector Caudalímetro	Uponor Vario colector kit caudalímetro (Sirve para 2 circuitos)	4	225,00 €	6%	900,00 €
Plus Adaptador a colector	Uponor Vario Plus Adaptador (16x2,0/1,8) 2 unidades por caja	4	4,82 €	0%	19,28 €
Kit para formar colector	Uponor Vario Plus colector plástico kit accesorios (Sirve para 2 circuitos)	4	125,45 €	3%	501,80 €
Depósito de Expansión	Vaso de Expansión de 25 lt. Modelo 25 CMF Ibaiondo	1	26,79 €	0%	26,79 €
<b>TOTAL</b>					14.615,27 €
					\$ 10.669.147

**A.4.2 Inversión en los sistemas de climatización geotérmica Caso 1 (Concepción)**

**Bomba de calor en lazo cerrado**

Componente	Descripción	Cant.	Costo Unitario	% Inv.	Costo Inversión
Bomba de Calor	TERRA 26 Twin HGL-P R410A	1	19.981 €	43%	19.981,00 €
Tuberías	Rollo de 50 m. Tubería HDPE PE80 PN6 Ø3"	8	361,5 €	6%	2.892,00 €
Kit de conexión entre bomba de calor y colector	Kit de conexión Enertres con bomba Stratos 32/1-10	1	1.545 €	3%	1.545,00 €
Anticongelante	Anticongelante concentrado Uponor. 30 lts. Propilenglicol	19	173,37 €	7%	3.294,03 €
Depósito de Expansión	Vaso de Expansión de 80 lt. Modelo 80 CMF Ibaiondo	1	88,07 €	0%	88,07 €
Suelo Radiante	Suelo radiante más accesorios	1	13.420 €	29%	13.420,25 €
Otros	Accesorios en general (20% del total de la inversión no inc. piso radiante)	1	5.560 €	12%	5.560,02 €
<b>TOTAL</b>					46.780,37 €
					\$ 34.149.670

**Bomba de calor en lazo abierto con intercambiador de calor**

Componente	Descripción	Cant.	Costo Unitario	% Inv.	Costo Inversión
Bomba de Calor	TERRA 26 Twin HGL-P R410A	1	19.981 €	39%	19.981,00 €
Extensión Eléctrica para Bomba Sumergible	Extensión Eléctrica para bomba sumergible Terra 15 a Terra 26	1	102,64 €	0%	102,64 €
Caudalímetro	Caudalímetro Vertical en PVC con interruptor de caudal 6000 lt/h	1	358,00 €	1%	358,00 €
Set Intercambiador de Seguridad	Set Intercambiador de seguridad TERRA 26 Twin	1	3.620 €	7%	3.620,00 €
Termómetro	Termómetro Ø 80 mm. Rango -20 a +20 °C	1	32,55 €	0%	32,55 €
Tuberías	Tuberías PVC de 6 m. de largo Ø21/2" PN10	3	71,40 €	0%	214,20 €

Bomba de Extracción	Bomba sumergida Wilo Sub TWU-4-0804-C EM	1	652,00 €	1%	652,00 €
Perforación de Pozos	Perforación de pozo con encamisado por metro	15	473,31 €	14%	7.099,59 €
Suelo Radiante	Suelo radiante más accesorios	1	13.420 €	26%	13.420,25 €
Otros	Accesorios en general (20% del total de la inversión no inc. piso radiante)	1	6.412 €	12%	6.412,00 €
<b>TOTAL</b>					51.892,22 €
					\$37.881.324

**Bomba de calor en lazo abierto sin intercambiador de seguridad**

Componente	Descripción	Cant.	Costo Unitario	% Inv.	Costo Inversión
Bomba de Calor	TERRA 26 Twin HGL-P R410A	1	19.981 €	42%	19.981,00 €
Extensión Eléctrica para Bomba Sumergible	Extensión Eléctrica para bomba sumergible Terra 15 a Terra 26	1	102,64 €	0%	102,64 €
Caudalímetro	Caudalímetro Vertical en PVC con interruptor de caudal 6000 lt/h	1	358,00 €	1%	358,00 €
Termómetro	Termómetro Ø 80 mm. Rango -20 a +20 °C	1	32,55 €	0%	32,55 €
Tuberías	Tuberías PVC de 6 m. de largo Ø21/2" PN10	3	71,40 €	0%	214,20 €
Bomba de Extracción	Bomba sumergida Wilo Sub TWU-4-0804-C EM	1	652,00 €	1%	652,00 €
Perforación de Pozos	Perforación de pozo con encamisado por metro	15	473,31 €	15%	7.099,59 €
Suelo Radiante	Suelo radiante más accesorios	1	13.420 €	28%	13.420,25 €
Otros	Accesorios en general (20% del total de la inversión no inc. piso radiante)	1	5.688 €	12%	5.688,00 €
<b>TOTAL</b>					47.548,22 €
					\$34.710.204

**Caldera a pellet más chiller**

Componente	Descripción	% Inv.	Costo Inversión
Caldera de Pellets	Enertres Modelo BI-250 (7-25 kW) de carga automática	26%	13.954,00 €
Kit de regulación para circuitos de calefacción	Kit para circuitos 1 y 2 con mezcladora	1%	516,00 €
Sonda de temperatura ambiente	Sonda de temperatura ambiente	0%	73,00 €
Depósito de Inercia	Depósito de Inercia IGF de 500 lt.	2%	896,00 €
Sonda de inmersión para acumulación de inercia	Sonda de inmersión (2 m)	0%	19,00 €
kit de sondas para acumulador	Kit de sondas para acumulador	0%	238,00 €
Grupo de elevación de la temperatura de retorno	Grupo de elevación DN25 (BI-250)	1%	548,00 €
Alimentación mediante tornillo sinfín	Sinfín 1500 mm con canal abierto	3%	1.853,00 €
Piso radiante	Inversión por concepto de piso radiante	25%	13.420,25 €
Chiller	Enfriadora Mini Chiller Carrier Capacidad 26 kW (sólo frío)	27%	14.538,00 €
Otros accesorios	Accesorios en general 15% del total de la inversión no inc. piso radiante)	13%	7.075,95 €
<b>TOTAL</b>			53.131,20 €
			\$38.785.776

**Caldera a gas licuado más chiller**

Componente	Descripción	% Inv.	Costo Inversión
Caldera Sime RX 26 IONO 26 Mcal	Caldera de pie a gas encendido electrónico, con quemador	4%	1.462,85 €
Piso radiante	Inversión por concepto de piso radiante	39%	13.420,25 €
Chiller	Enfriadora Mini Chiller Carrier Capacidad 26 kW (sólo frío)	42%	14.538,00 €
Otros	Accesorios en general (30% del total de la inversión no inc. piso radiante)	14%	4.800,25 €
<b>TOTAL</b>			34.221,35 €
			\$24.981.589

**Caldera a petróleo más chiller**

Componente	Descripción	% Inv.	Costo Inversión
Caldera. SIME AR 4 25,3 Mcal	Caldera de fierro fundido para quemadores de petróleo	3%	921,29 €
Quemador para petróleo	Riello 40G5	2%	563,26 €
Piso radiante	Inversión por concepto de piso radiante	39%	13.420,25 €
Chiller	Enfriadora Mini Chiller Carrier Capacidad 26 kW (sólo frío)	42%	14.538,00 €
Otros	Accesorios en general (30% del total de la inversión no inc. piso radiante)	14%	4.806,76 €
			34.249,56 €
<b>TOTAL</b>			<b>\$25.002.181</b>

**A.4.3 Inversión en los sistemas de climatización geotérmica Caso 2 (Puerto Montt)**

**Bomba de calor en lazo cerrado**

Componente	Descripción	Cant.	Costo Unitario	% Inv.	Costo Inversión
Bomba de Calor	TERRA 42 Twin HGL-P C R410A	1	24.305 €	45%	24.305,00 €
Tuberías	Rollo de 50 m. Tubería HDPE PE80 PN6 Ø3"	8	361,50 €	5%	2.892,00 €
Kit de conexión entre bomba de calor y colector	Kit de conexión Enertres con bomba Stratos 40/1-12	1	2.598 €	5%	2.598,00 €
Anticongelante	Anticongelante concentrado Uponor. 30 lts. Propilenglicol	18	173,37 €	6%	3.120,66 €
Depósito de Expansión	Vaso de Expansión de 80 lt. Modelo 80 CMF Ibaiondo	1	88,07 €	0%	88,07 €
Suelo Radiante	Suelo radiante más accesorios	1	14.615 €	27%	14.615,27 €
Otros	Accesorios en general (20% del total de la inversión no inc. piso radiante)	1	6.601 €	12%	6.600,75 €
					54.219,75 €
<b>TOTAL</b>					<b>\$ 39.580.415</b>



**Bomba de calor en lazo abierto con intercambiador de calor**

Componente	Descripción	Cant.	Costo Unitario	% Inv.	Costo Inversión
Bomba de Calor	TERRA 42 Twin HGL-P C R410A	1	24.305 €	41%	24.305,00 €
Extensión Eléctrica para Bomba Sumergible	Extensión Eléctrica para bomba sumergible Terra 20 a Terra 42	1	132,68 €	0%	132,68 €
Caudalímetro	Caudalímetro Vertical en PVC con interruptor de caudal 15000 lt/h	1	481,20 €	1%	481,20 €
Set Intercambiador de Seguridad	Set Intercambiador de seguridad TERRA 42 Twin	1	4.121 €	7%	4.121,00 €
Termómetro	Termómetro Ø 80 mm. Rango -20 a +20 °C	1	32,55 €	0%	32,55 €
Tuberías	Tuberías PVC de 6 m. de largo Ø3" PN10	3	99,40 €	1%	298,20 €
Bomba de Extracción	Bomba sumergida Wilo Sub TWU-4-1608-C EM	1	1.016 €	2%	1.016,00 €
Perforación de Pozos	Perforación de pozo con encamisado por metro	15	473,31 €	12%	7.099,59 €
Suelo Radiante	Suelo radiante más accesorios	1	14.615 €	25%	14.615,27 €
Otros	Accesorios en general (20% del total de la inversión no inc. piso radiante)	1	7.497,2 €	13%	7.497,24 €
<b>TOTAL</b>					59.598,73 €
					\$43.507.075

**Bomba de calor en lazo abierto sin intercambiador de seguridad**

Componente	Descripción	Cant.	Costo Unitario	% Inv.	Costo Inversión
Bomba de Calor	TERRA 42 Twin HGL-P C R410A	1	24.305 €	44%	24.305,00 €
Extensión Eléctrica para Bomba Sumergible	Extensión Eléctrica para bomba sumergible Terra 20 a Terra 42	1	132,68 €	0%	132,68 €
Caudalímetro	Caudalímetro Vertical en PVC con interruptor de caudal 15000 lt/h	1	481,20 €	1%	481,20 €
Termómetro	Termómetro Ø 80 mm. Rango -20 a +20 °C	1	32,55 €	0%	32,55 €
Tuberías	Tuberías PVC de 6 m. de largo Ø3" PN10	3	99,40 €	1%	298,20 €

Bomba de Extracción	Bomba sumergida Wilo Sub TWU-4-1608-C EM	1	1.016 €	2%	1.016,00 €
Perforación de Pozos	Perforación de pozo con encamisado por metro	15	473,31 €	13%	7.099,59 €
Suelo Radiante	Suelo radiante más accesorios	1	14.615 €	27%	14.615,27 €
Otros	Accesorios en general (20% del total de la inversión no inc. piso radiante)	1	6.673 €	12%	6.673,04 €
<b>TOTAL</b>					54.653,53 €
					\$39.897.079

**Caldera a pellet más chiller**

Componente	Descripción	% Inv.	Costo Inversión
Caldera de Pellets	Energres Modelo BI-350 (8,3-35 kW) de carga automática	28%	15.848,00 €
Kit de regulación para circuitos de calefacción	Kit para circuitos 1 y 2 con mezcladora	1%	516,00 €
Sonda de temperatura ambiente	Sonda de temperatura ambiente	0%	73,00 €
Depósito de Inercia	Depósito de Inercia IGF de 500 lt.	2%	896,00 €
Sonda de inmersión para acumulación de inercia	Sonda de inmersión (2 m)	0%	19,00 €
kit de sondas para acumulador	kit de sondas para acumulador	0%	238,00 €
Grupo de elevación de la temperatura de retorno	Grupo de elevación DN25 (BI-250)	1%	548,00 €
Alimentación mediante tornillo sinfín	Sinfín 1500 mm con canal abierto	3%	1.853,00 €
Piso radiante	Inversión por concepto de piso radiante	26%	14.615,27 €
Chiller	Enfriadora Mini Chiller Carrier Capacidad 33 kW (sólo frío)	29%	16.053,00 €
Otros accesorios	Accesorios en general 15% del total de la inversión no inc. piso radiante)	10%	5.406,60 €
<b>TOTAL</b>			56.065,87 €
			\$40.928.085

**Caldera a gas licuado más chiller**

Componente	Descripción	% Inv.	Precio Total
Caldera Sime RX 26 IONO 26 Mcal	Caldera de pie a gas encendido electrónico, con quemador atmosférico incluye bomba y estanque de expansión incluido	4%	1.462,85 €
Piso radiante	Inversión por concepto de piso radiante	39%	14.615,27 €
Chiller	Enfriadora Mini Chiller Carrier Capacidad 33 kW (sólo frío)	43%	16.053,00 €
Otros	Accesorios en general 30% del total de la inversión no inc. piso radiante)	14%	5.254,75 €
			37.385,87 €
<b>TOTAL</b>			<b>\$27.291.688</b>

**Caldera a petróleo más chiller**

Componente	Descripción	% Inv.	Precio Total
Caldera. SIME AR - 4 25,3 (Mcal)	Caldera de fierro fundido para quemadores de petróleo	2%	921,17 €
Quemador para petróleo	Quemador Riello 40G5	2%	563,26 €
Piso radiante	Inversión por concepto de piso radiante	39%	14.615,27 €
Chiller	Enfriadora Mini Chiller Carrier Capacidad 33 kW (sólo frío)	43%	16.053,00 €
Otros	Accesorios en general 30% del total de la inversión no inc. piso radiante)	14%	5.261,23 €
			37.413,93 €
<b>TOTAL</b>			<b>\$27.312.169</b>

**A.4.4 Costo por consumo de combustible para calefacción (CASO 1)**

Lazo Cerrado				
Localización	Concepción		Pérdidas del Recinto	
Superficie recinto	300	m <sup>2</sup>	Potencia Específica	60 W/m <sup>2</sup>
Altura promedio	4	m	T° interior de cálculo	20 °C
Días operación/semana	7		T° exterior de cálculo	5 °C
Horas operación/día	14		Potencia instalada	18 kW
Volumen recinto	1200	m <sup>3</sup>	Potencia Bba Geotérmica	15,3 kW
Valor de G	1,00	W/m <sup>3</sup> °C		
Horas día	24			
Grados-día Anual	1638,4	°C día/año		

**Consumos y Costos de Energía para Calefacción**

Valor Dólar	660	\$/US\$
Combustible	Electricidad	
COP	4,3	
Rendimiento Instalación	90%	
Costo Energía Eléctrica	0,25	US\$/kWh
Costo Energía Térmica	0,058	US\$/kWh
Costo Energía Eléctrica	250	US\$/MWh
	165	\$/kWh

mes	Utiliza Calefacción?	G.D. /mes base 16°C	G.D./mes en operación	días/mes	días semana en operación	Hrs. del día en operación	factor operación	Consumo energía mes kWh/mes	Costo energía mes US\$/mes
Enero	off	51,4	0,0	31	0	0	0,00	0,0	0,0
Febrero	off	55,5	0,0	28	0	0	0,00	0,0	0,0
Marzo	on	91,5	91,5	31	7	14	0,58	1707,5	99,3
Abril	on	131,3	131,3	30	7	14	0,58	2451,7	142,5
Mayo	on	162,8	162,8	31	7	14	0,58	3038,1	176,6
Junio	on	208,0	208,0	30	7	14	0,58	3882,9	225,8
Julio	on	222,5	222,5	31	7	14	0,58	4152,6	241,4
Agosto	on	214,4	214,4	31	7	14	0,58	4001,5	232,6
Septiembre	on	195,8	195,8	30	7	14	0,58	3655,4	212,5
Octubre	on	145,2	145,2	31	7	14	0,58	2710,7	157,6
Noviembre	off	96,8	0,0	30	0	0	0,00	0,0	0,0
Diciembre	off	63,2	0,0	31	0	0	0,00	0,0	0,0
Total Anual		1638,4	1371,5	365				25600,5	1488,4

Consumo específico anual=85,33 kWh/m<sup>2</sup>año

Costo por consumo eléctrico anual=982.344 \$/año

Lazo Abierto Sin Intercambiador de Seguridad					
Localización	Concepción		Pérdidas del Recinto		
Superficie recinto	300	m <sup>2</sup>	Potencia Específica	60	W/m <sup>2</sup>
Altura promedio	4	m	T° interior de cálculo	20	°C
Días operación/semana	7		T° exterior de cálculo	5	°C
Horas operación/día	14		Potencia instalada	18	kW
Volumen recinto	1200	m <sup>3</sup>	Potencia Bba Geotérmica	16,9	kW
Valor de G	1,00	W/m <sup>3</sup> °C			
Horas día	24				
Grados-día Anual	1638,4	°C día/año			

**Consumos y Costos de Energía para Calefacción**

Valor Dólar	660	\$/US\$
Combustible	Electricidad	
COP	6,4	
Rendimiento Instalación	90%	
Costo Energía Eléctrica	0,25	US\$/kWh
Costo Energía Térmica	0,039	US\$/kWh
Costo Energía Eléctrica	250	US\$/MWh
	165	\$/kWh

mes	Utiliza Calefacción?	Grados-día/mes base 16°C	Grados-día/mes en operación	días/mes	días semana en operación	Horas del días en operación	factor operación	Consumo energía mes kWh/mes	Costo energía mes US\$/mes
Enero	off	51,4	0,0	31	0	0	0,00	0,0	0,0
Febrero	off	55,5	0,0	28	0	0	0,00	0,0	0,0
Marzo	on	91,5	91,5	31	7	14	0,58	1707,5	66,7
Abril	on	131,3	131,3	30	7	14	0,58	2451,7	95,8
Mayo	on	162,8	162,8	31	7	14	0,58	3038,1	118,7
Junio	on	208,0	208,0	30	7	14	0,58	3882,9	151,7
Julio	on	222,5	222,5	31	7	14	0,58	4152,6	162,2
Agosto	on	214,4	214,4	31	7	14	0,58	4001,5	156,3
Septiembre	on	195,8	195,8	30	7	14	0,58	3655,4	142,8
Octubre	on	145,2	145,2	31	7	14	0,58	2710,7	105,9
Noviembre	off	96,8	0,0	30	0	0	0,00	0,0	0,0
Diciembre	off	63,2	0,0	31	0	0	0,00	0,0	0,0
Total Anual		1638,4	1371,5	365				25600,5	1000,0

Consumo específico anual=85,33 kWh/m<sup>2</sup>año

Costo por consumo eléctrico anual=660.012 \$/año

Lazo Abierto Con Intercambiador de Seguridad					
Localización	Concepción		Pérdidas del Recinto		
Superficie recinto	300	m <sup>2</sup>	Potencia Específica	60	W/m <sup>2</sup>
Altura promedio	4	m	T° interior de cálculo	20	°C
Días operación/semana	7		T° exterior de cálculo	5	°C
Horas operación/día	14		Potencia instalada	18	kW
Volumen recinto	1200	m <sup>3</sup>	Potencia Bba Geotérmica	16,2	kW
Valor de G	1,00	W/m <sup>3</sup> °C			
Horas día	24				
Grados-día Anual	1638,4	°C día/año			

**Consumos y Costos de Energía para Calefacción**

Valor Dólar	660	\$/US\$
Combustible	Electricidad	
COP	5,2	
Rendimiento Instalación	90%	
Costo Energía Eléctrica	0,25	US\$/kWh
Costo Energía Térmica	0,048	US\$/kWh
Costo Energía Eléctrica	250	US\$/MWh
	165	\$/kWh

mes	Utiliza Calefacción?	Grados-día/mes base 16°C	Grados-día/mes en operación	días/mes	días semana en operación	Horas del días en operación	factor operación	Consumo energía mes kWh/mes	Costo energía mes US\$/mes
Enero	off	51,4	0,0	31	0	0	0,00	0,0	0,0
Febrero	off	55,5	0,0	28	0	0	0,00	0,0	0,0
Marzo	on	91,5	91,5	31	7	14	0,58	1707,5	82,1
Abril	on	131,3	131,3	30	7	14	0,58	2451,7	117,9
Mayo	on	162,8	162,8	31	7	14	0,58	3038,1	146,1
Junio	on	208,0	208,0	30	7	14	0,58	3882,9	186,7
Julio	on	222,5	222,5	31	7	14	0,58	4152,6	199,6
Agosto	on	214,4	214,4	31	7	14	0,58	4001,5	192,4
Septiembre	on	195,8	195,8	30	7	14	0,58	3655,4	175,7
Octubre	on	145,2	145,2	31	7	14	0,58	2710,7	130,3
Noviembre	off	96,8	0,0	30	0	0	0,00	0,0	0,0
Diciembre	off	63,2	0,0	31	0	0	0,00	0,0	0,0
Total Anual		1638,4	1371,5	365				25600,5	1230,8

Consumo específico anual=85,33 kWh/m<sup>2</sup>año

Costo por consumo eléctrico anual=812.323 \$/año

**A.4.5 Comparación con tecnologías convencionales**

<b>Chiller</b>				
Localización	Concepción		Pérdidas del Recinto	
Superficie recinto	300	m <sup>2</sup>	Potencia Específica	60 W/m <sup>2</sup>
Altura promedio	4	m	T° interior de cálculo	20 °C
Días operación/semana	7		T° exterior de cálculo	5 °C
Horas operación/día	14		Potencia instalada	18 kW
Volumen recinto	1200	m <sup>3</sup>	Potencia Bba Geotérmica	11,3 kW
Valor de G	1,00	W/m <sup>3</sup> °C		
Horas día	24			
Grados-día Anual	1638,4	°C día/año		

**Consumos y Costos de Energía para Calefacción**

Valor Dólar	660	\$/US\$
Combustible	Electricidad	
COP	2,31	
Rendimiento Instalación	90%	
Costo Energía Eléctrica	0,25	US\$/kWh
Costo Energía Térmica	0,108	US\$/kWh
Costo Energía Eléctrica	250	US\$/MWh
	165	\$/kWh

mes	Utiliza Calefacción?	Grados-día/mes base 16°C	Grados-día/mes en operación	días/mes	días semana en operación	Horas del días en operación	factor operación	Consumo energía mes kWh/mes	Costo energía mes US\$/mes
Enero	off	51,4	0,0	31	0	0	0,00	0,0	0,0
Febrero	off	55,5	0,0	28	0	0	0,00	0,0	0,0
Marzo	on	91,5	91,5	31	7	14	0,58	1707,5	184,8
Abril	on	131,3	131,3	30	7	14	0,58	2451,7	265,3
Mayo	on	162,8	162,8	31	7	14	0,58	3038,1	328,8
Junio	on	208,0	208,0	30	7	14	0,58	3882,9	420,2
Julio	on	222,5	222,5	31	7	14	0,58	4152,6	449,4
Agosto	on	214,4	214,4	31	7	14	0,58	4001,5	433,1
Septiembre	on	195,8	195,8	30	7	14	0,58	3655,4	395,6
Octubre	on	145,2	145,2	31	7	14	0,58	2710,7	293,4
Noviembre	off	96,8	0,0	30	0	0	0,00	0,0	0,0
Diciembre	off	63,2	0,0	31	0	0	0,00	0,0	0,0
Total Anual		1638,4	1371,5	365				25600,5	2770,6

Consumo específico anual=85,33 kWh/m<sup>2</sup>año

Costo por consumo eléctrico anual=1.828.606 \$/año

Gas licuado					
Localización	Concepción		Pérdidas del Recinto		
Superficie recinto	300	m <sup>2</sup>	Potencia Especifica	60	W/m <sup>2</sup>
Altura promedio	4	m	T° interior de cálculo	20	°C
Días operación/semana	7		T° exterior de cálculo	5	°C
Horas operación/día	14		Potencia instalada	18	kW
Volumen recinto	1200	m <sup>3</sup>	Potencia Caldera	23,5	kW
Valor de G	1,00	W/m <sup>3</sup> °C			
Horas día	24				
Grados-día Anual	1638,4	°C día/año			

**Consumos y Costos de Energía para Calefacción**

Valor Dólar	660	\$/US\$
Combustible	Gas Licuado	
Poder Calorífico	12,8	kWh/kg
Rendimiento Caldera	85%	
Rendimiento Instalación	90%	
Costo Combustible	1.100	\$/kg
Costo Energía Térmica	36,163	US\$/GJ
Costo Energía	0,130	US\$/kWh

mes	Utiliza Calefacción?	Grados-día/mes base 16°C	Grados-día/mes en operación	días/mes	días semana en operación	Horas del día en operación	factor operación	Consumo energía mes kWh/mes	Consumo combustible kg/mes	Costo energía mes US\$/mes
Enero	off	51,4	0,0	31	0	0	0,00	0,0	0,0	0,0
Febrero	off	55,5	0,0	28	0	0	0,00	0,0	0,0	0,0
Marzo	on	91,5	91,5	31	7	14	0,58	2008,9	156,9	261,5
Abril	on	131,3	131,3	30	7	14	0,58	2884,4	225,3	375,5
Mayo	on	162,8	162,8	31	7	14	0,58	3574,2	279,2	465,3
Junio	on	208,0	208,0	30	7	14	0,58	4568,1	356,8	594,7
Julio	on	222,5	222,5	31	7	14	0,58	4885,5	381,6	636,0
Agosto	on	214,4	214,4	31	7	14	0,58	4707,7	367,7	612,9
Septiembre	on	195,8	195,8	30	7	14	0,58	4300,5	335,9	559,9
Octubre	on	145,2	145,2	31	7	14	0,58	3189,1	249,1	415,2
Noviembre	off	96,8	0,0	30	0	0	0,00	0,0	0,0	0,0
Diciembre	off	63,2	0,0	31	0	0	0,00	0,0	0,0	0,0
Total Anual		1638,4	1371,5	365				30118,2	2352,6	3921,0

Consumo específico anual=100,39 kWh/m<sup>2</sup>año

Costo por consumo eléctrico anual=2.587.890 \$/año



Petróleo					
Localización	Concepción		Pérdidas del Recinto		
Superficie recinto	300	m <sup>2</sup>	Potencia Específica	60	W/m <sup>2</sup>
Altura promedio	4	m	T° interior de cálculo	20	°C
Días operación/semana	7		T° exterior de cálculo	5	°C
Horas operación/día	14		Potencia instalada	18	kW
Volumen recinto	1200	m <sup>3</sup>	Potencia Caldera	23,5	kW
Valor de G	1,00	W/m <sup>3</sup> °C			
Horas día	24				
Grados-día Anual	1638,4	°C día/año			

**Consumos y Costos de Energía para Calefacción**

Valor Dólar	660	\$/US\$
Combustible	Petróleo	
Poder Calorífico	11,8	kWh/kg
Rendimiento Caldera	85%	
Rendimiento Instalación	90%	
Costo Combustible	0	\$/kg
Costo Energía Térmica	21,070	US\$/GJ
Costo Energía	0,076	US\$/kWh

mes	Utiliza Calefacción?	Grados-día/mes base 16°C	Grados-día/mes en operación	días/mes	días semana en operación	Horas del día en operación	factor operación	Consumo energía mes kWh/mes	Consumo combustible kg/mes	Costo energía mes US\$/mes
Enero	off	51,4	0,0	31	0	0	0,00	0,0	0,0	0,0
Febrero	off	55,5	0,0	28	0	0	0,00	0,0	0,0	0,0
Marzo	on	91,5	91,5	31	7	14	0,58	2008,9	170,0	152,4
Abril	on	131,3	131,3	30	7	14	0,58	2884,4	244,0	218,8
Mayo	on	162,8	162,8	31	7	14	0,58	3574,2	302,4	271,1
Junio	on	208,0	208,0	30	7	14	0,58	4568,1	386,5	346,5
Julio	on	222,5	222,5	31	7	14	0,58	4885,5	413,3	370,6
Agosto	on	214,4	214,4	31	7	14	0,58	4707,7	398,3	357,1
Septiembre	on	195,8	195,8	30	7	14	0,58	4300,5	363,8	326,2
Octubre	on	145,2	145,2	31	7	14	0,58	3189,1	269,8	241,9
Noviembre	off	96,8	0,0	30	0	0	0,00	0,0	0,0	0,0
Diciembre	off	63,2	0,0	31	0	0	0,00	0,0	0,0	0,0
Total Anual		1638,4	1371,5	365				30118,2	2548,2	2284,6

Consumo específico anual=100,39 kWh/m<sup>2</sup>año

Costo por consumo eléctrico anual=21.507.806 \$/año

Pellets					
Localización	Concepción		Pérdidas del Recinto		
Superficie recinto	300	m <sup>2</sup>	Potencia Específica	60	W/m <sup>2</sup>
Altura promedio	4	m	T° interior de cálculo	20	°C
Días operación/semana	7		T° exterior de cálculo	5	°C
Horas operación/día	14		Potencia instalada	18	kW
Volumen recinto	1200	m <sup>3</sup>	Potencia Caldera	23,5	kW
Valor de G	1,00	W/m <sup>3</sup> °C			
Horas día	24				
Grados-día Anual	1638,4	°C día/año			

**Consumos y Costos de Energía para Calefacción**

Valor Dólar	660	\$/US\$
Combustible	Pellets	
Poder Calorífico	4,7	kWh/kg
Rendimiento Caldera	85%	
Rendimiento Instalación	90%	
Costo Combustible	180	\$/kg
Costo Energía Térmica	16,173	US\$/GJ
Costo Energía	0,058	US\$/kWh

mes	Utiliza Calefacción?	Grados-día/mes base 16°C	Grados-día/mes en operación	días/mes	días semana en operación	Horas del día en operación	factor operación	Consumo energía mes kWh/mes	Consumo combustible kg/mes	Costo energía mes US\$/mes
Enero	off	51,4	0,0	31	0	0	0,00	0,0	0,0	0,0
Febrero	off	55,5	0,0	28	0	0	0,00	0,0	0,0	0,0
Marzo	on	91,5	91,5	31	7	14	0,58	2008,9	428,8	117,0
Abril	on	131,3	131,3	30	7	14	0,58	2884,4	615,7	167,9
Mayo	on	162,8	162,8	31	7	14	0,58	3574,2	763,0	208,1
Junio	on	208,0	208,0	30	7	14	0,58	4568,1	975,2	266,0
Julio	on	222,5	222,5	31	7	14	0,58	4885,5	1042,9	284,4
Agosto	on	214,4	214,4	31	7	14	0,58	4707,7	1005,0	274,1
Septiembre	on	195,8	195,8	30	7	14	0,58	4300,5	918,1	250,4
Octubre	on	145,2	145,2	31	7	14	0,58	3189,1	680,8	185,7
Noviembre	off	96,8	0,0	30	0	0	0,00	0,0	0,0	0,0
Diciembre	off	63,2	0,0	31	0	0	0,00	0,0	0,0	0,0
Total Anual		1638,4	1371,5	365				30118,2	6429,5	1753,5

Consumo específico anual=100,39 kWh/m<sup>2</sup>año

Costo por consumo eléctrico anual=1.157.319 \$/año

**A.4.6 Costo por consumo de combustible para calefacción (CASO 2)**

Lazo Cerrado					
Localización	Puerto Montt		Pérdidas del Recinto		
Superficie recinto	300	m <sup>2</sup>	Potencia Específica	75	W/m <sup>2</sup>
Altura promedio	4	m	T° interior de cálculo	20	°C
Días operación/semana	7		T° exterior de cálculo	3	°C
Horas operación/día	14		Potencia instalada	22,5	kW
Volumen recinto	1200	m <sup>3</sup>	Potencia Bba Geotérmica	19,2	kW
Valor de G	1,10	W/m <sup>3</sup> °C			
Horas día	24				
Grados-día Anual	2219,3	°C día/año			

**Consumos y Costos de Energía para Calefacción**

Valor Dólar	660	\$/US\$
Combustible	Electricidad	
COP	4,3	
Rendimiento Instalación	90%	
Costo Energía Eléctrica	0,25	US\$/kWh
Costo Energía Térmica	0,058	US\$/kWh
Costo Energía Eléctrica	250	US\$/MWh
	165	\$/kWh

mes	Utiliza Calefacción?	Grados-día/mes base 16°C	Grados-día/mes en operación	días/mes	días semana en operación	Horas del días en operación	factor operación	Consumo energía mes kWh/mes	Costo energía mes US\$/mes
Enero	off	65,3	0,0	31	0	0	0,00	0,0	0,0
Febrero	off	79,6	0,0	28	0	0	0,00	0,0	0,0
Marzo	on	129,7	129,7	31	7	14	0,58	2671,2	155,3
Abril	on	188,8	188,8	30	7	14	0,58	3887,2	226,0
Mayo	on	234,2	234,2	31	7	14	0,58	4821,8	280,3
Junio	on	303,2	303,2	30	7	14	0,58	6243,1	363,0
Julio	on	317,4	317,4	31	7	14	0,58	6535,0	379,9
Agosto	on	295,2	295,2	31	7	14	0,58	6076,7	353,3
Septiembre	on	239,9	239,9	30	7	14	0,58	4938,8	287,1
Octubre	on	174,0	174,0	31	7	14	0,58	3581,8	208,2
Noviembre	off	114,6	0,0	30	0	0	0,00	0,0	0,0
Diciembre	off	77,4	0,0	31	0	0	0,00	0,0	0,0
Total Anual		<b>2219,3</b>	1882,4	365				38755,6	2253,2

Consumo específico anual=129,19 kWh/m<sup>2</sup>año

Costo por consumo eléctrico anual=1.487.132 \$/año

Lazo Abierto Sin Intercambiador de Seguridad					
Localización	Puerto Montt		Pérdidas del Recinto		
Superficie recinto	300	m <sup>2</sup>	Potencia Específica	75	W/m <sup>2</sup>
Altura promedio	4	m	T° interior de cálculo	20	°C
Días operación/semana	7		T° exterior de cálculo	3	°C
Horas operación/día	14		Potencia instalada	22,5	kW
Volumen recinto	1200	m <sup>3</sup>	Potencia Bba Geotérmica	21,0	kW
Valor de G	1,10	W/m <sup>3</sup> °C			
Horas día	24				
Grados-día Anual	2219,3	°C día/año			

**Consumos y Costos de Energía para Calefacción**

Valor Dólar	660	\$/US\$
Combustible	Electricidad	
COP	6,2	
Rendimiento Instalación	90%	
Costo Energía Eléctrica	0,25	US\$/kWh
Costo Energía Térmica	0,040	US\$/kWh
Costo Energía Eléctrica	250	US\$/MWh
	165	\$/kWh

mes	Utiliza Calefacción?	Grados-día/mes base 16°C	Grados-día/mes en operación	días/mes	días semana en operación	Horas del días en operación	factor operación	Consumo energía mes kWh/mes	Costo energía mes US\$/mes
Enero	off	65,3	0,0	31	0	0	0,00	0,0	0,0
Febrero	off	79,6	0,0	28	0	0	0,00	0,0	0,0
Marzo	on	129,7	129,7	31	7	14	0,58	2671,2	107,7
Abril	on	188,8	188,8	30	7	14	0,58	3887,2	156,7
Mayo	on	234,2	234,2	31	7	14	0,58	4821,8	194,4
Junio	on	303,2	303,2	30	7	14	0,58	6243,1	251,7
Julio	on	317,4	317,4	31	7	14	0,58	6535,0	263,5
Agosto	on	295,2	295,2	31	7	14	0,58	6076,7	245,0
Septiembre	on	239,9	239,9	30	7	14	0,58	4938,8	199,1
Octubre	on	174,0	174,0	31	7	14	0,58	3581,8	144,4
Noviembre	off	114,6	0,0	30	0	0	0,00	0,0	0,0
Diciembre	off	77,4	0,0	31	0	0	0,00	0,0	0,0
<b>Total Anual</b>		<b>2219,3</b>	1882,4	365				38755,6	1562,7

Consumo específico anual=129,19 kWh/m<sup>2</sup>año

Costo por consumo eléctrico anual=1.031.398 \$/año

Lazo Abierto Con Intercambiador de Seguridad					
Localización	Puerto Montt		Pérdidas del Recinto		
Superficie recinto	300	m <sup>2</sup>	Potencia Específica	75	W/m <sup>2</sup>
Altura promedio	4	m	T° interior de cálculo	20	°C
Días operación/semana	7		T° exterior de cálculo	3	°C
Horas operación/día	14		Potencia instalada	22,5	kW
Volumen recinto	1200	m <sup>3</sup>	Potencia Bba Geotérmica	20,1	kW
Valor de G	1,10	W/m <sup>3</sup> °C			
Horas día	24				
Grados-día Anual	2219,3	°C día/año			

**Consumos y Costos de Energía para Calefacción**

Valor Dólar	660	\$/US\$
Combustible	Electricidad	
COP	5,1	
Rendimiento Instalación	90%	
Costo Energía Eléctrica	0,25	US\$/kWh
Costo Energía Térmica	0,049	US\$/kWh
Costo Energía Eléctrica	250	US\$/MWh
	165	\$/kWh

mes	Utiliza Calefacción?	Grados-día/mes base 16°C	Grados-día/mes en operación	días/mes	días semana en operación	Horas del días en operación	factor operación	Consumo energía mes kWh/mes	Costo energía mes US\$/mes
Enero	off	65,3	0,0	31	0	0	0,00	0,0	0,0
Febrero	off	79,6	0,0	28	0	0	0,00	0,0	0,0
Marzo	on	129,7	129,7	31	7	14	0,58	2671,2	130,9
Abril	on	188,8	188,8	30	7	14	0,58	3887,2	190,6
Mayo	on	234,2	234,2	31	7	14	0,58	4821,8	236,4
Junio	on	303,2	303,2	30	7	14	0,58	6243,1	306,0
Julio	on	317,4	317,4	31	7	14	0,58	6535,0	320,3
Agosto	on	295,2	295,2	31	7	14	0,58	6076,7	297,9
Septiembre	on	239,9	239,9	30	7	14	0,58	4938,8	242,1
Octubre	on	174,0	174,0	31	7	14	0,58	3581,8	175,6
Noviembre	off	114,6	0,0	30	0	0	0,00	0,0	0,0
Diciembre	off	77,4	0,0	31	0	0	0,00	0,0	0,0
<b>Total Anual</b>		<b>2219,3</b>	1882,4	365				38755,6	1899,8

Consumo específico anual=129,19 kWh/m<sup>2</sup>año

Costo por consumo eléctrico anual=1.253.856 \$/año

**A.4.7 Comparación con tecnologías convencionales**

Chiller					
Localización	Puerto Montt		Pérdidas del Recinto		
Superficie recinto	300	m <sup>2</sup>	Potencia Específica	75	W/m <sup>2</sup>
Altura promedio	4	m	T° interior de cálculo	20	°C
Días operación/semana	7		T° exterior de cálculo	3	°C
Horas operación/día	14		Potencia instalada	22,5	kW
Volumen recinto	1200	m <sup>3</sup>	Potencia Bba Geotérmica	14,2	kW
Valor de G	1,10	W/m <sup>3</sup> °C			
Horas día	24				
Grados-día Anual	2219,3	°C día/año			

**Consumos y Costos de Energía para Calefacción**

Valor Dólar	660	\$/US\$
Combustible	Electricidad	
COP	2,31	
Rendimiento Instalación	90%	
Costo Energía Eléctrica	0,25	US\$/kWh
Costo Energía Térmica	0,108	US\$/kWh
Costo Energía Eléctrica	250	US\$/MWh
	165	\$/kWh

mes	Utiliza Calefacción?	Grados-día/mes base 16°C	Grados-día/mes en operación	días/mes	días semana en operación	Horas del días en operación	factor operación	Consumo energía mes kWh/mes	Costo energía mes US\$/mes
Enero	off	65,3	0,0	31	0	0	0,00	0,0	0,0
Febrero	off	79,6	0,0	28	0	0	0,00	0,0	0,0
Marzo	on	129,7	129,7	31	7	14	0,58	2671,2	289,1
Abril	on	188,8	188,8	30	7	14	0,58	3887,2	420,7
Mayo	on	234,2	234,2	31	7	14	0,58	4821,8	521,8
Junio	on	303,2	303,2	30	7	14	0,58	6243,1	675,7
Julio	on	317,4	317,4	31	7	14	0,58	6535,0	707,2
Agosto	on	295,2	295,2	31	7	14	0,58	6076,7	657,7
Septiembre	on	239,9	239,9	30	7	14	0,58	4938,8	534,5
Octubre	on	174,0	174,0	31	7	14	0,58	3581,8	387,6
Noviembre	off	114,6	0,0	30	0	0	0,00	0,0	0,0
Diciembre	off	77,4	0,0	31	0	0	0,00	0,0	0,0
Total Anual		<b>2219,3</b>	1882,4	365				38755,6	4194,3

Consumo específico anual=129,19 kWh/m<sup>2</sup>año

Costo por consumo eléctrico anual=2.768.254 \$/año

Gas licuado					
Localización	Puerto Montt		Pérdidas del Recinto		
Superficie recinto	300	m <sup>2</sup>	Potencia Específica	75	W/m <sup>2</sup>
Altura promedio	4	m	T° interior de cálculo	20	°C
Días operación/semana	7		T° exterior de cálculo	3	°C
Horas operación/día	14		Potencia instalada	23	kW
Volumen recinto	1200	m <sup>3</sup>	Potencia Caldera	29,4	kW
Valor de G	1,10	W/m <sup>3</sup> °C			
Horas día	24				
Grados-día Anual	2219,3	°C día/año			

**Consumos y Costos de Energía para Calefacción**

Valor Dólar	660	\$/US\$
Combustible	Gas Licuado	
Poder Calorífico	12,8	kWh/kg
Rendimiento Caldera	85%	
Rendimiento Instalación	90%	
Costo Combustible	1.100	\$/kg
Costo Energía Térmica	36,163	US\$/GJ
Costo Energía	0,130	US\$/kWh

mes	Utiliza Calefacción?	Grados-día/mes base 16°C	Grados-día/mes en operación	días/mes	días semana en operación	Horas del día en operación	factor operación	Consumo energía mes kWh/mes	Consumo combustible kg/mes	Costo energía mes US\$/mes
Enero	off	65,3	0,0	31	0	0	0,00	0,0	0,0	0,0
Febrero	off	79,6	0,0	28	0	0	0,00	0,0	0,0	0,0
Marzo	on	129,7	129,7	31	7	14	0,58	3142,5	245,5	409,1
Abril	on	188,8	188,8	30	7	14	0,58	4573,2	357,2	595,4
Mayo	on	234,2	234,2	31	7	14	0,58	5672,7	443,1	738,5
Junio	on	303,2	303,2	30	7	14	0,58	7344,9	573,7	956,2
Julio	on	317,4	317,4	31	7	14	0,58	7688,2	600,5	1000,9
Agosto	on	295,2	295,2	31	7	14	0,58	7149,1	558,4	930,7
Septiembre	on	239,9	239,9	30	7	14	0,58	5810,3	453,9	756,4
Octubre	on	174,0	174,0	31	7	14	0,58	4213,9	329,2	548,6
Noviembre	off	114,6	0,0	30	0	0	0,00	0,0	0,0	0,0
Diciembre	off	77,4	0,0	31	0	0	0,00	0,0	0,0	0,0
Total Anual		2219,3	1882,4	365				45594,8	3561,6	5935,9

Consumo específico anual=151,98 kWh/m<sup>2</sup>año

Costo por consumo eléctrico anual=3.917.705 \$/año

Petróleo					
Localización	Puerto Montt		Pérdidas del Recinto		
Superficie recinto	300	m <sup>2</sup>	Potencia Específica	75	W/m <sup>2</sup>
Altura promedio	4	m	T° interior de cálculo	20	°C
Días operación/semana	7		T° exterior de cálculo	3	°C
Horas operación/día	14		Potencia instalada	23	kW
Volumen recinto	1200	m <sup>3</sup>	Potencia Caldera	29,4	kW
Valor de G	1,10	W/m <sup>3</sup> °C			
Horas día	24				
Grados-día Anual	2219,3	°C día/año			

**Consumos y Costos de Energía para Calefacción**

Valor Dólar	660	\$/US\$
Combustible	Petróleo	
Poder Calorífico	11,8	kWh/kg
Rendimiento Caldera	85%	
Rendimiento Instalación	90%	
Costo Combustible	592	\$/kg
Costo Energía Térmica	21,070	US\$/GJ
Costo Energía	0,076	US\$/kWh

mes	Utiliza Calefacción?	Grados-día/mes base 16°C	Grados-día/mes en operación	días/mes	días semana en operación	Horas del día en operación	factor operación	Consumo energía mes kWh/mes	Consumo combustible kg/mes	Costo energía mes US\$/mes
Enero	off	65,3	0,0	31	0	0	0,00	0,0	0,0	0,0
Febrero	off	79,6	0,0	28	0	0	0,00	0,0	0,0	0,0
Marzo	on	129,7	129,7	31	7	14	0,58	3142,5	265,9	238,4
Abril	on	188,8	188,8	30	7	14	0,58	4573,2	386,9	346,9
Mayo	on	234,2	234,2	31	7	14	0,58	5672,7	479,9	430,3
Junio	on	303,2	303,2	30	7	14	0,58	7344,9	621,4	557,1
Julio	on	317,4	317,4	31	7	14	0,58	7688,2	650,5	583,2
Agosto	on	295,2	295,2	31	7	14	0,58	7149,1	604,9	542,3
Septiembre	on	239,9	239,9	30	7	14	0,58	5810,3	491,6	440,7
Octubre	on	174,0	174,0	31	7	14	0,58	4213,9	356,5	319,6
Noviembre	off	114,6	0,0	30	0	0	0,00	0,0	0,0	0,0
Diciembre	off	77,4	0,0	31	0	0	0,00	0,0	0,0	0,0
Total Anual		2219,3	1882,4	365				45594,8	3857,6	3458,5

Consumo específico anual=151,98 kWh/m<sup>2</sup>año

Costo por consumo eléctrico anual=2.282.607 \$/año



Pellets					
Localización	Puerto Montt		Pérdidas del Recinto		
Superficie recinto	300	m <sup>2</sup>	Potencia Específica	75	W/m <sup>2</sup>
Altura promedio	4	m	T° interior de cálculo	20	°C
Días operación/semana	7		T° exterior de cálculo	3	°C
Horas operación/día	14		Potencia instalada	23	kW
Volumen recinto	1200	m <sup>3</sup>	Potencia Caldera	29,4	kW
Valor de G	1,10	W/m <sup>3</sup> °C			
Horas día	24				
Grados-día Anual	2219,3	°C día/año			

**Consumos y Costos de Energía para Calefacción**

Valor Dólar	660	\$/US\$
Combustible	Pellets	
Poder Calorífico	4,7	kWh/kg
Rendimiento Caldera	85%	
Rendimiento Instalación	90%	
Costo Combustible	0	\$/kg
Costo Energía Térmica	16,173	US\$/GJ
Costo Energía	0,058	US\$/kWh

mes	Utiliza Calefacción?	Grados-día/mes base 16°C	Grados-día/mes en operación	días/mes	días semana en operación	Horas del día en operación	factor operación	Consumo energía mes kWh/mes	Consumo combustible kg/mes	Costo energía mes US\$/mes
Enero	off	65,3	0,0	31	0	0	0,00	0,0	0,0	0,0
Febrero	off	79,6	0,0	28	0	0	0,00	0,0	0,0	0,0
Marzo	on	129,7	129,7	31	7	14	0,58	3142,5	670,9	183,0
Abril	on	188,8	188,8	30	7	14	0,58	4573,2	976,3	266,3
Mayo	on	234,2	234,2	31	7	14	0,58	5672,7	1211,0	330,3
Junio	on	303,2	303,2	30	7	14	0,58	7344,9	1568,0	427,6
Julio	on	317,4	317,4	31	7	14	0,58	7688,2	1641,3	447,6
Agosto	on	295,2	295,2	31	7	14	0,58	7149,1	1526,2	416,2
Septiembre	on	239,9	239,9	30	7	14	0,58	5810,3	1240,4	338,3
Octubre	on	174,0	174,0	31	7	14	0,58	4213,9	899,6	245,3
Noviembre	off	114,6	0,0	30	0	0	0,00	0,0	0,0	0,0
Diciembre	off	77,4	0,0	31	0	0	0,00	0,0	0,0	0,0
Total Anual		2219,3	1882,4	365				45594,8	9733,4	2654,6

Consumo específico anual=151,98 kWh/m<sup>2</sup>año

Costo por consumo eléctrico anual=1.752.019 \$/año