

0.1

ESTADO DE DESARROLLO DE PROYECTOS DE BOMBAS DE CALOR  
GEOTÉRMICAS INSTALADOS EN CHILE

## INFORME FINAL

VERSIÓN 3.3



COMITÉ CORFO

**A la atención de CIFES**

*Santiago, a 21 de octubre de 2016*





ESTUDIO DESARROLLADO POR AIGUASOL PARA EL  
CIFES Y EL MINISTERIO DE ENERGÍA

*El presente estudio se desarrolla en el marco de un convenio entre el CIFES y el Ministerio de Energía quien apoya esta iniciativa que forma parte de la ejecución del Eje 3 de la Agenda de Energía en la cual se generó una línea de trabajo de promoción al desarrollo de la energía geotérmica que plantea el inicio de un programa para el uso térmico directo de la energía geotérmica en aplicaciones de baja y mediana entalpía.*

EQUIPO

Sven Harfagard, Ignacio Sánchez, Mauricio Florez y  
Daniel González Castellví

Santiago, a 7 de Abril de 2016





# ÍNDICE

1	Resumen Ejecutivo .....	11
1.1	Foco del Proyecto .....	11
1.2	Importancia estratégica .....	11
1.3	La GSHP en Chile Hoy .....	12
1.4	Mercado Potencial .....	13
1.5	La Industria Nacional .....	15
1.6	El Marco Legal .....	16
1.7	Conclusiones .....	18
1.7.1	De la tecnología .....	18
1.7.2	Del mercado .....	18
1.7.3	De la industria .....	18
1.7.4	Del marco legal .....	19
1.7.5	De los mecanismos de promoción .....	19
1.8	Recomendaciones .....	19
2	Contexto y Planteamiento .....	22
3	La Tecnología GSHP .....	24
4	Las GSHP en el Mundo y en Chile .....	28
4.1	Aproximación Bibliografica .....	28
4.2	Aproximación a la Industria Chilena .....	34
4.3	Identificación de Proyectos en Chile .....	36
4.4	Aproximación a los Costos y la Competitividad de las GSHP .....	41
5	Casos de Éxito de la Industria Chilena .....	44
5.1	Hogar de las Hermanitas de los Pobres, Concepción .....	44
5.2	Parque Titanium .....	49



5.2.1	Introducción .....	49
5.2.2	Datos Generales .....	50
5.2.3	Napa y Captación .....	51
5.2.4	Red de Condensación .....	52
5.2.5	Sistema Interior VRF .....	53
5.3	Viveros Horcones .....	54
6	Análisis de oportunidad e impacto por sector productivo.....	59
6.1	Resumen de Resultados .....	59
6.2	Metodología.....	61
6.2.1	Descripción general .....	61
6.3	Condiciones de borde.....	65
6.3.1	Datos meteorológicos .....	65
6.3.2	información financiera .....	65
6.4	Caracterización de Demandas .....	66
6.4.1	Zonificación.....	66
6.4.2	Sistemas de calefacción – enfriamiento.....	67
6.4.2.1	Justificaciones de datos de operación .....	68
6.4.3	Sistemas de producción industrial .....	73
6.4.3.1	Piscifactorías .....	73
6.4.3.2	Viñas .....	76
6.4.3.3	Secado industrial de madera .....	77
6.5	Caracterización de combustibles .....	80
6.5.1	Precios de energía considerados .....	80
6.5.2	Factores de emisiones de GEI .....	81
6.5.3	Valores físicos.....	82
6.6	Caracterización de costos .....	82
6.6.1	Costos de Inversión .....	83
6.6.2	Costos de mantenimiento .....	84
6.7	Caracterización matemática de los sistemas.....	84



6.7.1	Introducción .....	84
6.7.2	Sistemas GSHP .....	85
6.7.3	Sistemas de Referencia.....	87
6.8	Resultados por Sectores de Interés.....	87
6.8.1	Introducción .....	87
6.8.2	Industria Vitivinícola.....	88
6.8.3	Piscifactorías .....	92
6.8.4	Secado de Leña .....	96
6.8.5	Granjas de Cerdos .....	100
6.8.6	Jardines Infantiles.....	104
6.8.7	Hoteles.....	108
6.8.8	Viviendas Unifamiliares .....	112
6.8.9	Redes de Calefacción de Distrito .....	116
6.8.10	Hospitales .....	120
7	Caracterización de Cadena de Valor .....	125
7.1	Propuesta de Caracterización .....	125
7.2	Esquema de la cadena de Valor .....	126
7.3	Listado de principales actores en Chile y el mundo .....	127
7.4	Justificación.....	130
8	Diagnóstico de Cadena de Suministros .....	131
8.1	Metodología del Diagnóstico .....	131
8.2	Desarrollo del Diagnóstico .....	131
8.2.1	Descripción general de la cadena .....	131
8.2.2	Comentarios generales de la cadena de valor en Chile .....	136
8.2.3	Análisis FODA general.....	136
8.2.4	Análisis FODA regionalizado .....	139
9	Revisión de permisos, regulaciones y normas.....	145
9.1	Introducción .....	145
9.2	Informe Jurídico .....	145



9.2.1	Antecedentes generales .....	145
9.2.2	Derecho comparado.....	146
9.2.3	Marco regulatorio en Chile.....	148
9.2.4	Legislación de aguas.....	151
9.2.5	Legislación ambiental .....	153
9.2.6	Propuestas regulatorias.....	156
9.3	Agregado al Informe Jurídico .....	157
10	Barreras, brechas, problemas y oportunidades de mercado y recomendaciones.....	159
10.1	Barreras.....	159
10.2	Brechas .....	160
10.3	Oportunidades .....	161
11	Conclusiones .....	163
11.1	De la tecnología.....	163
11.2	Del mercado .....	163
11.3	De la industria .....	163
11.4	Del marco legal.....	164
11.5	De los mecanismos .....	164
12	Recomendaciones .....	165
13	Anexo 1. La Tecnología .....	168
13.1	Energía Geotérmica .....	168
13.1.1	Generalidades .....	168
13.1.2	Categorización de tipos de geotermia .....	170
13.1.2.1	Por nivel térmico.....	171
13.1.2.2	Por profundidad.....	171
13.2	Sistemas de bomba de calor geotérmicos.....	172
13.2.1	Definición.....	172
13.2.2	Tipos de sistemas Instalaciones .....	173
13.2.2.1	Generalidades .....	173
13.2.2.2	Red horizontal.....	174



13.2.2.3	Red vertical. ....	179
13.2.2.4	Intercambiadores sumergidos. ....	185
13.2.2.5	Intercambiadores "Slinky" ....	185
13.2.2.6	Sistemas híbridos. ....	186
13.2.2.7	Circuito Abierto ....	189
13.2.3	Conclusión.....	190
13.3	Bombas de calor ....	191
13.3.1	Características generales de una bomba de calor ....	191
13.3.2	Componentes.....	191
13.3.3	Configuraciones de bombas de calor ....	192
13.3.4	Rendimiento de bombas de calor (COP) ....	193
14	Anexo 2. Tablas ....	195
15	Anexo 3. Directorio de Proveedores y Proyectos ....	198
15.1	Lista Internacional ....	198
15.2	Lista Nacional ....	202
15.3	Directorio de Proyectos, Datos de referencia ....	205
15.4	Directorio de Proyectos, Datos Técnicos.....	207
16	Anexo 4. Bibliografía.....	209
17	Anexo 5. Índice de Figuras.....	212
18	Anexo 6. Índice de Tablas ....	216



ESTADO DE DESARROLLO DE PROYECTOS DE BOMBAS DE CALOR GEOTÉRMICAS INSTALADOS EN CHILE

## RESUMEN EJECUTIVO



# 1 RESUMEN EJECUTIVO

---

## 1.1 FOCO DEL PROYECTO

El presente estudio se centra en una aplicación tecnológica, que más allá de sus variaciones, comparte, a través del uso central de la bomba de calor, una característica que representa el principal factor diferencial con casi todo el resto de formas de aprovechamiento de la energía geotérmica y que ha sido la responsable de disparar exponencialmente el uso de la energía geotérmica a nivel mundial: el aprovechamiento de un recurso que está accesible en prácticamente cualquier parte, contrariamente a lo que sucede con el aprovechamiento directo, sea de baja, media o alta entalpía, en los que requerimos disponer de recurso geotérmico líquido o vapor en el mismo lugar en el que disponemos de la demanda a cubrir. Claro está, estamos hablando de aprovechamiento térmico, no eléctrico, la naturaleza de la cual, permite transportar la energía con rendimientos aceptables.

Para acotar y facilitar la comprensión, explicitar que estamos hablando del aprovechamiento térmico de la energía del suelo mediante bomba de calor, a lo que a lo largo del presente estudio llamaremos por las siglas GSHP, del inglés Ground Source Heat Pump.

La GSHP es una tecnología renovable y madura, con una historia de más de 30 años a lo largo de la cual ha recorrido una curva de experiencia más acelerada de lo que cabría esperar a un mercado no masivo, gracias al hecho de compartir gran parte de la tecnología con un mercado gigante y globalizado como son los sistemas HVAC<sup>1</sup> en general y en concreto las bombas de calor y enfriadoras eléctricas en general, lo que le ha permitido grandes avances tecnológicos sin apenas inversión específica.

## 1.2 IMPORTANCIA ESTRATÉGICA

Para contextualizar la importancia de la tecnología, debemos analizar las características de la GSHP desde un punto de vista de estrategia país.

---

<sup>1</sup> Sistemas de calefacción, ventilación y acondicionamiento de aire por sus siglas en inglés



Las bombas de calor geotérmicas tienen dos características muy importantes que las pueden hacer muy útiles: funcionan con electricidad y tienen sistemas de alta inercia en ambos lados (demanda y suelo). Como es conocido, un sistema eléctrico de alta fracción renovable debe pasar por la gestión inteligente de la demanda. Muy a menudo se apunta a la flota de coches eléctricos como elemento de carga nocturna gestionable, pero igual de a menudo olvidamos los dispositivos eléctricos con acumulación térmica conectados a la red.

Un sistema geotérmico encargado de la climatización de un edificio de concreto tiene la posibilidad de jugar con la inercia del edificio acumulando gran cantidad de energía con pequeñas variaciones de la temperatura interior. Igualmente puede disponer del acumulador de ACS o de otros sistemas de inercia que pueden incorporar algunos esquemas avanzados. Y cómo no, en el mismo suelo, que podrá recuperar después, si dispone de algún dispositivo de disipación de frío. Estos sistemas, conectados a una red eléctrica inteligente, pueden permitir absorber picos de producción eólica o fotovoltaica, sin perjuicio para su propietario o incluso con energía gratuita.

En Dinamarca, ya a día de hoy, existe al menos una instalación que utiliza eólica sobrante mediante una bomba de calor para calentar un acumulador estacional de una calefacción distrital, como las tantas que quizás habrá en el sur de Chile en unos años.

Más allá de este aspecto que puede quedar un poco lejos en el tiempo, la GSHP, como todas las renovables, tiene un componente país muy importante: al ser intensiva en inversión, utiliza recursos locales de hoy para generar una infraestructura que consume poca energía (importada) mañana, generando trabajo y reduciendo la cantidad de divisas que salen al extranjero, con lo que se incrementa el PIB y se reduce el déficit comercial. La geotermia, especialmente, tiene mucha mano de obra asociada a los pozos, por lo que este fenómeno es mucho más intenso que por ejemplo la fotovoltaica que tiene gran parte de su costo en el módulo y la electrónica que son de importación.

### 1.3 LA GSHP EN CHILE HOY

Según el recuento de la industria, a 2015 Chile contaba con 8,6MWth de sistemas GSHP, el 83% de los cuales en sector servicios, industrias y edificios públicos, y únicamente el 17% en residencial. Estos datos concuerdan bastante con lo levantado en las encuestas hasta hoy, con 6,9MWth identificados en 29 proyectos con uso de bomba de calor, principalmente ubicados en la RM y en el Bío Bío.

Estas instalaciones han sido realizadas por empresas locales, que se deberían contar entre las 38 empresas que declararon prestar uno o varios servicios asociados a esta tecnología distribuidos de forma muy poco uniforme en la geografía del país, concentrándose en gran medida en la RM.



Con respecto al tamaño de los sistemas, se observa que una tendencia a los sistemas de tamaño mediano pequeño, con un 45% de los sistemas por debajo de los 100kWt y un 90% por debajo de los 1.000kWt. Aun así cabe destacar que el mayor número de instalaciones se encuentra entre 100kWt y 500kWt, según la información levantada por este estudio.

Si observamos los costos promedios por potencia, se observa un comportamiento bastante razonable, siguiendo una asíntota que parte sobre el 1,7MMCLP/kWt a pequeñas potencias, tendiendo a la saturación alrededor de los 0,2MMCLP/kWt por encima de los 200kWt.

Entre Regiones se observan costos muy dispares, des de los 0,22MMCLP/kWt de la RM a los 0,59MMCLP/kWt del Bío Bío, en lo que se mezclan aspectos asociados a la propia realidad económica de las Regiones, pero también ruido asociado al tamaño de las instalaciones, pues en general las Regiones con menores costos presentan sistemas en promedio mayores también.

## 1.4 MERCADO POTENCIAL

Sin llegar a desarrollar un estudio de cuantificación de potencial de mercado, se ha evaluado la existencia o no de dicho potencial mediante el análisis de viabilidad de sistemas de generación de calor y/o frío mediante GSHP para distintos usos en distintas regiones.

A modo de resumen de resultados con el objeto de visualizar de forma simple y clara la oportunidad para cada uno de los casos, se presenta a continuación un gráfico que muestra el período de retorno correspondiente a la sobre inversión que supondría instalar un sistema GSHP incluyendo sistemas auxiliares (sistema híbrido), con respecto a instalar un sistema convencional de origen, así como el ahorro porcentual de emisiones entre ambos casos. Los valores de período de retorno que no aparecen corresponden a valores negativos y por lo tanto no viables.

Cada caso viene indicado por una o dos letras y uno o dos números. Los números corresponden a las 7 zonas geográficas definidas para todo el estudio y que incluyen singularidades climáticas pero también de costos, fuentes de energía, matriz eléctrica, etc., siendo la zona 1 la más al norte y la 7 la más al sur. En el caso de L45 se ha considerado una sola zona por la gran similitud para el caso, asimilada a la 4. Las letras corresponden a los sectores productivos.

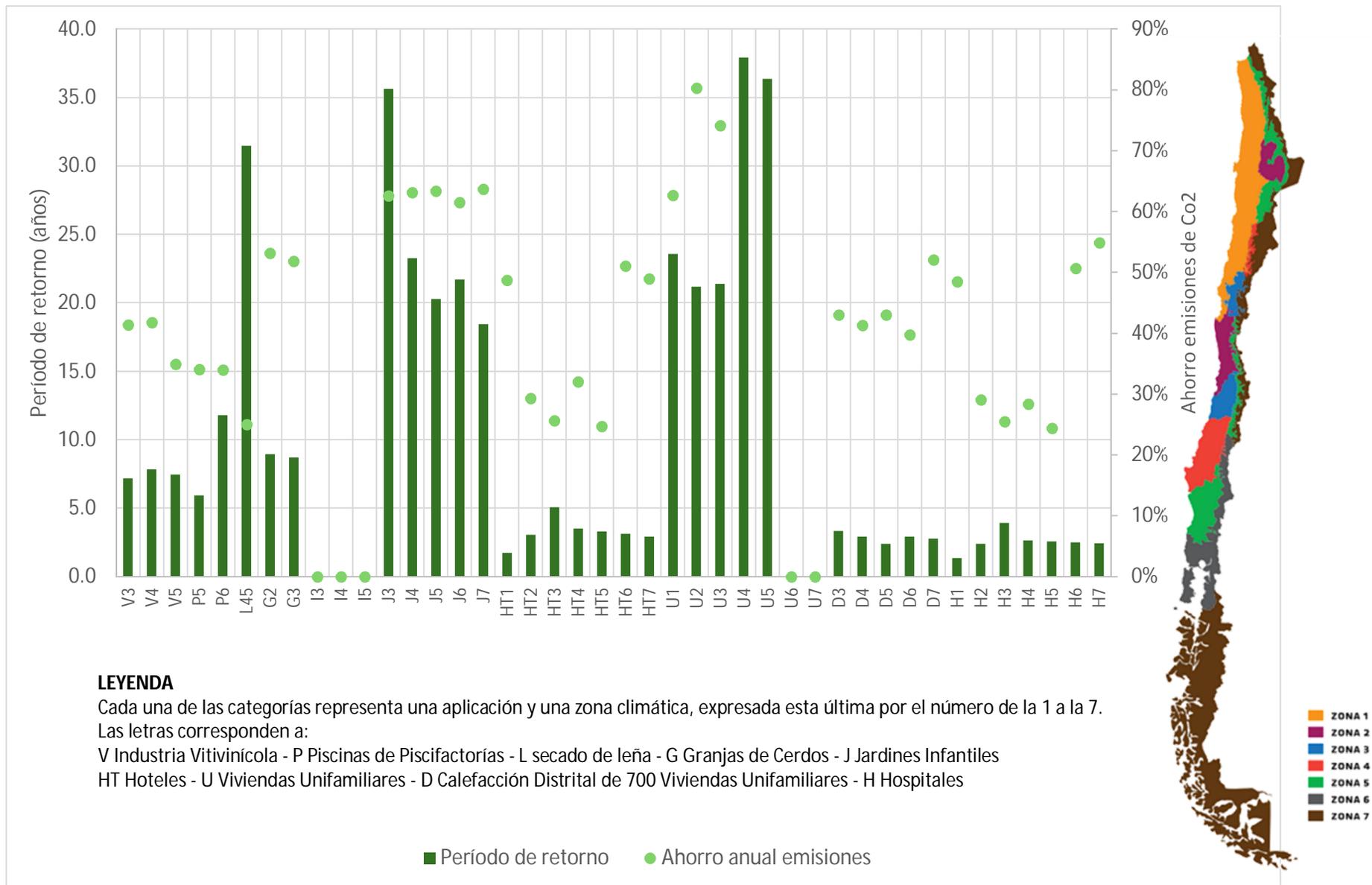


Figura 1. Principales indicadores (período de retorno y ahorro de emisiones) de los casos analizados



Tal como se puede observar, tan solo las viviendas unifamiliares, el secado de leña y un caso de piscifactoría presentan períodos de retorno superiores a los 10 años, identificándose importantes oportunidades, tanto en Vitivinícola, como en Calefacción Distrital, Hoteles y Hospitales. Hay que tomar en cuenta que estos resultados pueden alterarse ligeramente si se incorpora a las estructuras de costos los datos obtenidos en el catastro de proyectos que todavía está abierto a fecha de hoy, mas difícilmente cambiarán las tendencias que se muestran

## 1.5 LA INDUSTRIA NACIONAL

Se ha analizado la idoneidad de la industria en base a la caracterización y diagnóstico de la cadena de suministros necesaria para la instalación, puesta en marcha y operación de un sistema gshp. A continuación, se resume el análisis FODA de la industria nacional, elaborado en base a los datos, opiniones y análisis desarrollados en el marco del presente proyecto, con específico interés en la presencia de la cadena de valor en las distintas regiones.

### **Fortalezas**

- El total nacional detectado de empresas proveedoras de servicios es relativamente alto en relación a otros países.
- Existen proveedores de casi todos los tipos de servicios (venta de productos, servicio técnico, instalación, consultoría y perforación).
- Hay una alta multifuncionalidad detectada en los proveedores encuestados, lo que hace que el sistema sea más económico en términos de gestión y comunicación.

### **Debilidades**

- La mayoría de las empresas proveedoras se concentran en la región metropolitana, que posiblemente no sea la región con mayor potencial de explotación del recurso para usos industriales.
- La multifuncionalidad de los actores es posiblemente un indicador de la falta de especialización en las distintas partes de la cadena de valor, lo que podría significar insuficiencia en conocimientos técnicos para escenarios con elevados grados de complejidad.
- Aunque no se refleja en los resultados puesto que no fue un elemento estadístico levantado, no se detecta la presencia de ninguna entidad que esté encargada de potenciar y/o normar el uso de la energía geotérmica en Chile ni de las potenciales redes de proveedores, a excepción del Ministerio de Energía y CORFO.



## Oportunidades

- La cantidad de proveedores es un indicador de que existe un interés real por el tema. Luego, la cantidad de proyectos levantados podría ser indicador de que ese interés todavía no se materializa en proyectos. A través de las encuestas fue posible determinar de que un elevado número de proveedores, aún no realiza ningún tipo actividad
- El potencial descentralizado de operaciones industriales a lo largo del país puede ser explotado para potenciar la producción local y especializada de la tecnología.
- La presencia de empresas perforadoras en el norte puede significar una facilidad con respecto a la prospección y realización de pozos profundos para la explotación del recurso a nivel local.
- Dado que existe una cantidad de proveedores no menor (38), se puede aprovechar la infraestructura del mercado para potenciar la red de proveedores y acercarla al sector productivo mediante un agente intermediario que vele por los intereses de ambos sectores (proveedores y producción).

## Amenazas

- El desinterés local de los productores y el modelo económico centralizado puede dificultar el surgimiento de actores locales o la migración/extensión de los existentes a aquellos sectores en que existe más potencial.
- El aumento de costos asociados al centralismo de servicios podría ser un desincentivo para los productores locales de cada región.
- Debido a la falta de presencia de proveedores en regiones, los canales informativos locales de cada región podrían no llegar a conocer los beneficios de la tecnología para cada sector productivo.

## 1.6 EL MARCO LEGAL

Se ha analizado el marco jurídico o regulatorio aplicable a los proyectos de bombas de calor geotérmicas que se pretendan desarrollar en Chile, para aprovechar la energía geotérmica de baja entalpía, la que se puede calificar dentro del grupo de “energías renovables no convencionales”. En ese sentido, cabe señalar que la legislación nacional sobre la materia se focaliza en regular las energías convencionales, tales como petróleo, gas y electricidad, a través de una profusa legislación, que comprende leyes, reglamentos e incluso



normas técnicas<sup>2</sup>, cuya fiscalización y control corresponde a la Superintendencia de Electricidad y Combustibles (SEC)<sup>3</sup> y se ha detectado que en Chile, no existe un marco regulatorio para el uso de la “energía geotérmica” de baja entalpía, por lo que es necesario analizar la legislación general aplicable al sector energía<sup>4</sup>, que regula diversas fuentes como el petróleo<sup>5</sup>, gas<sup>6</sup>, electricidad<sup>7</sup>, energía nuclear<sup>8</sup> y las concesiones de energía geotérmica<sup>9</sup>.

Tampoco el Código de Aguas establece una regulación especial para este tipo de proyectos, a los que resultan aplicables las normas generales para la solicitud y otorgamiento de los derechos de aprovechamiento de aguas consuntivos<sup>10</sup> y no consuntivos<sup>11</sup>, contenidos en dicha preceptiva, con única excepción de lo contemplado en la Resolución Exenta N° 2176/2014, para todos los proyectos futuros de energía geotérmica que utilicen “bombas de calor”, en base a la solicitud de Parque Titanium SA, por lo que los valores que esta recoge fueron determinados en forma casuística, lo que representa una debilidad normativa, pues estos valores podrían variar para otros proyectos similares, pero que usen otras tecnologías o equipos.

Igualmente no ha menciones especiales en la legislación medioambiental.

---

<sup>2</sup> Para consultar dicha legislación, se puede visitar la página web del Ministerio de Energía de Chile, específicamente el siguiente link: <http://www.minenergia.cl/transparencia/marconormativo.html>

<sup>3</sup> De acuerdo con el artículo 2.° de la Ley 18.410 que crea la Superintendencia de Electricidad y Combustibles: “El objeto de la Superintendencia de Electricidad y Combustibles será fiscalizar y supervigilar el cumplimiento de las disposiciones legales y reglamentarias, y normas técnicas sobre generación, producción, almacenamiento, transporte y distribución de **combustibles líquidos, gas y electricidad**, para verificar que la calidad de los servicios que se presten a los usuarios sea la señalada en dichas disposiciones y normas técnicas, y que las antes citadas operaciones y el uso de los recursos energéticos no constituyan peligro para las personas o cosas”.

<sup>4</sup> Ver la Ley N° 18.410 que crea la Superintendencia de Electricidad y Combustibles.

<sup>5</sup> Ver el D.F.L. N° 1, de 1986, del Ministerio de Minería (y sus modificaciones) que fija texto refundido, coordinado y sistematizado de la ley N° 9.618, que crea la Empresa Nacional del Petróleo; y el D.F.L. N° 2, de 1986, del Ministerio de Minería (y sus modificaciones) que fija el texto refundido, coordinado y sistematizado del Decreto Ley N° 1.089, de 1975, que establece normas sobre contratos especiales de operación para la exploración y explotación o beneficio de yacimientos de hidrocarburos.

<sup>6</sup> Ver el D.F.L. N° 323, de 1931, del Ministerio del Interior (y sus modificaciones) “Ley de Servicios de Gas”.

<sup>7</sup> Ver D.F.L. N° 4/2.018, de 5 de febrero de 2007, que fija texto refundido, coordinado y sistematizado del Decreto con Fuerza de Ley N° 1, de Minería, de 1982, Ley General de Servicios Eléctricos, en materia de Energía Eléctrica.

<sup>8</sup> Ver la Ley N° 18.302 de Seguridad Nuclear.

<sup>9</sup> Ver la Ley N° 19.657 sobre Concesiones de Energía Geotérmica.

<sup>10</sup> El artículo 13 del Código de Aguas dice que: “Derecho de aprovechamiento consuntivo es aquel que faculta a su titular para consumir totalmente las aguas en cualquier actividad”.

<sup>11</sup> El artículo 14 del Código de Aguas dice que: “Derecho de aprovechamiento no consuntivo es aquel que permite emplear el agua sin consumirla y obliga a restituirla en la forma que lo determine el acto de adquisición o de constitución del derecho”.



## 1.7 CONCLUSIONES

### 1.7.1 DE LA TECNOLOGÍA

Según se ha podido observar a nivel de referencias y publicaciones internacionales, así como en base a la experiencia local y propia, podemos concluir que la geotermia, gracias a su conexión directa con la gran industria de las bombas de calor, es una tecnología madura y fiable, que presenta sus únicos riesgos en el dimensionado y ejecución de los elementos de conexión y disipación, no así en los elementos centrales, como la bomba de calor y el sistema de control, que llegan al mercado bien “empaquetados” técnicamente.

Por otra parte cabe destacar que la tecnología se encuentra todavía en un punto medio de su curva de experiencia y dispone de potencial tanto en lo que a reducción de costos como a mejora de rendimientos se refiere.

### 1.7.2 DEL MERCADO

A pesar que no se ha llevado a cabo un estudio de potencial de la tecnología que hubiera permitido evaluar el tamaño del mercado en base a la capacidad de penetración de la tecnología no tanto a nivel técnico como económico, los análisis llevados a cabo para casos tipo en las distintas zonas climáticas indican que existe potencial de rentabilidad en la industria vitivinícola, en piscifactorías, en granjas de cerdos, en Hoteles, en Redes de Distrito de calefacción y en Hospitales, con períodos de retorno respecto a soluciones convencionales que van desde menos de dos años para un Hospital en el norte, a los cerca de 10 de las piscifactorías.

Estos resultados indican que esta tecnología tiene un mercado potencial al que puede ofrecer soluciones competitivas en costo a medio plazo y por lo tanto, más allá de las ayudas que pueda requerir para su desarrollo como mercado y/o para superar las distintas barreras técnicas o sociales, la rentabilidad de los sistemas no es una barrera, lo que no significa que la dificultad para financiarlos sí que lo sea, dados los altos niveles de inversión y los períodos de retorno.

### 1.7.3 DE LA INDUSTRIA

Se ha constatado que existe una industria chilena de la geotermia con cierto tamaño (38 empresas), con cierta experiencia (al menos 29 proyectos implementados) en muy distintos sectores y para muy distintos tamaños, y que cubre toda la cadena de valor, exceptuando la fabricación de equipos que en todos los casos son de importación.



Aun así esta conclusión general no es aplicable a un análisis por regiones, pues sólo 5 regiones cuentan con todos los servicios requeridos para el desarrollo de un proyecto gshp y sólo dos de ellas tienen más de una empresa para ello, concentrando Santiago una gran parte de la industria y siendo este, el de la Región Metropolitana, el único mercado que podemos considerar completo y diverso y, por lo tanto, con visos de madurez y de ofrecer garantías a los posibles clientes.

#### 1.7.4 DEL MARCO LEGAL

Se concluye también que no existe una legislación específica que afecte a los sistemas gshp ni a los derechos asociados al uso térmico del subsuelo o no consumptivo de las aguas subterráneas, siendo lo existente tangencial o generado ad-hoc para salir adelante sobre casos reales que superaron el marco legislativo.

Además, el hecho de no haberse legislado, no solo genera inseguridad jurídica, si no que no promueve en manera alguna el desarrollo de proyectos y por lo tanto del mercado.

Se concluye con la necesidad de desarrollar una legislación adecuada y moderna que garantice los derechos de las partes y a su vez facilite el desarrollo de los proyectos y el mercado.

#### 1.7.5 DE LOS MECANISMOS DE PROMOCIÓN

A día de hoy no existe mecanismo alguno de promoción de esta tecnología, más allá de líneas de subvenciones genéricas para la implementación de ERNC o medidas de eficiencia energética en ciertos sectores como por ejemplo la industria.

El hecho que pese a la viabilidad económica de estos sistemas en algunos sectores y regiones, la tecnología no se esté desarrollando a mejor ritmo, indica que existen barreras de otro tipo que requieren nuevos mecanismos.

### 1.8 RECOMENDACIONES

En base a lo analizado y a las conclusiones anteriores, se elaboran las siguientes propuestas de actuación:

#### **A nivel normativo y legislativo:**



- a) Establecer un régimen de exclusión de las disposiciones de la Ley N° 19.657 sobre Concesiones Geotérmicas, estableciendo la libre apropiabilidad o uso de la energía geotérmica, pequeñas aplicaciones de bajo impacto en propiedad privada para usos indirectos, esto es no con acuífero
- b) Modificar el Código de Aguas, para regular el uso de las mismas como foco térmico, facilitando su autorización en casos de bajo impacto y regulando el impacto ambiental en general
- c) Modificar la Resolución Exenta N° 2176/2014, de modo tal que las unidades de medición y los valores que se establecen en ella, correspondan a estándares técnicos científica e internacionalmente validados.

#### **A nivel de mecanismos de apoyo:**

- d) Incentivar la intervención de ESCOs como intermediarios entre las necesidades energéticas del mercado y la capacidad de financiamiento a medio plazo, evitando que las prioridades de inversión de los clientes frenen el desarrollo de proyectos rentables.
- e) Facilitar a dichas ESCOs mecanismos financieros que les permitan acometer los proyectos sin necesidad de fondos propios, incluyendo subvenciones, créditos blandos y avales públicos.
- f) Subvencionar los estudios de caso para la elaboración de las ofertas

#### **A nivel de desarrollo de mercado**

- g) Dar a conocer las ventajas de la tecnología entre los clientes potenciales con campañas institucionales y seminarios con colaboración del sector

#### **A nivel de desarrollo de la industria**

- h) Promover la creación de mecanismos de capacitación y transferencia tecnológica
- i) Promover, mediante campañas y ayudas, la incorporación de nuevas empresas a la cadena de suministros, especialmente en regiones fuera de la RM, con potencial pero sin un desarrollo real..



ESTADO DE DESARROLLO DE PROYECTOS DE BOMBAS DE CALOR  
GEOTÉRMICAS INSTALADOS EN CHILE

# INFORME FINAL



## 2 CONTEXTO Y PLANTEAMIENTO

---

El aprovechamiento del calor contenido en la tierra es una costumbre ancestral que se ha ido perfeccionando a medida que ha evolucionado la tecnología y que se revolucionó con la introducción de la bomba de calor, con la cual, tal como su nombre indica, se hizo posible extraer energía de fuentes con niveles térmicos inferiores al nivel térmico de la demanda a cubrir.

La tierra brinda fuentes de calor de distinto nivel térmico, típicamente a distintas profundidades y en distintos formatos que van desde el calor más superficial, afectado de fenómenos estacionales y cercano a la temperatura media del lugar, hasta el vapor de alta temperatura.

El presente trabajo tiene su foco en el uso de bombas de calor para el aprovechamiento térmico del subsuelo, lo que quiere decir que sólo contempla fuentes de calor con niveles térmicos inferiores a las principales demandas de calor asociadas a la actividad humana, esencialmente climatización, calentamiento de agua y procesos industriales. El uso directo de calor, típicamente asociado a surgentes geotérmicos, aunque sean de baja temperatura, está fuera de nuestro foco de interés.<sup>12</sup>

Estamos hablando principalmente pues de sistemas de aprovechamiento de calor superficial mediante intercambiadores de perforaciones (BHE – Borehole Heat Exanger), intercambiadores horizontales (HGC - Horizontal Ground Collectors) o pozos de agua. Los dos primeros dentro de la categoría de los sistemas de lazo cerrado y el último en la categoría de lazo abierto, con muy distintas problemáticas técnicas y legales, así como con niveles de inversión también bastante dispares.

En definitiva, el estudio se centra en una aplicación tecnológica, que más allá de sus variaciones, comparte, a través del uso central de la bomba de calor, una característica que representa el principal factor diferencial con casi todo el resto de formas de aprovechamiento de la energía geotérmica y que ha sido la responsable de disparar exponencialmente el uso de la energía geotérmica a nivel mundial: el aprovechamiento de un recurso que está accesible en prácticamente cualquier parte, contrariamente a lo que sucede con el aprovechamiento directo, sea de baja, media o alta entalpia, en los que

---

<sup>12</sup> La clasificación de niveles térmicos de las fuentes geotérmicas se puede ver en 13.1.2.1. Por nivel térmico.



requerimos disponer de recurso geotérmico líquido o vapor en el mismo lugar en el que disponemos de la demanda a cubrir. Claro está, estamos hablando de aprovechamiento térmico, no eléctrico, la naturaleza de la cual, permite transportar la energía con rendimientos aceptables.

Otro aspecto a tener en cuenta asociado al par tecnológico foco del trabajo (bomba de calor + pozo) es la producción de frío útil. Cabe destacar que producir frío útil mediante una bomba de calor acoplada al suelo o al agua subterránea, no se puede considerar de ninguna manera aprovechamiento geotérmico, si acaso lo contrario, pues calentamos el suelo en el proceso, transmitiendo calor del ambiente o del proceso a refrigerar al suelo. A esto debemos añadir otra singularidad: así como es muy difícil encontrar un aprovechamiento de calor útil por debajo del nivel térmico del suelo que pueda ser servido directamente, no así podemos encontrar muchos procesos que requieren del aporte de frío útil a niveles térmicos muy cercanos a la temperatura del suelo, como sería la climatización en zonas con demandas moderadas de refrigeración.

Así las cosas, aquello que define nuestra tecnología en lo que a aprovechamiento del calor se refiere, lo cumplimos inversamente en lo que a aprovechamiento de frío, como si de un balance energético se tratara: aprovechamiento geotérmico exclusivamente mediante bomba de calor para producción de calor y trabajo anti-geotérmico con o sin bomba de calor para producción de frío.

Finalmente, para acotar y facilitar la comprensión, concluir que estamos hablando del aprovechamiento térmico de la energía del suelo mediante bomba de calor, a lo que a lo largo del presente estudio llamaremos por las siglas GSHP, del inglés Ground Source Heat Pump.



### 3 LA TECNOLOGÍA GSHP

La GSHP es una tecnología renovable y madura, con una historia de más de 30 años a lo largo de la cual ha recorrido una curva de experiencia más acelerada de lo que cabría esperar a un mercado no masivo, gracias al hecho de compartir gran parte de la tecnología con un mercado gigante y globalizado como son los sistemas HVAC<sup>13</sup> en general y en concreto las bombas de calor y enfriadoras eléctricas en general, lo que le ha permitido grandes avances tecnológicos sin apenas inversión específica.

En lo referente a las perforaciones, sí que se han hecho avances específicos, dado que es una tecnología específica para estos usos, y, de hecho, es donde los expertos indican que el sector debe invertir más en I+D, para conseguir reducir en la medida de lo posible la resistencia térmica de los pozos en lazo cerrado (boreholes). Gracias a los avances tecnológicos, ésta se ha reducido un 40% en los últimos 10 años, aumentando la llamada eficiencia de Hellström de menos de un 60% a un 75%. La comunidad científica aspira a llegar al 80% para 2020.<sup>[3]</sup>

Esta mejora, combinada con la mejora continua del rendimiento de las bombas de calor antes comentada, ha conseguido que en estos 30 años el COP<sup>14</sup> estacional de los sistemas GSHP haya pasado de menos de un 3 a más de un 4, proyectándose a un 5 sobre 2020<sup>[3]</sup>

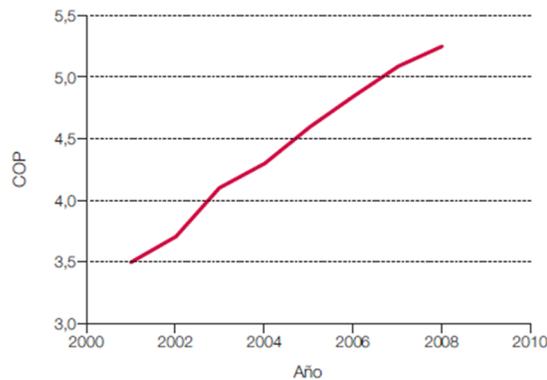


Figura 2. Evolución genérica de los COP hasta 2008<sup>[5]</sup>

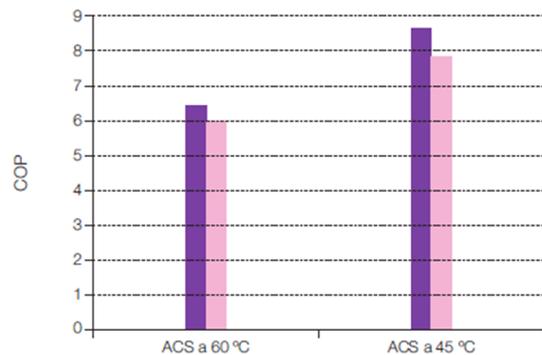


Figura 3. Comparativa COP proyectado con límite de Carnot<sup>[5]</sup>

<sup>13</sup> Sistemas de calefacción, ventilación y acondicionamiento de aire por sus siglas en inglés

<sup>14</sup> COP: Coefficient of Performance, rendimiento de la bomba de calor.



La Figura 3 muestra la proyección tecnológica de los sistemas de generación de ACS mediante bombas de calor para distintos niveles térmicos, referenciando el máximo alcanzable con el máximo rendimiento teórico del ciclo de Carnot, que supone el límite termodinámico.

Hay que destacar de los sistemas GSHP su escalabilidad. Esta tecnología permite su aplicación desde sistemas domésticos de pocos kWt hasta grandes sistemas del orden del MWt. A pesar de ser mucho más competitiva en grandes tamaños, hay que destacar que la industria ha desarrollado soluciones para todos los tamaños y mercados, tanto en lo que se refiere a la bomba de calor como a los intercambiadores con la tierra.

Con respecto a los intercambiadores, debemos tener presentes las principales tecnologías, pues estas condicionan en gran medida la propia definición del sistema. Son los siguientes:

- Sistemas de Lazo Cerrado
  - Perforaciones (BHE)
  - Intercambiadores horizontales (HGC)
  - Activación térmica de fundaciones
  - Pozos de expansión directa
- Sistemas de lazo abierto
  - Pozos de agua
  - Agua de túneles y minas

A modo de referenciación de nomenclatura internacional, cabe destacar que ASHRAE ha adoptado las siguientes nomenclaturas y siglas<sup>[6]</sup>:

- **GCHP**. Ground-Coupled Heat Pumps: Bomba de calor acoplada al suelo
- **GHX**. Vertical or horizontal Ground Heat eXchangers: Intercambiadores con el suelo, vertical u horizontales
- **GWHP**. Groundwater Heat Pumps: Bombas de calor acopladas a aguas subterráneas
- **SWHP**. Surface Water Heat Pumps: Bombas de calor acopladas a aguas superficiales
- **GFHP**. Ground Frost Heat Pump: Bombas de calor acopladas a suelos helados

Hay que mencionar que las perforaciones en lazo cerrado representan el estándar de la industria a nivel mundial, existiendo también un importante número de sistemas de tamaño doméstico que ocupan los intercambiadores horizontales. La activación de fundaciones es una solución muy minoritaria pero muy interesante en el caso de



climatización de edificios de nueva construcción. Los pozos de expansión directa son todavía una tecnología en desarrollo. Los sistemas en lazo abierto presentan la ventaja de tener costos substancialmente menores, pero presentan un impacto real sobre el ambiente y los ecosistemas acuáticos subterráneos que debe ser controlado y legislado, lo que hace que en muchos países sea difícil obtener permisos de uso o que las restricciones que presentan a nivel de salto térmico y caudal resten interés a esta opción.

Finalmente no podemos olvidar otra característica capital de estos sistemas: su reversibilidad, esto es, su capacidad de producir calor y frío, no sólo en épocas distintas, sino en el mismo momento, transfiriendo energía de la demanda de frío a la demanda de calor en una sinergia sin parangón, que permite elevar los niveles de eficiencia global hasta cotas literalmente imposibles para cualquier otro sistema que no incluya una bomba de calor. Estos sistemas, siempre y cuando estén bien concebidos, diseñados y adecuados a la demanda a la que se enfrentan, tienen la capacidad de balancear ambas demandas y entregar/robar a los pozos sólo la energía diferencial, lo que no sólo puede reducir el requerimiento de pozos, sino que permite trabajar en el punto óptimo del ciclo en todo momento.

El último aspecto a destacar de la tecnología hace referencia a la proyección de la misma. Hemos visto que los expertos apuntan a una mejora substancial de rendimientos hasta 2020, gracias a la mejora de las bombas de calor (ver Figura 2 y Figura 3) y de los intercambiadores con el terreno, pero existen otras líneas de trabajo que podrían hacer mejorar substancialmente los resultados globales, centradas en la hibridación de tecnologías.

La hibridación de la GSHP con energía solar térmica destinada a regenerar el suelo en verano para optimizar la densidad del campo de pozos y mejorar el COP de las bombas de calor, es un campo en el que muchas empresas han desarrollado productos y sistemas al amparo de la Task44 del Solar Heating and Cooling Program de la Agencia Internacional de Energía, con resultados prometedores especialmente para aplicaciones en climas muy severos. La hibridación con pequeños quemadores de gas, permite dimensionar sistemas con niveles de inversión mucho menores y factores de capacidad mucho mayores, con la consiguiente mejora de la rentabilidad de los sistemas.

La hibridación con fotovoltaica, especialmente en sistemas reversibles con producción de frío en verano, permite elevar los SPF hasta niveles cuasi máximos, consiguiendo sistemas cuasi renovables en balance neto y haciendo viable el concepto de NZEB (Edificio de Energía Cuasi Nula)



Finalmente, la integración con BEMS/BEPS (Sistemas de gestión y control de edificios) con algoritmos avanzados de integración de demanda y producción, permiten aprovechar mucho más los recursos y el aprovechamiento de la energía generada, mejorando de facto el rendimiento global del sistema-demanda.

En el Anexo 1 se describen los aspectos técnicos de interés de la tecnología GSHP.



## 4 LAS GSHP EN EL MUNDO Y EN CHILE

### 4.1 APROXIMACIÓN BIBLIOGRAFICA

La principal prueba de que la GSHP es una tecnología madura es su crecimiento de mercado a nivel mundial y el contexto en que lo ha hecho: sin apenas apoyos, en un mercado cuasi libre. Así como tecnologías como las renovables eléctricas tuvieron sus “feed-in tariff” o la energía solar térmica tuvo sus fuertes líneas de apoyo (véase la FT en Chile) o su obligatoriedad (CTE Español), la geotermia tuvo que demostrar que era una renovable como tal y no una medida de eficiencia energética y quedó en el cajón de las otras renovables, como la biomasa, especialmente en Europa.

Tal como se puede ver en la Figura 4, el crecimiento hasta 2015 ha sido exponencial y no presenta tintes de cambiar, dado que los mercados más maduros, cercanos a la saturación, son mercados pequeños, mientras que se siguen abriendo mercados vírgenes, como el Chileno, con gran potencial de crecimiento.

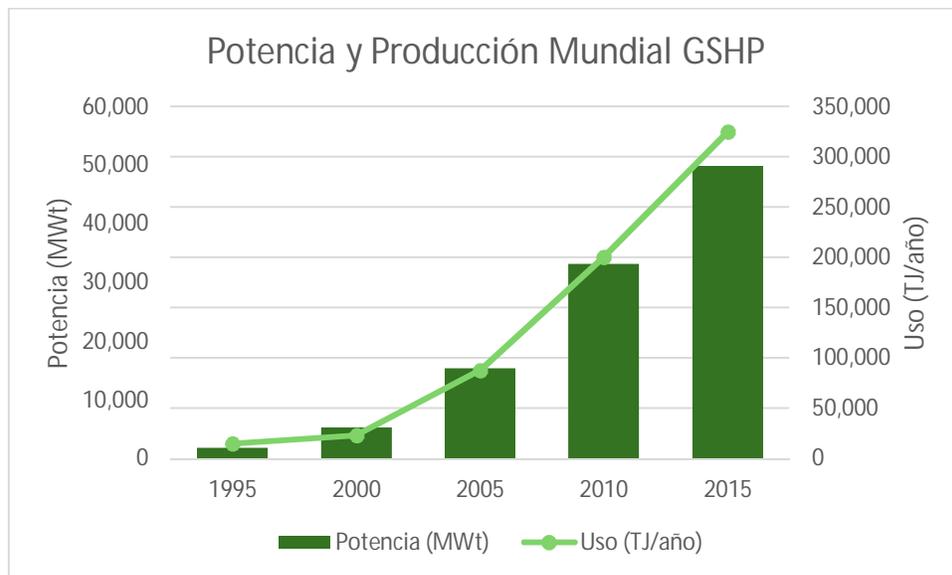


Figura 4. Evolución de la potencia y la producción de energía térmica con GSHP en el mundo [1]

Los datos de los que disponemos para analizar dónde se ha dado este crecimiento y cuáles son los principales mercados, mezclan los datos de sistemas GSHP con sistemas de uso directo, pero si analizamos los números de 2015, vemos que el uso directo sólo representa un 29% del total, siendo el resto, 71%, GSHP, como se puede ver en la Figura 5.

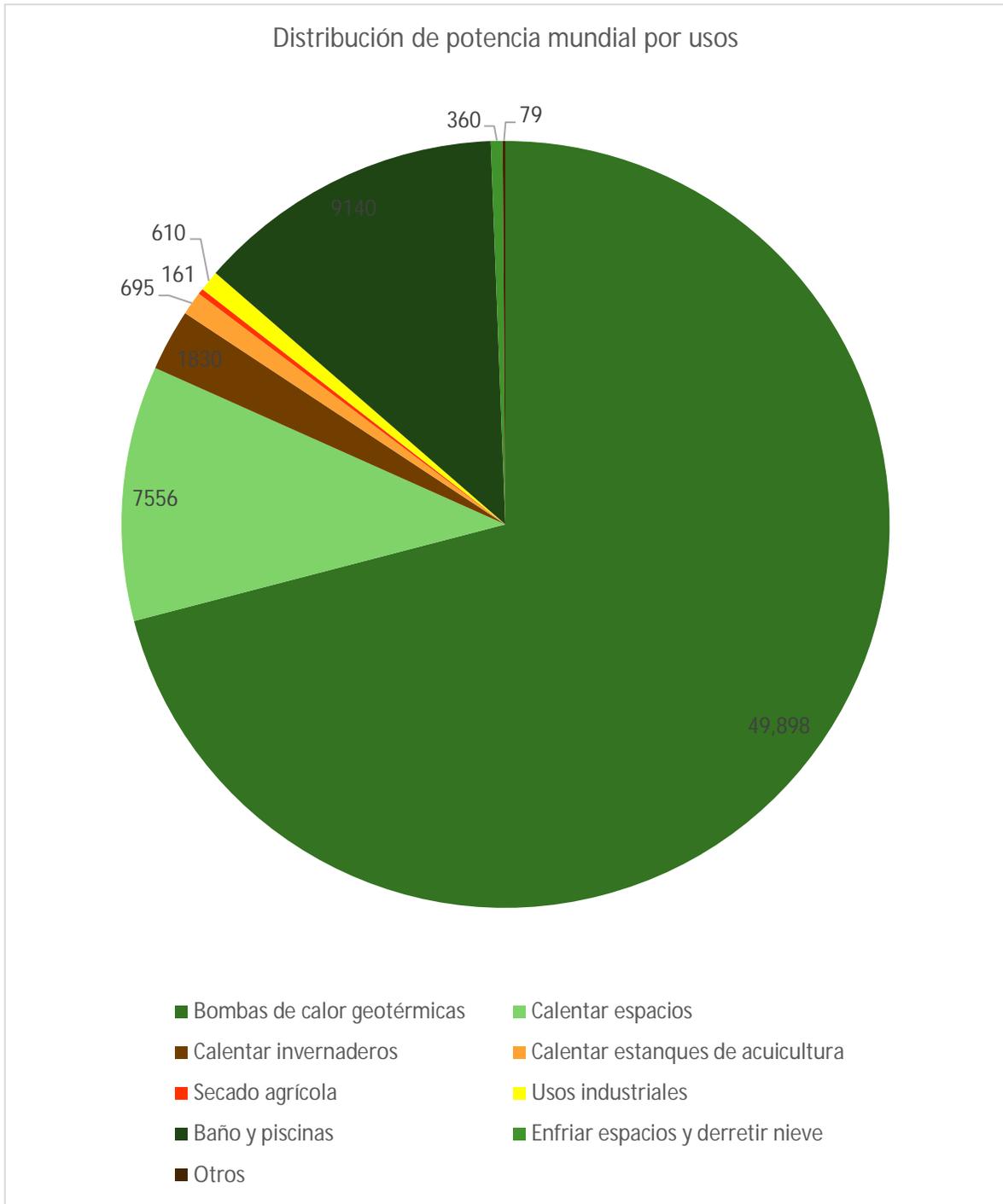


Figura 5. Distribución de la potencia mundial entre GSHP y otros usos directos [1]



Asumiendo la desviación que este 29% pueda generar en los números globales, nos remitimos a la Figura 7, en la que podemos ver la distribución mundial de potencia, con China y Estados Unidos con un 25% cada uno, otro 25% entre Suecia, Turquía, Alemania, Francia, Japón e Islandia, y otro 25% el resto del mundo.

Si referenciamos a la población, vemos que a la cabeza quedan países bien pequeños como Islandia, Suecia, Finlandia, Noruega y Suiza, en la mayoría de los cuales, curiosamente hay recursos geotérmicos de alta entalpía, lo que hace pensar que pudieran acumular mucha potencia de uso directo, aunque no tenemos datos para corroborar esta hipótesis.



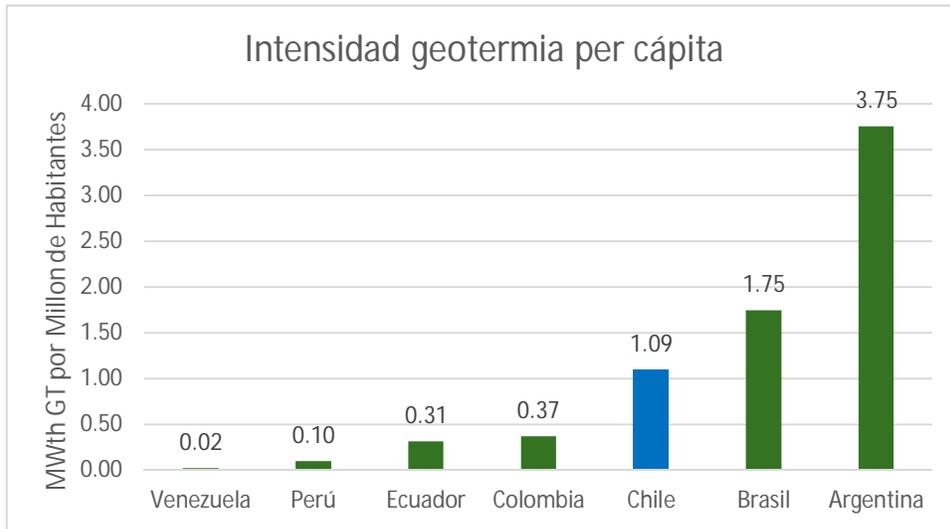
Figura 6. Intensidad geotérmica per cápita para los países con mayor potencia instalada [1]



**Figura 7. Distribución mundial de la potencia geotérmica de baja entalpía instalada a 2015 (incluye un 29% de uso directo). Ver Tabla 48 [1].**

Chile cuenta aproximadamente con  $1,1\text{MWth/MHab}^{15}$  de geotermia, entre uso directo y GSHP, instalándose los primeros de estos sistemas en 1996, según queda reportado en el Informe Mundial de uso de Geotermia [1], que indica que 51 sistemas fueron instalados ese año en distintos puntos del sur. De éstos, el 70% usaron perforaciones de lazo cerrado y el resto agua de pozo en lazo abierto.

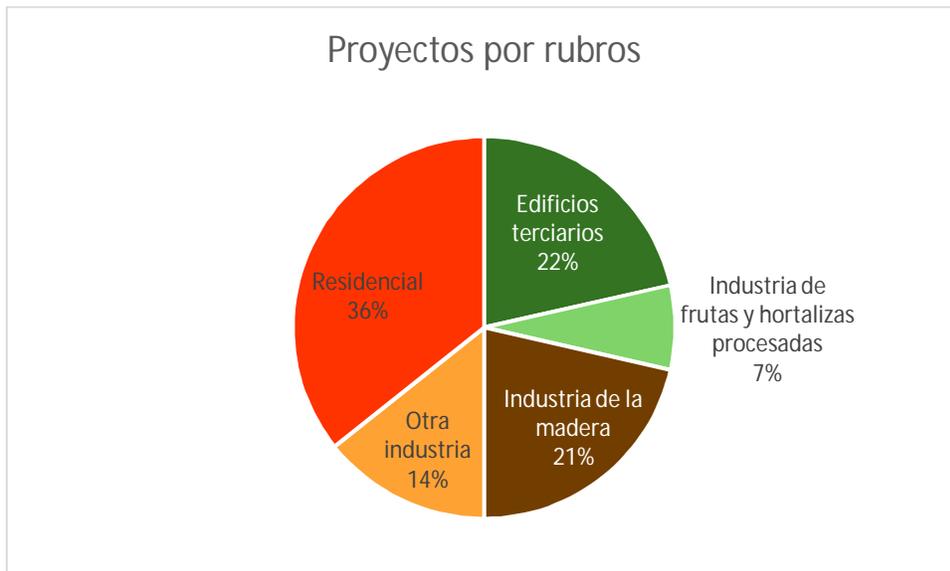
<sup>15</sup> MWth por millón de habitantes



**Figura 8. Intensidad geotérmica per cápita para los países de Sudamérica con registro de potencia [1]**

A día de hoy Chile cuenta con 8,6MWth de sistemas GSHP, el 83% de los cuales en sector servicios, industrias y edificios públicos, y únicamente el 17% en residencial. Existen también 11,3MWth más de sistemas de uso directo.

Estos datos concuerdan bastante con lo levantado en las encuestas hasta hoy, con 6,9MWth identificados en 29 proyectos con uso de bomba de calor, con el residencial como primera categoría de uso como se muestra en la Figura 9.



**Figura 9. Distribución de proyectos identificados en el marco de presente proyecto por rubros**



La Figura 10 corresponde a la contextualización latinoamericana de la capacidad termal instalada. La gráfica está ordenada de mayor a menor según el informe del año 2015. Chile se encuentra en la 4º posición.

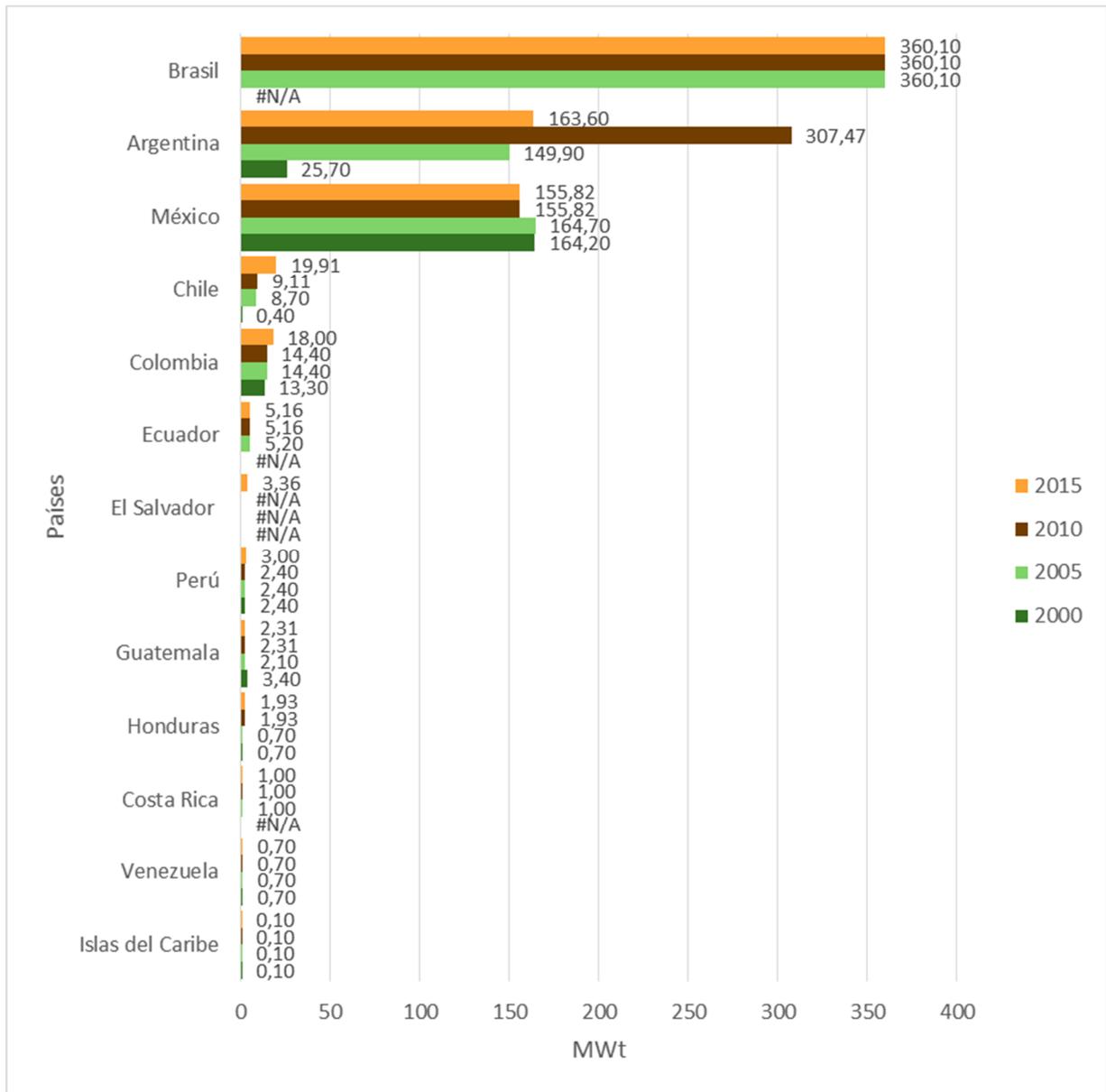


Figura 10. Distribución Latinoamericana de la potencia geotérmica de baja entalpía instalada



## 4.2 APROXIMACIÓN A LA INDUSTRIA CHILENA

Para comprender el estado de desarrollo de la industria y la tecnología en Chile, se ha procedido al rastreo e identificación de empresas y proyectos, en base a lo cual se ha desarrollado posteriormente la caracterización y análisis de la cadena de valor.

A modo de resumen, podemos decir que se han identificado 38 empresas que declaran prestar uno o varios servicios asociados a esta tecnología distribuidos de forma muy poco uniforme en la geografía del país.

**Tabla 4.1 Empresas nacionales de distribución de bombas de calor. Fuente: Elaboración propia**

#	Empresa	Venta	Servicio Técnico	Consultoría	Instalación	Perforación	Ciudad	N°
1	Complex	-	-	X	X	-	Santiago	RM
2	Geoestudios	-	-	X	-	-	Santiago	RM
3	Terraignota	-	-	X	-	-	Santiago	RM
4	Perfomarq	X	X	-	X	X	Osorno	X
5	Aiguasol	-	-	X	-	-	Santiago	RM
6	Antusolar	X	X	X	-	-	Santiago	RM
7	CEGA	-	-	X	-	-	Santiago	RM
8	Climatiza	X	X	X	X	X	Talca	VIII
9	ECM Ingeniería	X	X	X	X	X	Santiago	RM
10	Enalteco	X	X	X	X	X	Concepción	VIII
11	Enativa	X	X	X	X	-	Santiago	RM
12	Energy-Tracking	-	-	X	X	-	Santiago	RM
13	Geomarket	X	X	X	X	X	Santiago	RM
14	GTN LA	-	X	X	-	X	Santiago	RM
15	Improve	-	-	X	X	X	Concepción	VIII
16	Midea Carrier	X	X	X	-	-	Santiago	RM
17	Natclima	X	X	X	X	-	Santiago	RM
18	Nueva Energía	X	X	-	-	-	Santiago	RM
19	Oden	X	X	X	X	X	Santiago	RM
20	Poch	-	-	X	-	-	Santiago	RM
21	RGS Energía	X	X	X	X	X	Ovalle	IV
22	Roda Energia	-	-	X	-	-	Santiago	RM
23	Servilandminergy	-	-	-	-	-	Santiago	RM
24	Solar del Valle	X	X	X	X	-	Santiago	RM
25	Voher	X	X	X	X	X	Villa Alemana	V
26	EE Chile	-	-	X	-	-	Valdivia	XIV



#	Empresa	Venta	Servicio Técnico	Consultoría	Instalación	Perforación	Ciudad	N°
27	ANWO	X	X	X	X	X	Santiago	RM
28	Farenhouse	-	-	-	-	-	Santiago	RM
29	Ferrosur	-	-	-	X	-	Temuco	IX
30	Geo-operaciones	-	-	-	-	-	Copiapó	III
31	Geotec	-	-	-	-	-	Santiago	RM
32	Ghm consultores	-	-	X	-	-	Santiago	RM
33	Hildebrant	-	-	-	-	-	Santiago	RM
34	Isener	-	-	-	-	-	Santiago	RM
35	Kaltemp	-	-	-	-	-	Santiago	RM
36	Bosch	-	-	-	-	-	Santiago	RM
37	Chilectra	-	-	-	-	-	Santiago	RM
38	Rehau	-	-	-	-	-	Santiago	RM

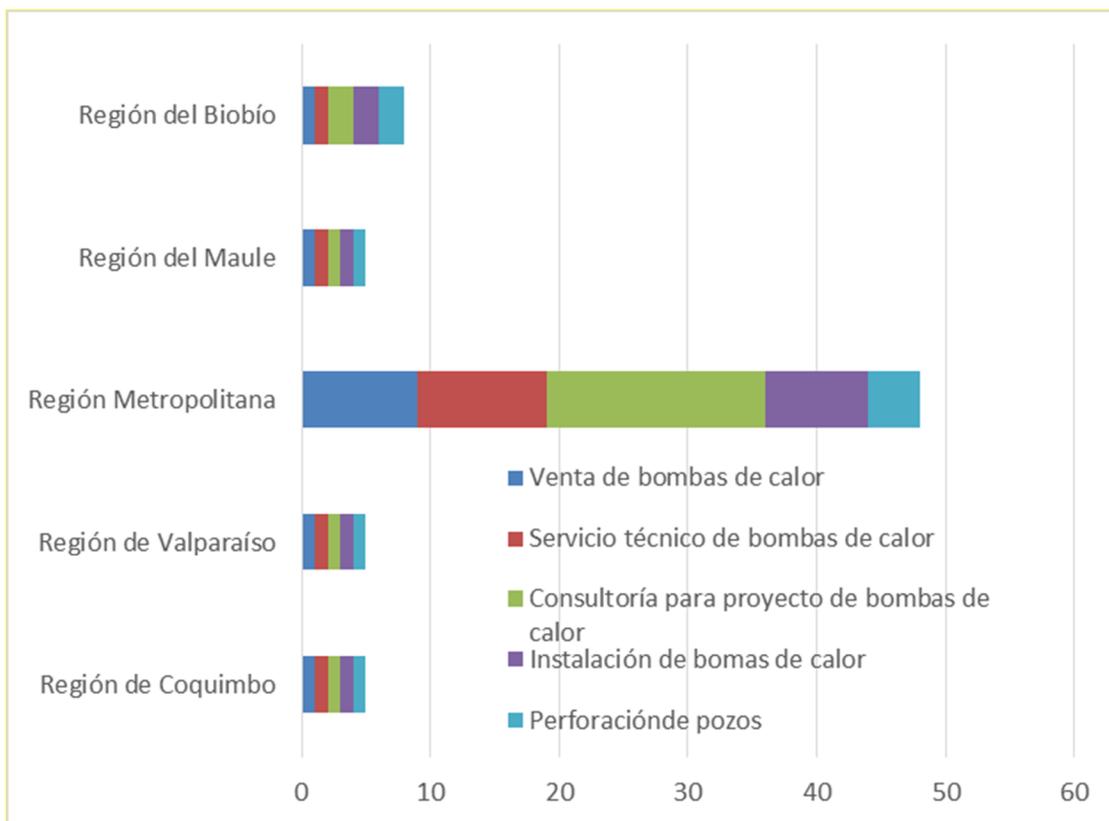


Ilustración 1. Distribución de servicios por Regiones

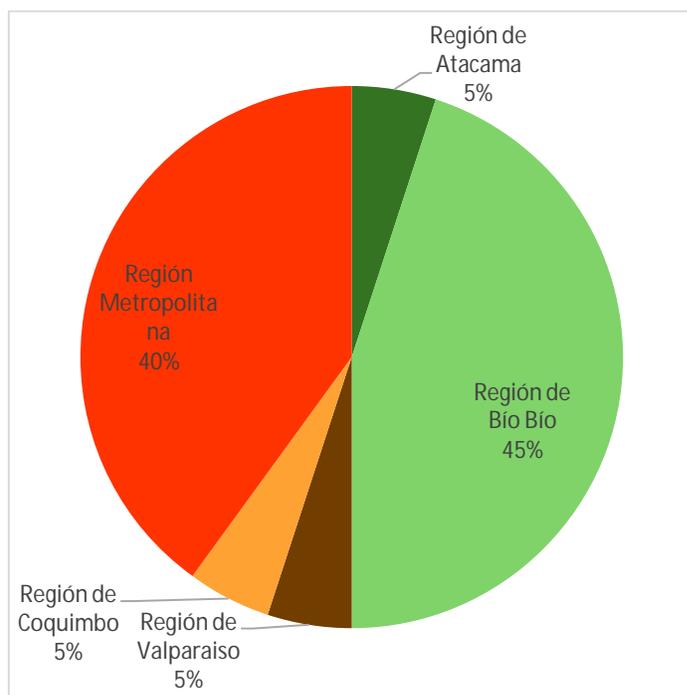


### 4.3 IDENTIFICACIÓN DE PROYECTOS EN CHILE

La encuesta realizada en el sector, ha permitido identificar 29 proyectos distribuidos en 5 regiones. La falta de datos de muchos de ellos no permite hacer un análisis tan sólido como sería deseable, pero se pueden identificar algunas tendencias.

Un primer aspecto a comentar se refiere a la distribución geográfica de los sistemas identificados, que debiera ser indicativo de la distribución del parque de instalaciones existente: la Región Metropolitana y el Bío Bío, lideran de forma muy destacada el número de proyectos, concentrando respectivamente un 40% y un 45% de los sistemas identificados.

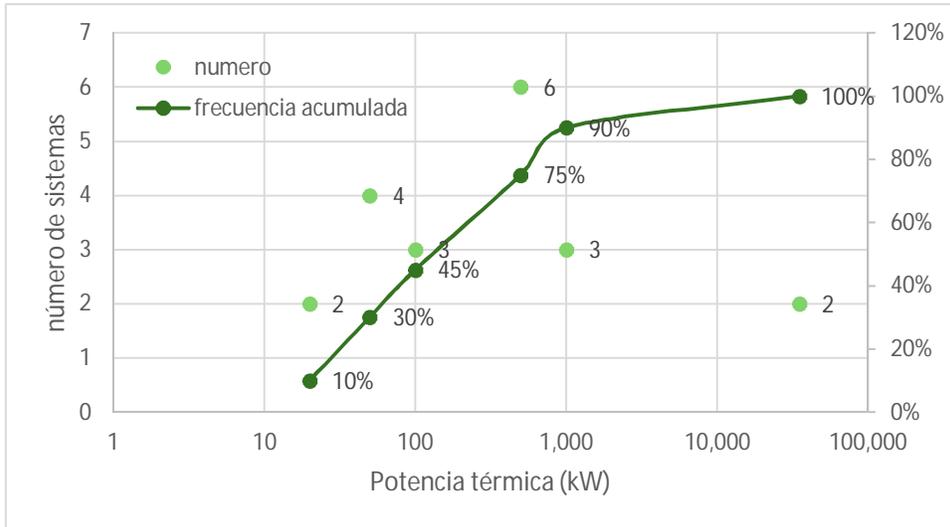
**Ilustración 2. Distribución geográfica de los sistemas por Región**



Con respecto al tamaño de los sistemas, se observa que una tendencia a los sistemas de tamaño mediano pequeño, con un 45% de los sistemas por debajo de los 100kWt y un 90% por debajo de los 1.000kWt. Aun así cabe destacar que el mayor número de instalaciones se encuentra entre 100kWt y 500kWt.



Ilustración 3. Distribución de tamaños de los sistemas



Otro aspecto interesante a destacar de los datos recogidos es que el 80% de los sistemas declaran tener sistemas de disipación horizontal, aunque la mayoría de ellos, como hemos visto, tienen potencias del orden del centenar de kW, lo que nos lleva a dudar en extremo de estos datos referentes a la disipación.



**Tabla 2. Resumen de parámetros principales de instalaciones identificadas en el marco del estudio**

Empresa	Nombre Proyecto	Rubro de la empresa de la Instalación	Inversión estimada (MMCLP)	Potencia Térmica (kW)	Inversión específica (MCLP/kWt)	Ubicación	COP Bomba de calor	Tipo de campo captador	Tipo de suelo	N° de Pozos	Profundidad (m)
Rgs Energía	Observatorio las campanas	Otra industria	93	275	0,34	Observatorio las campanas	5,5	Horizontal	Rocas básicas (basaltos)		
Rgs Energía	Edificio Costa mar	Otra industria	83	198	0,42	Azotea Edificio Costa Mar - La Herradura, Coquimbo	4,5	Horizontal	Gravas y arenas con gran circulación de agua		
Improve Ltda.	Hospital el Salvador	Otra industria	Sin determinar	4.000.000		Avda. El Salvador - Santiago, Chile	4	Vertical	Gravas y arenas saturadas de agua		
Improve Ltda.	Edificio Ezzatti	Otra industria	50	30	1,67	Edificio Ezzatti, Alonso de Ribera 2850, Campus San Andrés Universidad Católica de la Santísima Concepción - Concepción	2	Horizontal	Arcilla y margas húmedas		
Improve Ltda.	Secador Geotérmico	Industria de la madera	20	16	1,25	Santa Juana - Octava región, Chile	4	Horizontal	Gravas y arenas secas		
Enalteco	Hogar hermanita de los pobres	Otra industria	130	400	0,33	Manuel Rodríguez - Concepción	4	Horizontal	Areniscas		
Enalteco	Hotel Quelen	Otra industria	30	200	0,15	Lago Lanalhue - Cañete	5	Horizontal	Gravas y arenas saturadas de agua		
Enalteco	Viveros bosques Arauco	Industria de la madera	45	45	1,00	Viveros Laraquete - Octava región	4,5	Horizontal	Gravas y arenas saturadas de agua		
Enalteco	Particular	Otra industria	7	25	0,28	Chillán	5	Horizontal	Rocas básicas (basaltos)		
Enalteco	Piscina temperada	Otra industria	7	32	0,22	Chiguayante - Octava región	4	Horizontal	Gravas y arenas con gran circulación de agua		
Enalteco	Particular 2	Otra industria	8	20	0,40	Lomas San Sebastián - Concepción	4	Horizontal	Gravas y arenas con gran circulación de agua		
Enativa	Unifrutti San	Otra industria	20	70	0,29	Michimalongo 220 - San Felipe	3,5	Horizontal		1	5m



Empresa	Nombre Proyecto	Rubro de la empresa de la Instalación	Inversión estimada (MMCLP)	Potencia Térmica (kW)	Inversión específica (MCLP/kWt)	Ubicación	COP Bomba de calor	Tipo de campo captador	Tipo de suelo	N° de Pozos	Profundidad (m)
	Felipe										
Enativa	Invernadero FIA Lampa	Industria de frutas y hortalizas procesadas	18	165	0,11	Camino Lampa 3200	3,3	Horizontal		1	50m
Enativa	Casa familia Silva	Otra industria	14	612	0,02	Condominio Las Canteras sitio 9 - Colina	34	Horizontal	Calizas y dolomías masivas	12	2m
Enativa	Casa familia Salazar	Otra industria	15	576	0,03	Condominio Polo de Chicureo II, sitio 46	36	Horizontal		14	2m
Voher	Geoterminia condominio Las Tortolas	Otra industria	15	55	0,27	Camino Santa Rita, Condominio Las Tortolas - Pirque, Santiago	4,6	Horizontal	Otro		
Voher	Forestal Arauco Vivero Horcones	Industria de la madera	200	3.220	0,06	Laraquete, ruta 160, Horcones: Al interior del complejo forestal Industrial Horcones	4,6	Vertical	Otro		
ECM S.A.	Casas La Reina	Otra industria		670		La Reina - Santiago	3,1	Vertical	Gravas y arenas saturadas de agua	30	100m
ECM S.A.	Centro Logístico	Otra industria	75	233	0,32	San Miguel - Santiago	3,1	Vertical	Gravas y arenas secas	10	100m
Geomarket SpA	Arauco: Horcones	Industria de pastas de madera, papel y cartón	450	31.500	0,01	Los Horcones s/n - Arauco, Región del Bio Bio	4,5	Horizontal	Gravas y arenas saturadas de agua		
ODEN	Casas Habitacionales Los Angeles, Colina	Habitacional		57			4,1	Horizontal	Gravas y arenas secas		
EE Chile	Condominio de los Rios Low	Habitacional				Piedra Roja - Santiago				2	1,5 metros
EE Chile	Edificio cumbres del	Habitacional				Temuco					



Empresa	Nombre Proyecto	Rubro de la empresa de la Instalación	Inversión estimada (MMCLP)	Potencia Térmica (kW)	Inversión específica (MCLP/kWt)	Ubicación	COP Bomba de calor	Tipo de campo captador	Tipo de suelo	N° de Pozos	Profundidad (m)
	Sur										
EE Chile	Jardín del Canto	Habitacional				Barrio privado Chamisero					
EE Chile	Centro Integral del Adulto Mayor	Industria de frutas y hortalizas procesadas				Viña del Mar					
EE Chile	Centro Integral del Adulto Mayor					Maipú					
Ferrosur	<b>Hotel Playa Grande Suites</b>					Pucón					
CEGA	Viña Maquis	Vitivinicultura				Palmilla, Valle de Colchagua					
Sencorp	Parque Titanium					Vitacura					



## 4.4 APROXIMACIÓN A LOS COSTOS Y LA COMPETITIVIDAD DE LAS GSHP

Las distintas fuentes internacionales consultadas arrojan costos de instalación de GSHP de entre 1.500USD/kWt y 3.000USD/kWt para sistemas pequeños (<10kWth) y entre 500USD/kWt y 1.000 USD/kWt para sistemas grandes (>1MWth), como se puede ver en la tabla ejemplo de REN21 que se muestra a continuación, en la que podemos observar que los costos de energía útil de esta tecnología no son los más bajos en los casos extremos pero sí que tienen un rango de costos competitivo con respecto al resto de tecnologías renovables.

TECHNOLOGY	TYPICAL CHARACTERISTICS	CAPITAL COSTS USD/ kW	TYPICAL ENERGY COSTS LCOE – U.S. cents/ kWh
<b>HOT WATER / HEATING / COOLING</b>			
<b>Biomass heat plant</b>	Plant size: 0.1–15 MW <sub>th</sub> Capacity factor: ~50–90% Conversion efficiency: 80–90%	400–1,500	4.7–29
<b>Domestic pellet heater</b>	Plant size: 5–100 MW <sub>th</sub> Capacity factor: 15–30% Conversion efficiency: 80–95%	360–1,400	6.5–36
<b>Biomass CHP</b>	Plant size: 0.5–100 kW <sub>th</sub> Capacity factor: ~60–80% Conversion efficiency: 70–80% for heat and power	600–6,000	4.3–12.6
<b>Geothermal space heating (buildings)</b>	Plant size: 0.1–1 MW <sub>th</sub> Capacity factor: 25–30%	1,865–4,595	10–27
<b>Geothermal space heating (district)</b>	Plant size: 3.8–35 MW <sub>th</sub> Capacity factor: 25–30%	665–1,830	5.8–13
<b>Ground-source heat pumps</b>	Plant size: 10–350 kW <sub>th</sub> Load factor: 25–30%	500–2,250	7–13
<b>Solar thermal: Domestic hot water systems</b>	Collector type: flat-plate, evacuated tube (thermosiphon and pumped systems) Plant size: 2.1–4.2 kW <sub>th</sub> (single-family); 35 kW <sub>th</sub> (multi-family) Efficiency: 100%	Single-family: 1,100–2,140 (OECD, new build); 1,300–2,200 (OECD, retrofit) 147–634 (China) Multi-family: 950–1,850 (OECD, new build); 1,140–2,050 (OECD, retrofit)	1.5–28 (China)
<b>Solar thermal: Domestic heat and hot water systems (combi)</b>	Collector type: same as water only Plant size: 7–10 kW <sub>th</sub> (single-family); 70–130 kW <sub>th</sub> (multi-family); 70–3,500 kW <sub>th</sub> (district heating); >3,500 kW <sub>th</sub> (district heat with seasonal storage) Efficiency: 100%	Single-family: same as water only Multi-family: same as water only District heat (Europe): 460–780; with storage: 470–1,060	5–50 (domestic hot water) District heat: 4 and up (Denmark)
<b>Solar thermal: Industrial process heat</b>	Collector type: flat-plate, evacuated tube, parabolic trough, linear Fresnel Plant size: 100 kW <sub>th</sub> –20 MW <sub>th</sub> Temperature range: 50–400 °C	470–1,000 (without storage)	4–16
<b>Solar thermal: Cooling</b>	Capacity: 10.5–500 kW (absorption chillers); 8–370 kW (adsorption chillers) Efficiency: 50–70%	1,600–5,850	n/a

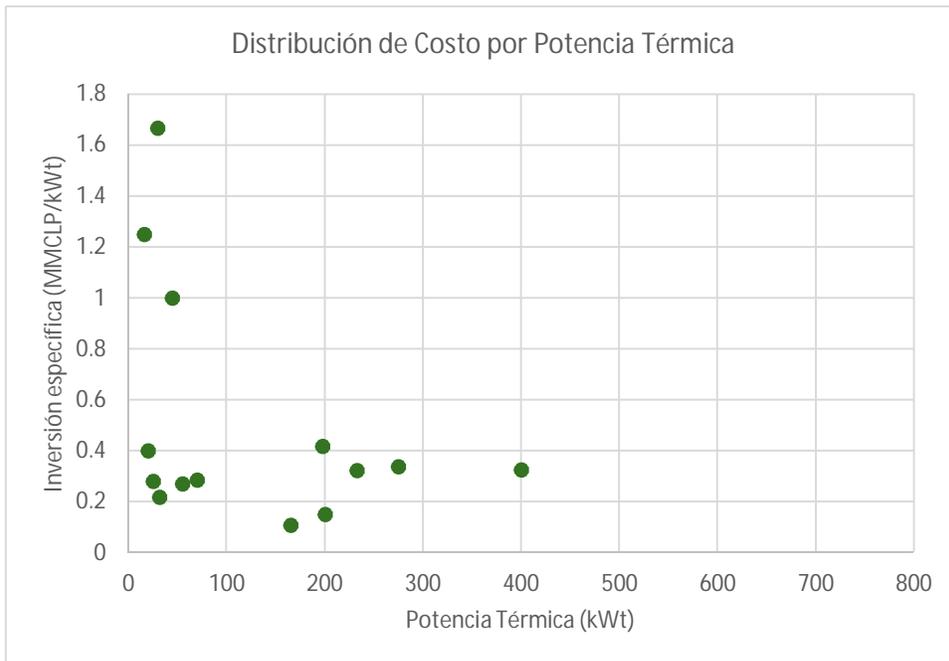
Tabla 3. Costos de inversión y energía para distintas tecnologías térmicas según REN21 [4]



En la línea de lo planteado al principio de este documento, debemos destacar la curva de aprendizaje de la tecnología a nivel mundial. A modo de ejemplo, según la Fördergemeinschaft Wärmepumpen Schweiz, (FWS)<sup>16</sup>, el costo de los sistemas GSHP con BHE para casas unifamiliares, se redujo un 27,5% en 12 años (1992-2004).

Por otra parte, disponemos de los datos de proyectos instalados en Chile, que se muestran en la Figura 11, que arrojan unos números algo más bajos en general, muchos entre orden de los 350USD/KWt y 500USD/kWt, con valores puntuales por encima y por debajo.

Para elaborar esta figura, se ha eliminado algunos proyectos con costos muy disonantes, por considerarse que muy probablemente no sean comparables al resto en alcance o sean erróneos, debido a problemas en la introducción de los mismos por parte de los actores en la base de datos.



**Figura 11. Costos unitarios de proyectos en Chile según su potencia**

<sup>16</sup> Asociación suiza de bombas de calor

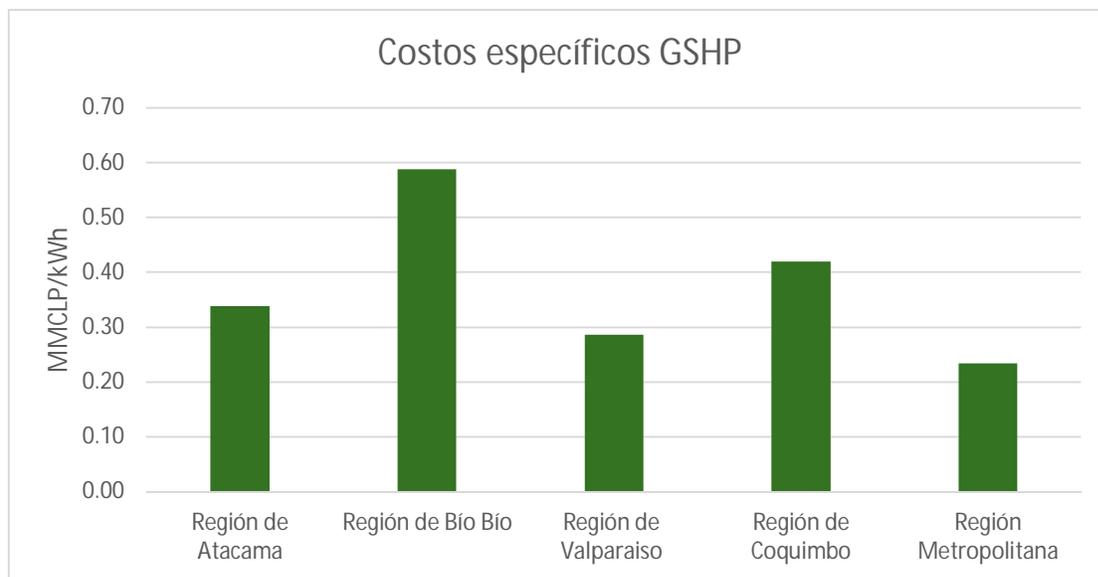


**Tabla 4. Distribución de costos en las distintas Regiones del país**

Región	Número de instalaciones	Inversión específica (MMCLP/kWt) <sup>17</sup>	Tamaño promedio (kWt) <sup>18</sup>	Desviación sobre RM
Región de Atacama	1	0,34	275	44%
Región de Bío Bío	9	0,59	92	151%
Región de Valparaíso	1	0,29	70	22%
Región de Coquimbo	1	0,42	198	79%
Región Metropolitana	8	0,22	691	0%

Si observamos los costos promedios por potencia, se observa un comportamiento bastante razonable, siguiendo una asíntota que parte sobre el 1,7MMCLP/kWt a pequeñas potencias, tendiendo a la saturación alrededor de los 0,2MMCLP/kWt por encima de los 200kWt.

Entre Regiones se observan costos muy dispares, des de los 0,22 de la RM a los 0,59 del Bío Bío, en lo que se mezclan aspectos asociados a la propia realidad económica de las Regiones, pero también ruido asociado al tamaño de las instalaciones, pues en general las Regiones con menores costos presentan sistemas en promedio mayores también.



**Ilustración 4. Distribución de costos en las distintas Regiones del país**

<sup>17</sup> Para el cálculo de la inversión específica solo se han considerado los proyectos con valores razonables, para evitar ruido.

<sup>18</sup> Para el cálculo del tamaño promedio no se ha considerado una instalación reportada de 32MWth en la RM



## 5 CASOS DE ÉXITO DE LA INDUSTRIA CHILENA

---

Con el objeto de dar visibilidad y de comprender con mayor detalle técnico las experiencias reales existentes en Chile, se han analizado y descrito con mayor detalle 3 de los proyectos ejecutados en Chile en los últimos años.

Los proyectos corresponden a distintos sectores y son los siguientes:

- a) Hogar de las Hermanitas de los Pobres, como ejemplo asimilable a Hotel u Hospital, con alto potencial,
- b) Parque Titanium, como ejemplo de gran edificio de oficinas
- c) Viveros Horcones, como ejemplo de la industria agrícola, también con alto potencial

A continuación se presenta la descripción de cada uno de los sistemas visitados, con sus principales parámetros descriptivos y operativos.

### 5.1 HOGAR DE LAS HERMANITAS DE LOS POBRES, CONCEPCIÓN.

Hogar de ancianos de la congregación de las hermanitas de los pobres, que le da asilo a personas de la tercera edad de escasos recursos. El hogar cubre la necesidad de asilo a 90 personas con un cuerpo de trabajo de aproximadamente 30 personas.



**Figura 12 Imagen aérea del recinto**

Fundada en 1939 con presencia en 32 países y existente en la ciudad de Concepción desde 1903. El terremoto que afectó a la zona el año 2010 destruyó el antiguo edificio por lo que se construyó un complejo habitacional completamente nuevo, con mejores estándares de aislamiento a los anteriores: hormigón celular y termopanel en todas las ventanas., en el cual se incluyó un sistema de ACS basado en bombas de calor aerotérmicas y un sistema de calefacción en base a bombas de calor geotérmicas reversibles y piso radiante, el que cubre 7500 m<sup>2</sup> de los 8500m<sup>2</sup> del recinto. La empresa realizadora de la obra fue ENALTECO LTDA, ubicada en la misma ciudad directamente con dinero de la congregación.



**Figura 13 Vista interior del hogar**



El sistema se compone más de 40 pozos de 20 a 30 metros de profundidad que aprovechan las napas superficiales existentes en la ciudad, las cuales se encuentran a una temperatura media de 15°C, los que trabajan divididos en 5 subgrupos de bombas de calor, las cuales entregan calefacción de forma sectorizada a toda la edificación a una temperatura que ronda los 32°C.



Figura 14 Detalle de un sistema de bombas de calor



Figura 15 Detalle del sistema de distribución asociado



A continuación se incluye una tabla que incluye los principales parámetros recogidos en la visita a terreno:

**Tabla 5 Información de empresa y cliente, Hermanitas de los Pobres**

<b>Información de contacto cliente final</b>		
Nombre de empresa	Hogar hermanitas de los pobres	
Localidad, Comuna y Región	Concepción	Concepción, Región del Bio Bio
Nombre y cargo persona de contacto		
Dirección Postal	Angol 1348, 4030233	
Teléfono y e-mail		
<b>Información Empresa Facilitadora</b>		
Nombre de empresa	Enalteco Ltda.	
Nombre y cargo persona de contacto	Joan Santamaría	Gerente General
Teléfono y e-mail	2463696	jsantamaria@enalteco.cl



**Tabla 6 Información de proyecto, Hermanitas de los Pobres**

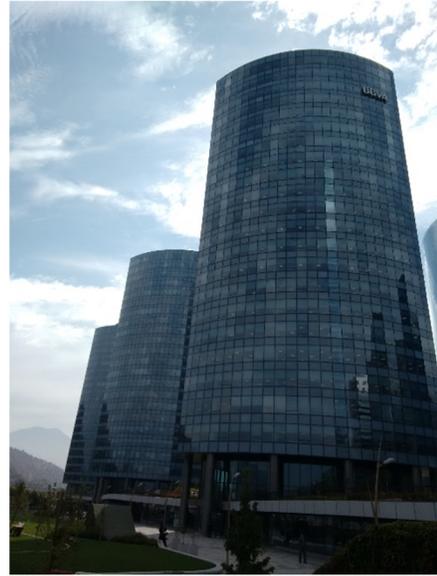
Información Básica Proyecto			
	Nombre	Información de Contacto	
Instaladora	Enalteco	Empresa Facilitadora	
Perforación y sondaje	Enalteco		
Proyectista	Enalteco		
Proveedor	Energy panel (España)/ Enalteco		
Operador	Energy panel (España)/ Enalteco		
Dirección Completa ubicación proyecto	Angol 1348		
Coordenadas	"-36.8198,-73.0604"		
Fecha de instalación (MM/AA)	nov-11	Fecha última mantención (MM/AA)	oct-15
Características del terreno			
	Tipo de suelo	Transmisividad del suelo (según empresa)	
	Arena húmeda	40 W/m	
Descripción tecnológica			
	Bomba de calor		
Modelo	-	Potencia eléctrica (kW)	5 c/u aprox.
Marca	Enalteco	Potencia térmica (kW)	20 máx.
COP	4	Número de compresores	12
Fluido refrigerante	agua/glicol lubric.(bombas)	Reversibilidad (SI/NO)	SI
Capacidad de producción simultánea	200 kW	Transmitancia del suelo (W/m2K)	-
Tipo de suelo	Arena húmeda	o capacidad de extracción (W/m)	40
	Tuberías		
Material	PPV	Diámetro	n/a
Longitud	n/a		
	Campo colector		
Tipo	vertical	Profundidad	25 -- 30
Material		Longitud	4000 m2
Potencia térmica	pendiente		
Información Básica Proyecto			
Inversión	80,000,000	Ahorro generado anual	70% (estimado)
Mecanismo de financiación	cuenta	Gastos anuales	1000000
Subsidio	NO	TIR	n/a
VAN	n/a	Payback o PRC	4



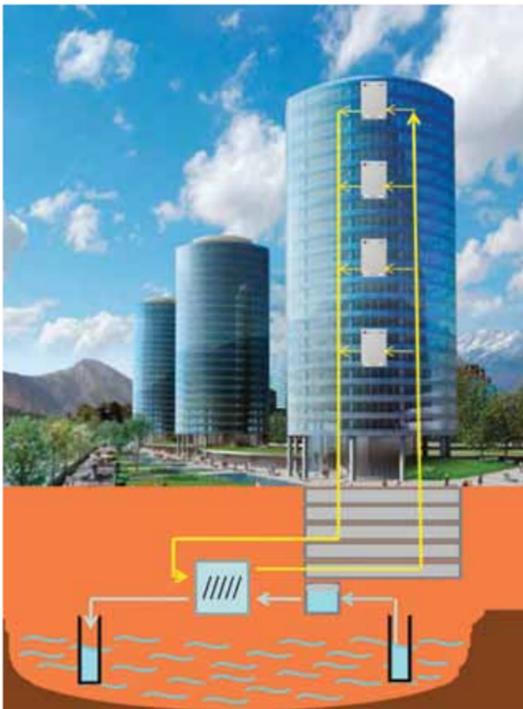
## 5.2 PARQUE TITANIUM

### 5.2.1 INTRODUCCIÓN

A pesar de desconocer la potencia instalada, por no haber un proyecto de climatización único de todo el sistema, podemos decir que Parque Titanium debe ser sin duda el proyecto de aprovechamiento geotérmico mediante bomba de calor más grande de Chile, pues da servicio de climatización a 136.397 m<sup>2</sup> de oficinas acristaladas, para las que podemos estimar una potencia pico mínima de 100W/m<sup>2</sup>, lo que representa una potencia de climatización de 14MWth. Si tomamos como referencia la potencia de los intercambiadores instalados para la condensación vemos que la potencia térmica máxima de disipación es de 16,2MWth.



Esta indefinición de potencias del sistema proviene del hecho que no se trata de un sistema centralizado de climatización, sino más bien de una red de sistemas de climatización condensados por agua freática.



Concretamente se trata de un sistema VRF MULTI V WATER II, de la empresa LG, que dispone de unidades terminales por cada recinto a climatizar, alimentadas de gas refrigerante desde unidades condensadoras condensadas por agua. Esta agua es tomada de la napa por el sistema de pozos, utilizada por el sistema y devuelta a la napa.

El sistema se compone de 8 pozos que hacen las veces de extractores y drenadores, que alimentan un aljibe central, que a su vez alimenta un aljibe por torre, de donde se intercambia mediante intercambiadores de placas, para generar el lazo de condensación de cada torre.

Ilustración 5. Esquema conceptual de operación (Fuente: LG Electronics)



## 5.2.2 DATOS GENERALES

Información de contacto cliente final			
Nombre de empresa	Parque Titanium		
Localidad, Comuna y Región	Las Condes		Santiago
Nombre y cargo persona de contacto	Beatriz Santís		Asset Manager Parque Titanium
Dirección Postal	AV. Costanera Andrés Bello 2782		
Teléfono y e-mail	995363572		Beatriuz.santis@sencorp.com

Información Empresa Facilitadora			
Nombre de empresa	SENCORP CONSTRUCCION		
Nombre y cargo persona de contacto	Lorena Alfaro Suazo		
Teléfono y e-mail	995363572		lorena.alfaro@sencorp.com

Información Básica Proyecto			
	Nombre	Info Contacto	
Instaladora	RES Chile S.A.		
Perforación y sondaje	Millenium		
Proyectista	Senarq y LG		
Proveedor	LG Electronics		
Operador	Sencorp		
Dirección Completa ubicación proyecto	AV. Costanera Andrés Bello 2782		
Coordenadas			
Fecha de instalación (MM/AA)	2015	Fecha última mantención (MM/AA)	

Descripción tecnológica			
<b>Bomba de calor</b>			
Modelo	VRF, MULTI V WATER II	Potencia eléctrica (kW)	3,6 MW (estimada)
Marca	LG	Potencia térmica (kW)	16,2 MW (estimada)
COP	4,5 (estimado)	Número de compresores	No disponible
Fluido refrigerante	No disponible	Reversibilidad (SI/NO)	SI
Capacidad de producción simultánea	No disponible	Transmitancia del suelo (W/m2K)	Trabaja con napa
Tipo de suelo	Trabaja con napa	o capacidad de extracción (W/m)	No disponible
<b>Tuberías</b>			
Material	Acero	Diámetro	250mm
Longitud			
<b>Campo colector</b>			
Tipo	8 pozos de agua	Profundidad	110
Material	Acero/PPR	Longitud	NA
Potencia térmica	No disponible		
Información Básica Proyecto			
Inversión	No disponible	Ahorro generado anual	60% (proyecto)
Mecanismo de financiación	No disponible	Gastos anuales	No disponible
Subsidio	No disponible	TIR	No disponible
VAN	No disponible	Payback o PRC	No disponible



### 5.2.3 NAPA Y CAPTACIÓN

La napa de la que se alimenta el sistema son en realidad dos napas, una pequeña a -36m y otra mayor entre -80m y -50m. Cabe destacar que ambas napas son ríos caudalosos y no aguas estáticas, lo que hace que toda la energía aportada o sustraída al sistema desaparezca inmediatamente de la zona de influencia de los pozos. Ello permite usar los mismos pozos para extracción que para drenaje, aunque no en el mismo momento, claro. Esto se resuelve mediante la acumulación de agua en aljibes: cuando no se está consumiendo, se bombea para mantener el nivel en el aljibe, cuando hay consumo se drena el agua utilizada a través de algunos de los pozos.

La red de captación se compone de 8 pozos (7 operativos y uno en construcción a día de hoy) con tomas DN250 y bombas sumergidas a -75m. La temperatura de la napa está alrededor de los 18°C, a pesar que en proyecto se consideraron 15°C. La temperatura del agua en el aljibe central es de aproximadamente 19°C.



Ilustración 6. Imágenes de pozo de captación y de aljibe central.

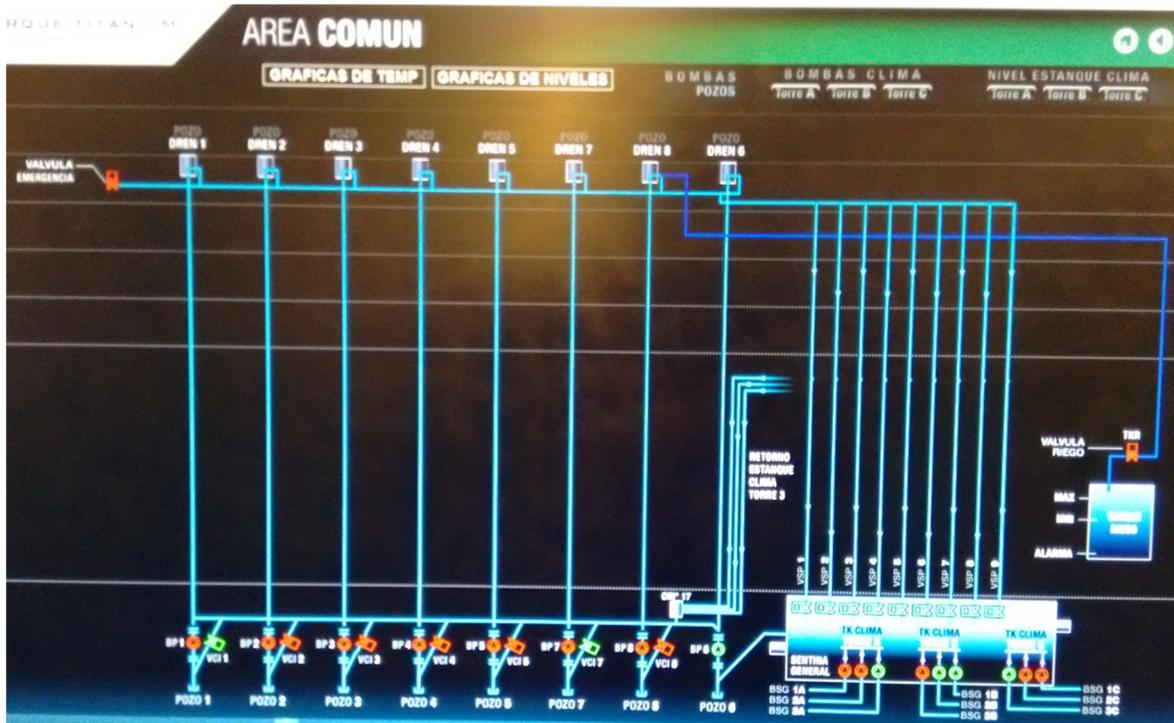


Ilustración 7. SCADA red de pozos y drenajes

#### 5.2.4 RED DE CONDENSACIÓN

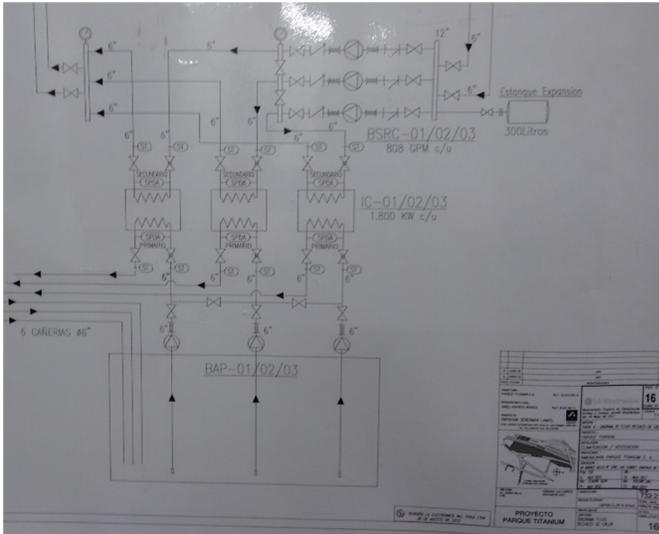
El aljibe central sirve a las tres torres por separado, alimentando aljibes secundarios en cada una de ellas, de dónde éstas toman agua para refrigerar el lazo de condensación (cuando hay demanda de refrigeración o calentarlo si hubiera demanda de calor).

Esta refrigeración de lazo por torre se hace a través de 3 intercambiadores de calor de 1,8MWth cada uno, lo que representa una potencia de disipación nominal de 5,4MWth por torre, esto es, una potencia total de 16,2MWth.

Es interesante destacar que según los datos disponibles, el retorno de las condensadoras en verano es de 24°C, lo que representa un salto térmico de 5K de aprovechamiento, lo que sugiere que el sistema podría llegar a dar más potencia, aun a costa de empeorar el rendimiento. Pero más interesante es todavía el hecho que en invierno la demanda neta también es de refrigeración, pues el retorno de la condensación es a 21°C, con un salto de 2K. Ello se debe a que el edificio acristalado se comporta como un captador solar y requiere ser refrigerado aun en invierno. Aun tomando en cuenta que algunas zonas del edificio estarán demandando calefacción, el VRF internamente y el lazo de condensación, recuperan dicha energía entre ambas demandas simultáneas.



A continuación se muestra el esquema de conexionado de los intercambiadores de una de las torres, con el aljibe correspondiente.



**Ilustración 8. Esquema de conexionado de intercambiadores con aljibe y red de condensación**

### 5.2.5 SISTEMA INTERIOR VRF

Toda la red de agua sirve, como se ha indicado, para refrigerar las unidades condensadoras del sistema VRF, MULTI V WATER II de LG.

Este sistema está integrado básicamente por dos unidades, que en modo frío podemos indicar como la condensadora, que condensa el fluido refrigerante intercambiando con el lazo de enfriamiento freático, y la evaporadora, que genera el frío útil dentro del local a climatizar, en forma de agua fría que alimenta la UMA o climatizadora según el caso. El sistema es reversible para poder dar servicio de calor en caso necesario.



**Ilustración 9. Condensadoras (izquierda) y evaporadora y climatizadora (derecha) al interior de un local comercial**



### 5.3 VIVEROS HORCONES

La industria forestal es una gran fuente de empleo e ingreso de divisas para nuestro país, por lo cual esta área industrial se encuentra en una constante etapa de investigación y desarrollo.

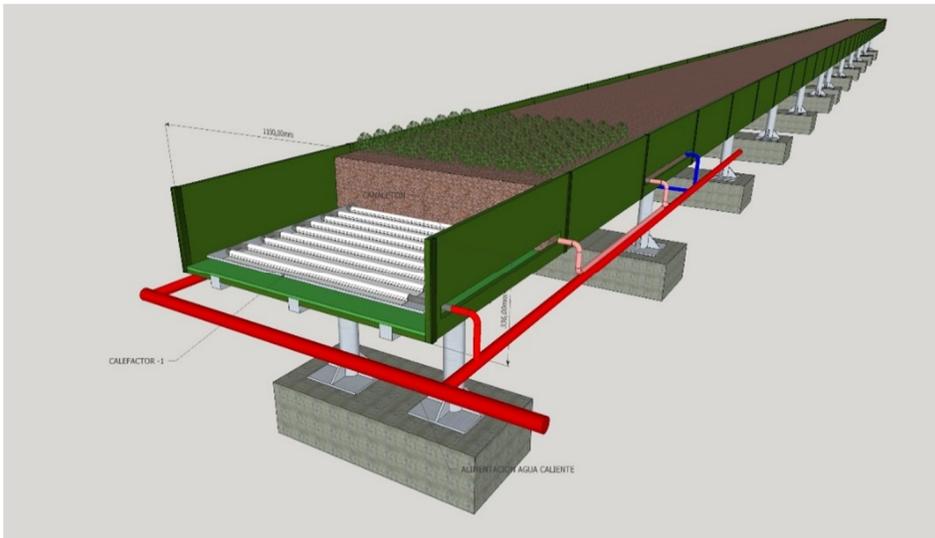
Una etapa clave, y una de las más importantes del ciclo forestal, se vive en los viveros, donde germinan las semillas y crecen las plantas que se transformarán posteriormente en árboles de los bosques plantados. Los viveros de hoy son mucho más que simples huertos, y cada vez se parecen más a laboratorios donde el cultivo de las plantas avanza por etapas, cada cual con su logística y tecnología. Por lo cual se debe estar permanentemente optimizando los diferentes procesos, de manera de producir plantas cada vez mayor calidad a menores costos.



**Ilustración 10. Visión general del Vivero**

Dado lo anterior y a partir de estudios realizados se comprobó que un adecuado manejo de la temperatura y humedad en el sustrato permite una mayor tasa de crecimiento con el consiguiente beneficio para el invernadero.

Por lo tanto se proyectó una instalación térmica para mejorar las condiciones en las bandejas portadoras de plantas madres transmitiendo calor mediante una red de tuberías pex que recorren todas las unidades productoras de eucaliptus, para lo cual se determinó la utilización de bombas de calor geotérmicas y paneles termodinámicos. Se considera que por estas tuberías circulara agua a 50° C la cual permitirá mantener una temperatura de sustrato de alrededor 28°C



**Ilustración 11. Imagen nuevas bandejas de cultivo climatizadas**

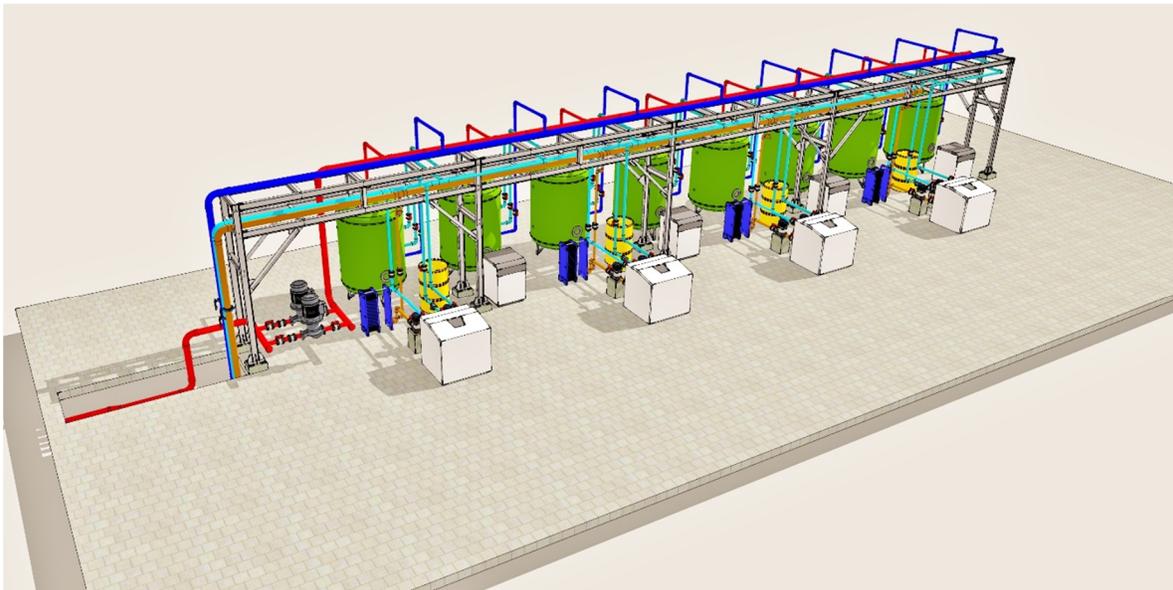
Este proyecto consta de 700 KW de potencia térmica (7 unidades) a partir de bombas de calor geotérmicas y 300 KW de potencia térmica de apoyo con paneles termodinámicos, luego de un estudio económico técnico se seleccionó la bomba de calor marca Ecoforest modelo HP1 25-100, por ser el equipo que cumplía con todos los requisitos necesarios, al tener el más alto COP, contar con tecnología inverter, la cual permite obtener una máxima eficiencia al ir adecuándose el consumo eléctrico de la bomba según la carga térmica requerida.



**Ilustración 12. Visión general del Vivero**



Las bombas de calor ecoGEO HP están diseñadas para proporcionar calefacción y ACS durante todo el año con una instalación sencilla y garantizando en todo momento la máxima eficiencia energética. Poseen distintos modos de operación que incluyen las bombas de calor geotérmicas ecoGEO HP. Estos modos son: modo frío pasivo, modo calefacción, modo ACS, modo antilegionela, modo piscina y modo fallo.



**Ilustración 13. Imagen sistema de generación**

Dadas las características de la zona de instalación y por contar con recursos freáticos suficientes se optó por este tipo de captación el cual no requiere de las costosas perforaciones de sondaje.

Este proyecto por sus dimensiones en cuanto a potencia térmica es hoy por hoy la instalación geotérmica de baja entalpia más grande proyectada para uso industrial en Chile, que permitirá incrementar sobre un 20% la tasa de crecimiento en las plantas madres de producción eucaliptus en 7 invernaderos de 2.100 m<sup>2</sup> cubriendo un área total de 14.700 m<sup>2</sup>, con ahorros sobre el 75% respecto a sistemas tradicionales utilizados en el calefaccionado de agua.

**Tabla 7. Datos Técnicos sistema Viveros Horcón**

<b>Bomba de calor</b>			
Modelo	HP1 25-100	Potencia eléctrica (kW)	6,5-30
Marca	Ecoforest	Potencia térmica (kW)	25-100
COP	4,6 -5	Número de compresores	1 Scroll con Inverter de Danfoss
Fluido refrigerante	R410A	Reversibilidad (SI/NO)	SI
Capacidad de producción simultánea	CALEFACION Y AGUA CALIENTE SANITARIA	Transmitancia del suelo (W/m2K)	CICLO ABIERTO
Tipo de suelo		o capacidad de extracción (W/m)	CICLO ABIERTO
<b>Tuberías</b>			
Material	HDPE 100 PN 16	Diámetro	2-1/2''
Longitud	200		
<b>Campo colector</b>			
Tipo	ABIERTO	Profundidad	0
Material	HDPE 100 PN 16	Longitud	200
Potencia térmica	18,5-70		

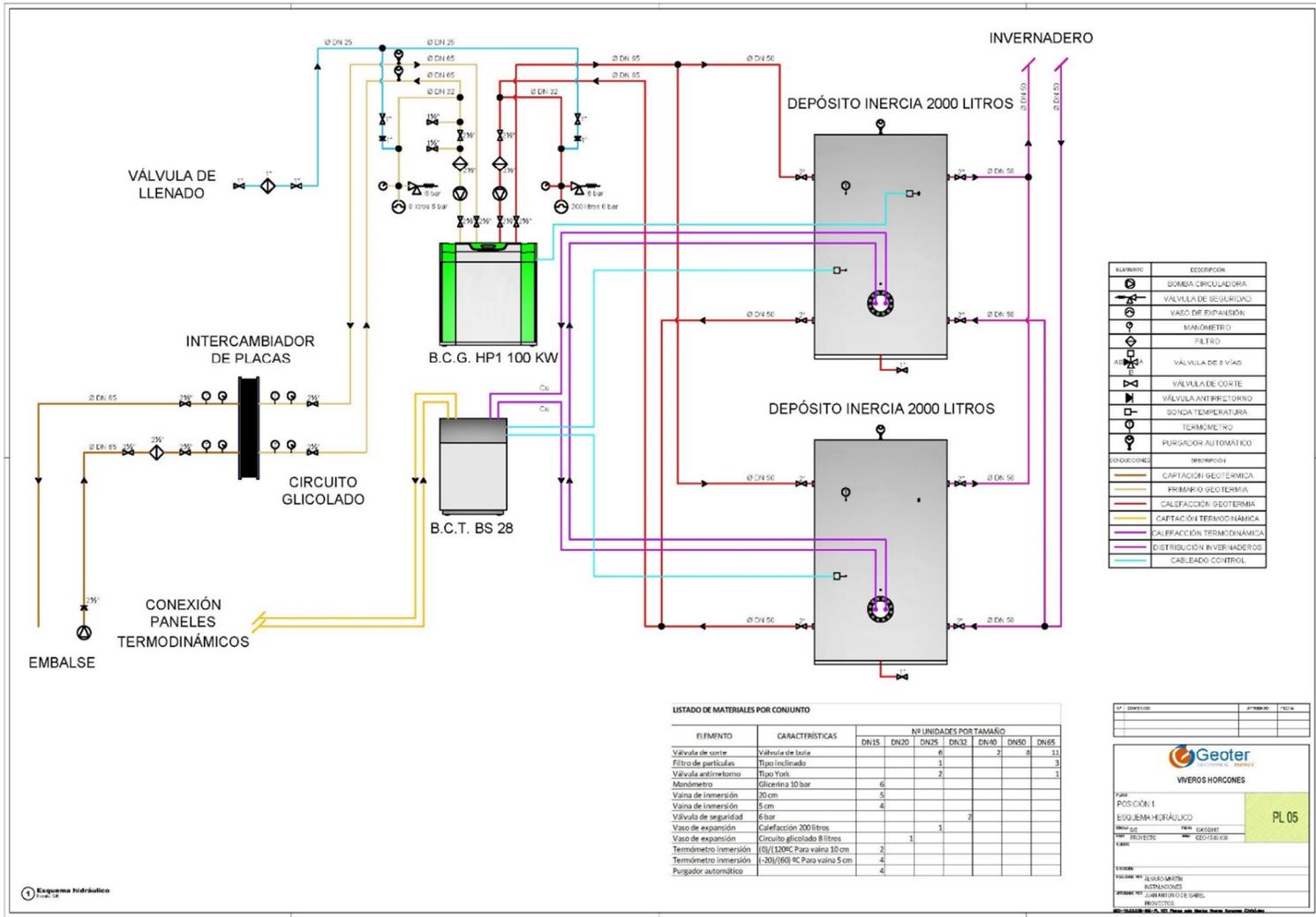


Ilustración 14. Imagen nuevas bandejas de cultivo climatizadas



## 6 ANÁLISIS DE OPORTUNIDAD E IMPACTO POR SECTOR PRODUCTIVO

---

### 6.1 RESUMEN DE RESULTADOS

Tal como se ha descrito en la metodología, se ha buscado analizar la oportunidad por sectores y regiones en base al análisis de viabilidad de sendos sistemas de climatización mediante GSHP.

A modo de resumen de resultados con el objeto de visualizar de forma simple y clara la oportunidad para cada uno de los casos, se presenta a continuación un gráfico que muestra el período de retorno correspondiente a la sobre inversión que supondría instalar un sistema GSHP incluyendo sistemas auxiliares (sistema híbrido), con respecto a instalar un sistema convencional de origen, así como el ahorro porcentual de emisiones entre ambos casos. Los valores de período de retorno que no aparecen corresponden a valores negativos y por lo tanto no viables.

Cada caso viene indicado por una o dos letras y uno o dos números. Los números corresponden a las 7 zonas geográficas definidas para todo el estudio y que incluyen singularidades climáticas pero también de costos, fuentes de energía, matriz eléctrica, etc., siendo la zona 1 la más al norte y la 7 la más al sur. En el caso de L45 se ha considerado una sola zona por la gran similitud para el caso, asimilada a la 4. Las letras corresponden a los sectores productivos:

- V Industria Vitivinícola
- P Piscinas de Piscifactorías
- L secado de leña
- G Granjas de Cerdos
- J Jardines Infantiles
- HT Hoteles
- U Viviendas Unifamiliares
- D Red de distritos de 700 Viviendas Unifamiliares
- H Hospitales

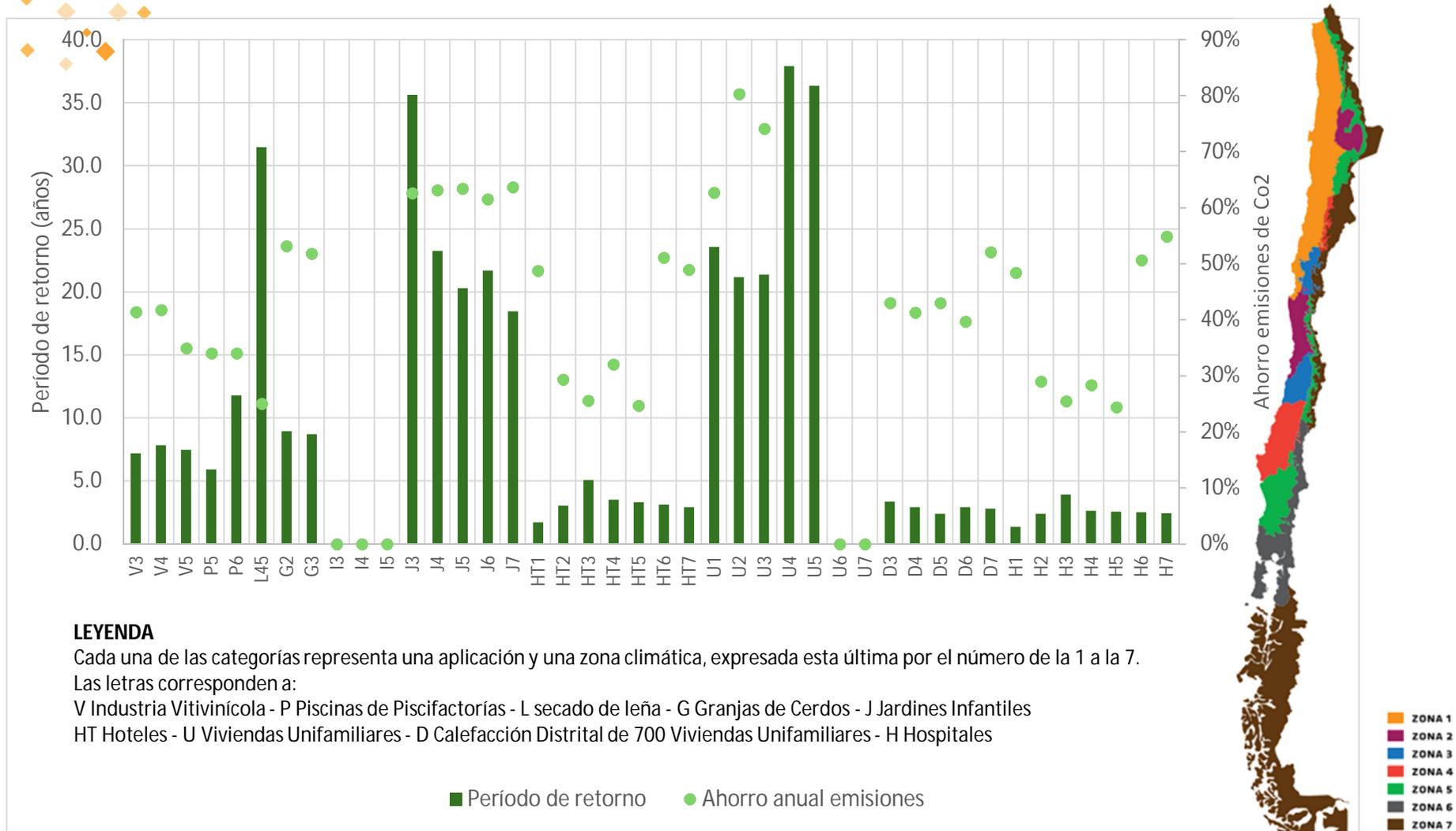


Figura 16. Principales indicadores (período de retorno y ahorro de emisiones) de los casos analizados

Tal como se puede observar, tan solo las viviendas unifamiliares, el secado de leña y un caso de piscifactoría presentan períodos de retorno superiores a los 10 años, identificándose importantes oportunidades, tanto en Vitivinícola, como en Redes de Calefacción, Hoteles y Hospitales. Hay que tomar en cuenta que estos resultados pueden alterarse ligeramente si se incorpora a las estructuras de costos los datos obtenidos en el catastro de proyectos que todavía está abierto a fecha de hoy, mas difícilmente cambiarán las tendencias que se muestran.



## 6.2 METODOLOGÍA

En este capítulo se hace una descripción de la metodología utilizada para llevar a cabo el análisis técnico-económico del uso de bombas de calor en determinados usos industriales y domésticos, a nivel nacional.

### 6.2.1 DESCRIPCIÓN GENERAL

Antes de profundizar en la metodología utilizada primero hay que entender que el objetivo de este proyecto es analizar la factibilidad técnico-económica de los sistemas de bomba de calor para distintos tipos de uso a lo largo de Chile, del trabajo conjunto con el ministerio de energía y CIFES se acordó según su relevancia los siguientes usos a evaluar:

1. Calefacción en viviendas unifamiliares
2. Calefacción en sistemas distritales
3. Calefacción de jardines infantiles
4. Calefacción y enfriamiento de hospitales
5. Calefacción y enfriamiento de hotelería
6. Calefacción de granjas de cerdos
7. Generación de calor y frío para procesos de vinificación
8. Secado de leña/madera
9. Generación de calor para piscifactorías

Estos usos para efectos prácticos del informe se llamarán de ahora en adelante procesos. Para definir la localización geográfica de cada uno de los procesos, a modo de referencia climática, se utilizó como base la zonificación realizada por el MIDEPLAN (Hoy gestionada por el MINVU). Estas zonas se dividen según grados-día como se muestra en la Tabla 1.

**Tabla 8. Características de las zonas climáticas implementadas Fuente: Guía de Diseño para la Eficiencia Energética en la Vivienda Social. 2009**

Zona	Tipo de clima	Grados-día
Zona 1	Muy Cálido	<500
Zona 2	Cálido	500-750
Zona 3	Templado-cálido	750-1000
Zona 4	Templado	1000-1250
Zona 5	Templado-frío	1250-1500
Zona 6	Frío	1500-2000
Zona 7	Muy frío	>2000



Esta zonificación se considera especialmente atractiva para los fines de este estudio puesto que divide el territorio en siete zonas de acuerdo a la diferencia de grados-día de calefacción con respecto de una temperatura de referencia para confort térmico de 15°C. En la Figura 2.2 se pueden ver las zonas según la latitud y cercanía de la cordillera y mar.

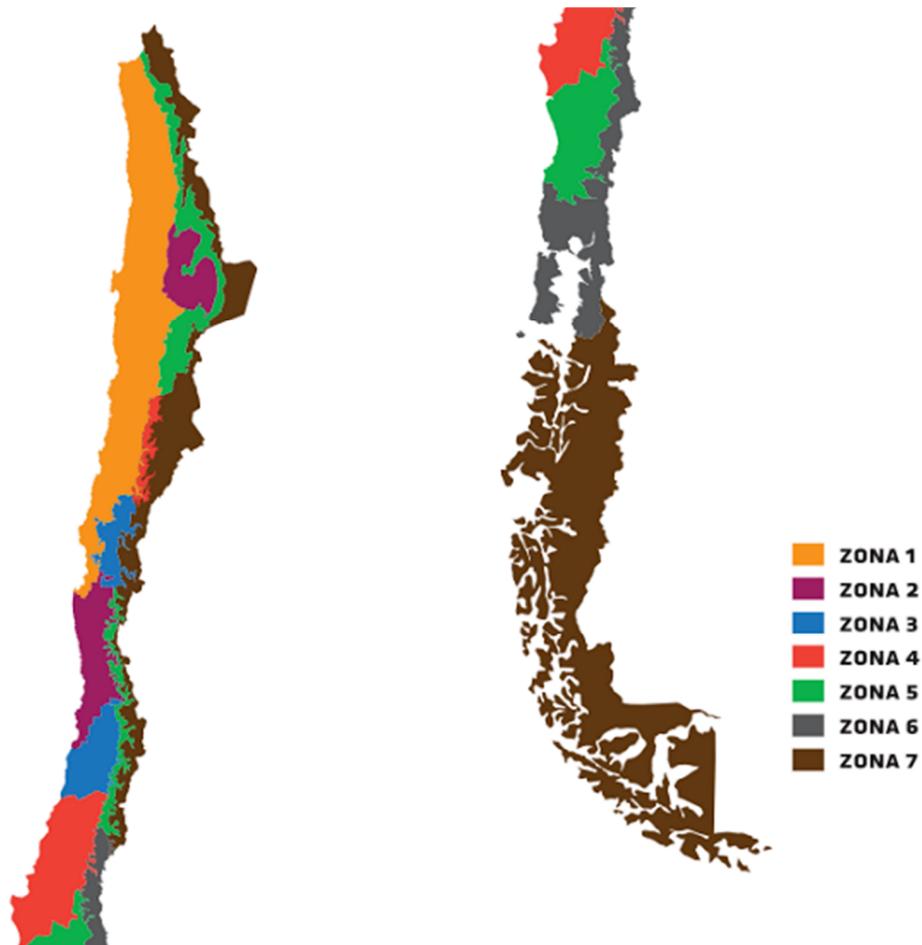


Figura 6.17 Zonificación según grados-día. Fuente: Guía de Diseño para la Eficiencia Energética en la Vivienda Social. 2009

El indicador de Grados-día resulta de interés debido a que considera, con su valor anual, la intensidad de las demandas térmicas de la zona, y al mismo tiempo con sus valores mensuales entrega un estimado de ocupación de los medios de calefacción y refrigeración a lo largo del año. Estos elementos son factores relevantes de la gran mayoría de los procesos contemplados del estudio.

A partir de esta división geográfica se escogieron lugares puntuales como referencia de las características de cada una de estas zonas climáticas para obtener los datos meteorológicos y realizar los análisis.



No tiene sentido lógico ni de recursos el realizar los modelos de todos los procesos para todas las zonas geográficas. Por este motivo se hizo un análisis estadístico de las zonas en que se reúne la mayor parte de la producción asociada a cada proceso, y en algunos casos, todos los lugares en que las características ambientales no descarten de forma inmediata ciertos usos (Como por ejemplo, sistemas de aire acondicionado frío en Coyhaique o sistemas de calefacción distrital en el Calama).

A continuación de que se realizara la zonificación de los procesos, se caracterizó la naturaleza de cada uno de estos. Para lo cual, primero se los clasificó como operaciones de producción industrial o sistemas de climatización.

Esta clasificación tiene fundamento en el hecho de que los sistemas de climatización tienen el mismo comportamiento fenomenológico, mientras que las operaciones de producción industrial son fenómenos físicos muy distintos entre sí y usualmente más complejos.

Esta división definió los siguientes grupos:

**Tabla 9. Categorización de las operaciones según tipo**

Sistemas de climatización	Operaciones de producción industrial
1. Calefacción en viviendas unifamiliares	7. Generación de calor y frío para procesos de vinificación
2. Calefacción en sistemas distritales	8. Secado de leña/madera
3. Calefacción de jardines infantiles	9. Generación de calor para piscifactorías
4. Calefacción y enfriamiento de hospitales	
5. Calefacción y enfriamiento de hotelería	
6. Calefacción de granjas de cerdos	

Para el primer grupo, se buscaron las condiciones de operación (tales como superficie, demanda de agua caliente sanitaria, temperaturas de consigna, perfiles de uso, etc.).

Esta información fue utilizada en el software RETScreen a través del cual se obtuvieron algunos datos meteorológicos, las demandas energéticas y las potencias punta de diseño para el dimensionamiento de los sistemas.

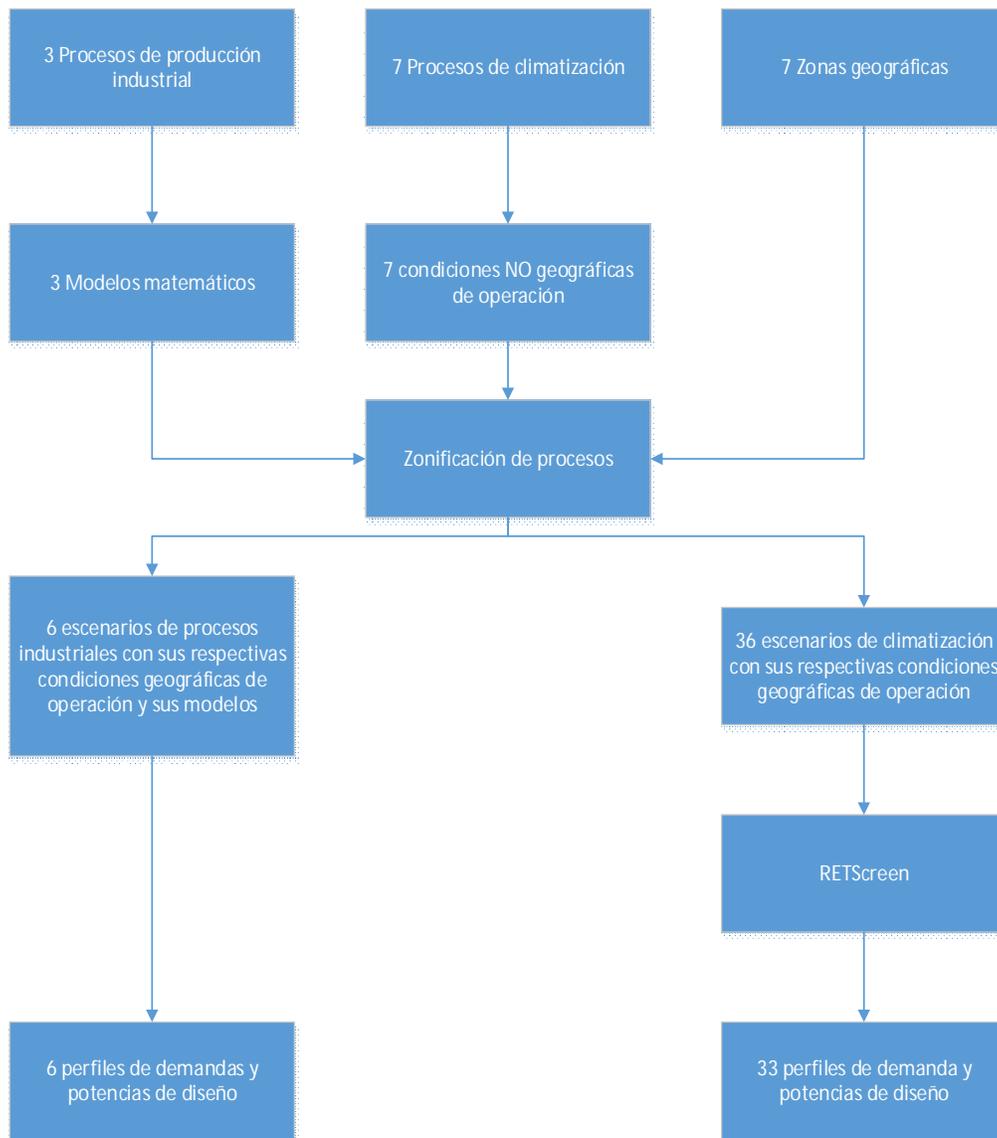
Para el segundo caso se desarrollaron modelos físico-matemáticos que describen los procesos y entregan los perfiles de demanda y potencias para cada uno de las zonas climáticas.

Una vez determinados todos los perfiles de demanda y de potencia punta, entonces se procedió a calcular las eficiencias estacionales y el dimensionado de las bombas de calor requeridas para cada caso.

En paralelo se levantó la información de costos de combustibles, inversión (sistema térmico más pozos geotérmicos), entre otros (ver diagrama de Figura 2.3).



Finalmente, se realizó el análisis temporal de inversión, recuperación de la inversión y rentabilidad de la misma para cada uno de los escenarios planteados (ver diagrama de Figura 2.4)



**Figura 6.18 Esquema metodológico para la obtención de demandas y potencias punta de diseño**

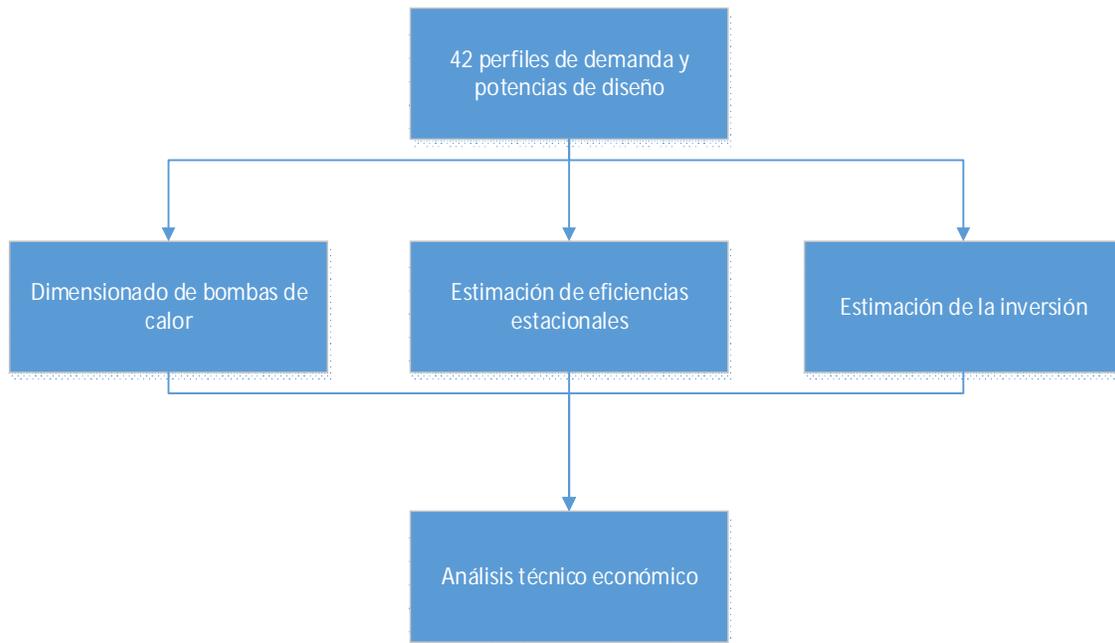


Figura 6.19 Esquema metodológico para el análisis técnico económico

## 6.3 CONDICIONES DE BORDE

### 6.3.1 DATOS METEOROLÓGICOS

Como base de datos del estudio se utilizó la base de datos entregada por Retscreen alimentada por los datos meteorológicos mundiales de la NASA. En los casos que estos valores no fueran del detalle de análisis requerido, se utilizó la red de datos de Agromet.

La red Agromet enfocada en el desarrollo agrónomo y que reúne la información de tres redes meteorológicas operativas con anterioridad: Meteovid, agroclima (Fundación para el Desarrollo Frutícola) y Agromet (INIA), en conjunto esta red tiene estaciones en casi todo el país, cada una con distintos parámetros medidos según la subred a la que pertenecen y su ubicación geográfica.

Esta red cuenta con estaciones en todas las potenciales zonas contempladas en el estudio o lugares aledaños a estas.

### 6.3.2 INFORMACIÓN FINANCIERA

Se utilizaron los siguientes valores como condiciones de borde financieras para realizar los análisis técnicos económicos respectivos a esta fase del proyecto. Los valores aquí entregados fueron condensados de estudios anteriores de carácter público. [1][CITA VTV].



Tabla 10 Condiciones de borde financieras.

Parámetros económicos		
Tasa de descuento	%	0,10
IVA aplicable	%	0,19
IPC promedio para el período análisis	%	0,04
Incremento precio ELECTRICIDAD	%	0,05
Incremento precio GN	%	0,05

## 6.4 CARACTERIZACIÓN DE DEMANDAS

### 6.4.1 ZONIFICACIÓN

Como se comenta en la descripción general metodológica, la base para la zonificación corresponde a la división geográfica por grados-día realizada por el MIDEPLAN.

Para climatización se realizó un filtro general para determinar en qué regiones tiene sentido, y se llegó a la siguiente conclusión:

1. En las zonas 1 y 2 se descarta el uso de calor en los procesos de Jardines infantiles y calefacción distrital debido a que esta demanda tiene pocos meses de duración y no se contempla una demanda de refrigeración en verano que permita el uso de sistema geotérmico el resto del año, dado que los estándares de construcción en Chile no contemplan la refrigeración para ninguno de estos dos usos.
2. Tampoco se contempla en las zonas 6 y 7 el uso de sistemas de frío, para Jardines infantiles y calefacción distrital porque el número de grados-día calculados en base a la información obtenida para estas zonas no supera los 100°C-día.
3. Se descarta utilizar zonas de alta cordillera para uso de bombas de calor de baja entalpía por el escaso uso y alcance global del proyecto.

Luego, en base a las regiones y los niveles de producción por zona, se realizó un segundo filtro que terminó por definir la zonificación que entregó 39 casos de análisis, este se puede ver en la Tabla 4.



**Tabla 11: Zonificación final y uso de las bombas de calor según operación**

	Zonas								
	Frío	Calor	1	2	3	4	5	6	7
Calefacción en viviendas unifamiliares	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Calefacción en sistemas distritales		X			X	X	X	X	X
Calefacción de jardines infantiles		X			X	X	X	X	X
Calefacción y enfriamiento de hospitales	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Calefacción y enfriamiento de hotelería	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Calefacción de granjas de cerdos [2]		X		X	X				
Generación de calor y frío para procesos de vinificación [3] [4]	X	X			X	X	X		
Secado de leña/madera [5]		X					X	X	
Generación de calor para piscifactorías [6]		X						X	X

Las zonas seleccionadas para las operaciones de granjas de cerdos, vinificación y piscifactorías condensan sobre el 80% de la producción nacional según las fuentes enumeradas. El caso del secado de leña resultó en sólo uno ya que se encontró mediante cálculos que la incidencia de las condiciones climáticas, para el secado de leña en recintos cerrados, resultan despreciables.

#### 6.4.2 SISTEMAS DE CALEFACCIÓN – ENFRIAMIENTO

Como se describe anteriormente, los sistemas de calefacción y/o enfriamiento tienen el mismo comportamiento físico, salvo que sus condiciones de operación son bastante diferentes entre sí.

Las variables que determinan los perfiles de demanda y potencia para cualquiera de estos sistemas, que a su vez son las variables que el software RETScreen utiliza como parámetros de entrada, son:

- Superficie (m<sup>2</sup>): Área utilizada por el proceso/instalación en cuestión.
- Temperatura de consigna (°C): Temperatura de referencia para calefacción o enfriamiento de recintos.
- Potencia específica de calefacción (W/m<sup>2</sup>): Corresponde a la potencia necesaria por unidad de superficie para calefaccionar un determinado espacio. Su valor depende de las condiciones de aislación y parámetros de transmisividad del espacio en cuestión.
- Potencia específica de enfriamiento (W/m<sup>2</sup>): Corresponde a la potencia necesaria por unidad de superficie para enfriar un determinado espacio. Su valor depende de las condiciones de aislación y parámetros de transmisividad del espacio en cuestión.



- Demanda base ACS: Energía o porción de la energía demandada, utilizada para agua caliente sanitaria.
- Grados-día a la temperatura de consigna para cada zona (°C): Diferencias de temperatura entre la ambiental y la de consigna, sumadas a lo largo de un día.

#### 6.4.2.1 JUSTIFICACIONES DE DATOS DE OPERACIÓN

##### Superficie de recintos

En la Tabla 2.5 se muestra la superficie escogida para cada caso:

- Se asumió el área de la vivienda estándar para los casos residenciales
- Los Jardines infantiles se acotó a un caso genérico desde el valor medio de los jardines JUNJI [7].
- El área de hospitales se obtuvo en base a una media de recopilación de establecimientos en Chile.
- Para hoteles se asumió la superficie de un gran hotel en base a información referencial [8].
- Para Corrales de Cerdos se utilizó información obtenida desde el proyecto Appsol [1]

**Tabla 6.12 Parámetros de operación NO geográficos para procesos de climatización. Fuente: Elaboración propia**

Estructura	Superficie (m <sup>2</sup> )	T consigna (°C)
viviendas unifamiliares	100	19-25
sistemas distritales (700 casas)	70.000	19-25
Jardines infantiles	145	19-25
Hospitales	60.000	19-25
Hoteles	31.800	19-25
Corral de lechones	7.440	30

##### Potencias de calefacción y enfriamiento

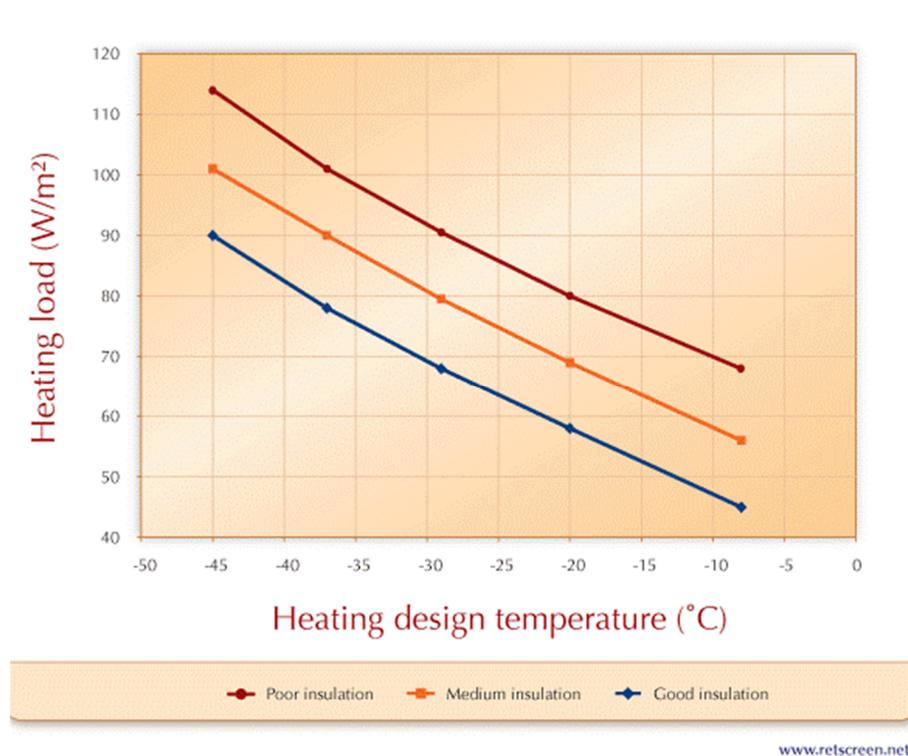
Para obtener las potencias específicas de calor y frío, se utilizó la información de RETScreen (Figura 2.5 para calor y) a partir de los cuales se establece una relación entre el grado de aislación y la diferencia entre la temperatura mínima de diseño y la temperatura de consigna.



Los niveles de aislación se supusieron en base a la experiencia del equipo técnico en dichos tipos de edificación.

**Tabla 6.13 Nivel de aislación según tipo de estructura. Fuente: Elaboración propia**

Estructura	Nivel de aislación
Viviendas unifamiliares	Media
Sistemas distritales (700 casas)	Media
Jardines infantiles	Media
Hospitales	Media
Hoteles	Media
Corral de lechones	Baja



**Figura 6.20 Potencia de calefacción específica en función de la temperatura de diseño Fuente: RETScreen 4**

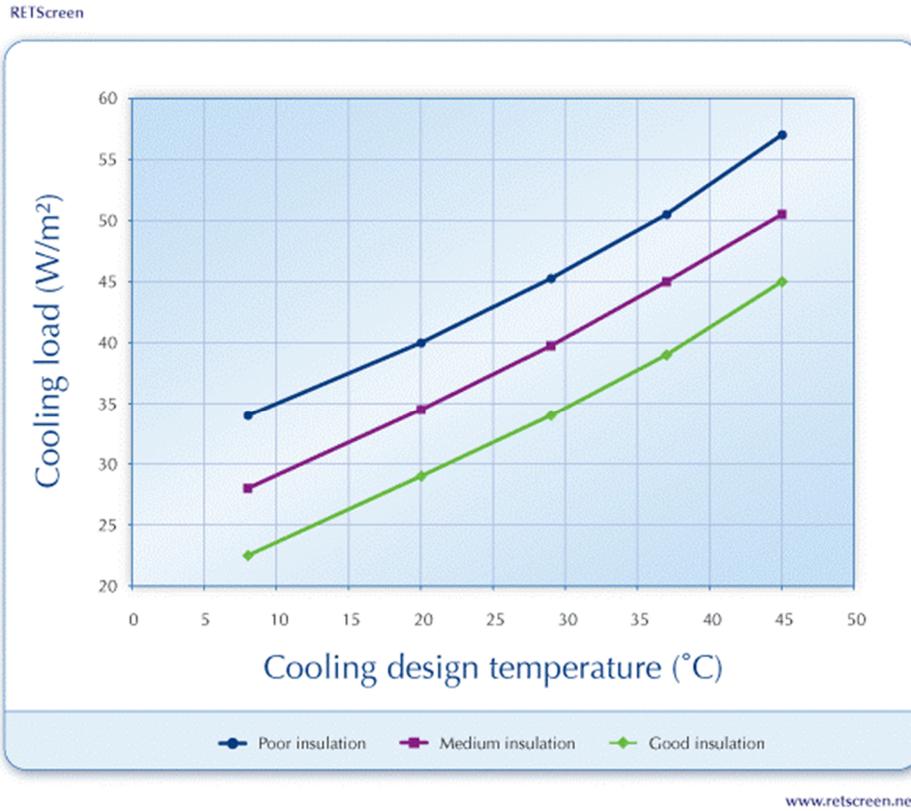


Figura 21 Potencia de enfriamiento específica en función de la temperatura de diseño Fuente: RETScreen 4

Para la obtención de mejores resultados, se hizo una regresión lineal de las curvas para ajustarlas mejor a los grados-día de cada proceso-zona. Los resultados se encuentran condensados en la Tabla 2.7 y Tabla 2.8 según la zonificación establecida en la Tabla 4.

Tabla 6.14 Potencia de calefacción según proceso y zona. Fuente: Elaboración propia

	Carga de calefacción (W/m <sup>2</sup> )						
	1	2	3	4	5	6	7
Calefacción de Viviendas (Individuales)	47,51	54,22	47,84	50,95	48,95	50,16	46,18
Calefacción de Viviendas (Distrital)	-	-	47,84	50,95	48,95	50,16	46,18
Calefacción de granjas de cerdos	-	69,22	62,84	-	-	-	-
Calefacción de jardines	-	-	47,84	50,95	48,95	50,16	46,18
Calefacción de hospitales	47,51	54,22	47,84	50,95	48,95	50,16	46,18
Hoteles	47,51	54,22	47,84	50,95	48,95	50,16	46,18



**Tabla 6.15 Potencia de enfriamiento según proceso y zona. Fuente: Elaboración propia**

	Carga de enfriamiento (W/m <sup>2</sup> )						
	1	2	3	4	5	6	7
Enfriamiento de Viviendas (Individuales)	34,24	37,84	36,58	36,88	37,60	-	-
Calefacción de hospitales	34,24	37,84	36,58	36,88	37,60	-	-
Hoteles	34,24	37,84	36,58	36,88	37,60	-	-

### **Grados-día de proceso-zona**

Los grados-día de cada proceso-zona, dependen de la temperatura de consigna del proceso y el perfil de temperaturas de cada zona.

Los perfiles de temperatura fueron obtenidos de la base meteorológica Agromet y las temperaturas de consigna se justifican a continuación para cada caso entregando como resultados Los valores resultantes para operaciones con personas se expresan en Tabla 2.9 y Tabla 10 y los enfocados en granjas de cerdos en la Tabla 2.11. La temperatura base para el cálculo de grados día se indica a continuación.

### **Temperatura base para humanos**

Dado que los espacios a considerar están climatizados, se asume el uso de 15°C para calefacción y 20 °C para enfriamiento de recinto, para mantener las temperaturas de confort recomendadas por la cámara chilena de Climatización y por la OMS.

### **Temperatura base para lechones**

A partir de [9] se establece que el único uso de calor para esta industria corresponde al calentamiento de los corrales de lechones recién nacidos, durante los 10-20 primeros días de vida a 25-35 °C de temperatura para reducir la tasa de mortalidad.



**Tabla 6.16 Grados-día de enfriamiento según zona, para confort de personas. Fuente: Elaboración propia**

	Grados-día de enfriamiento Uso humano (°C)						
	1	2	3	4	5	6	7
Enero	53,35	47,23	121,33	87,01	40,21	2,37	9,84
Febrero	33,14	49,87	91,80	63,10	31,33	2,23	15,58
Marzo	30,53	47,31	93,91	51,39	31,11	2,95	1,49
Abril	37,65	22,08	31,26	10,32	4,15	0,00	0,00
Mayo	23,03	9,08	5,80	0,21	0,12	0,00	0,00
Junio	25,95	8,23	0,80	0,00	0,00	0,00	0,00
Julio	15,71	2,40	0,06	0,00	0,00	0,00	0,00
Agosto	27,68	6,63	3,43	0,00	0,00	0,00	0,00
Septiembre	36,42	10,28	4,36	0,79	0,28	0,00	0,00
Octubre	38,43	6,12	12,26	3,48	1,09	0,00	0,00
Noviembre	49,90	19,46	37,68	13,69	4,43	0,74	3,45
Diciembre	69,04	45,48	87,55	40,53	13,92	1,25	3,68
Total	440,82	274,18	490,24	270,52	126,64	9,54	34,03

**Tabla 17 Grados-día de Calefacción según zona, para confort de personas. Fuente: Elaboración propia**

	Grados-día de Calefacción Uso humano						
	1	2	3	4	5	6	7
Enero	52,04	21,33	12,12	24,85	62,17	59,06	69,67
Febrero	45,35	21,88	16,00	30,80	74,08	61,75	70,12
Marzo	54,64	24,97	19,43	51,41	97,71	82,43	121,97
Abril	76,58	66,03	58,00	89,24	116,47	122,43	191,45
Mayo	128,99	137,31	132,58	166,30	170,09	151,98	256,48
Junio	134,31	189,44	182,78	206,21	229,33	229,19	330,66
Julio	179,34	174,51	194,54	238,63	244,43	246,79	340,54
Agosto	140,20	112,71	132,48	187,15	207,51	239,19	348,00
Septiembre	109,04	99,26	100,26	171,65	211,55	230,83	278,53
Octubre	83,95	90,94	85,37	129,00	158,26	182,03	224,00
Noviembre	76,90	57,97	34,46	74,62	107,34	123,95	136,04
Diciembre	50,43	38,26	21,86	46,46	79,45	89,03	100,85
Total	1131,78	1034,61	989,88	1416,32	1758,38	1818,66	2468,31



**Tabla 6.18 Grados-día de calefacción según zona, para confort de lechones**

	Grados-día de Calentamiento uso lechones (°C)						
	1	2	3	4	5	6	7
Enero	240,1	215,9	154,5	187,0	274,5	340,8	188,5
Febrero	236,3	204,9	167,7	200,1	285,9	325,9	180,5
Marzo	272,5	226,5	178,8	251,6	326,7	371,0	263,3
Abril	280,2	297,2	279,7	345,3	391,7	418,1	340,8
Mayo	367,0	406,3	412,6	467,8	475,1	461,6	411,5
Junio	365,1	456,2	473,9	505,8	529,3	529,2	480,7
Julio	434,5	465,5	500,6	548,6	554,4	556,8	495,5
Agosto	377,9	394,4	424,0	494,1	517,0	549,2	503,0
Septiembre	317,1	362,3	374,7	465,0	507,3	530,7	428,5
Octubre	293,6	357,7	346,6	413,9	452,7	490,2	376,4
Noviembre	264,1	285,8	235,5	320,1	379,0	414,8	271,7
Diciembre	217,0	231,8	178,9	251,2	327,5	373,9	234,9
Total	3665,34	3904,36	3727,40	4450,40	5020,99	5362,12	4175,17

## Demanda base de ACS

La tabla se construyó en base a las temperaturas de agua de red para cada zona establecidas en [10] y el consumo diario por persona según cada tipo de estructura, como se detalla en la siguiente tabla.

**Tabla 6.19 Base de cálculo de demanda base de ACS (Fuente: Elaboración propia)**

Estructura	Litros por unidad	unidades
Viviendas unifamiliares	45	4 personas
Sistemas distritales	180	700 casas
Jardines infantiles	4	56 niños
Hospitales	150	400 camas
Hoteles	100	288 habitaciones

## 6.4.3 SISTEMAS DE PRODUCCIÓN INDUSTRIAL

### 6.4.3.1 PISCIFACTORÍAS

#### 6.4.3.1.1 Descripción

Para las piscifactorías se contempló el ciclo de producción de salmón y trucha, que según [6] concentra cerca de un 84% de la producción país.



Según [11], las operaciones que requieren uso de calor durante la crianza de salmones y truchas corresponde a las tareas de alevinaje y esmoltificación.

La primera de ellas consiste en el crecimiento de los primeros 5 meses de vida de los alevines, en que la temperatura debe ser controlada en torno a los 16°C en estanques con control automático.

Luego la esmoltificación, corresponde al proceso en que se adapta a los salmones para que vivan en aguas saladas (desde agua dulce a agua de mar). Este proceso dura aproximadamente 5 semanas o hasta que los salmones se hayan transformado en “smolts” (peso mayor a 100 grs. aproximadamente). La temperatura se fija en estanques abiertos en torno a los 14,5°C mediante un sistema de recirculación.

Si bien la primera tarea tiene una mayor temperatura de operación, la segunda se realiza sobre volúmenes considerablemente más grandes (en torno a unas 10 veces). Mientras que para una instalación tipo, una piscina de alevines puede tener hasta 60 m<sup>3</sup>, para la esmoltificación se utilizan estanques de hasta 500 m<sup>3</sup> para una densidad muy parecida de peses (35 kg/m<sup>3</sup> y 45 kg/m<sup>3</sup> respectivamente). Esto lleva a considerar que la operación más energo intensiva de la crianza corresponde a la esmoltificación.

Por este motivo, el modelo utilizado se hizo considerando las variables de producción de la esmoltificación determinadas según [12] y [13].

Para el modelo se supone que el uso de estas líneas de producción es continuo.

#### 6.4.3.1.2 Hipótesis

**Tabla 20: Hipótesis utilizadas en el modelo de piscifactorías**

Variable	Valor	Fuente
Estanques cilíndricos	500 m <sup>3</sup> , 15 m de diámetro	[12]
Fracción de Makeup diario	25%	[12]
Temperatura de consigna	14,5°C	[12]
Materiales constructivos	Fibra de vidrio 2 cm aprox.	[12]

Otras hipótesis:

1. Los estanques se hallan enterrados y al aire libre. Ver imágenes [12].



2. Se utilizó el método SAR (de recirculación de agua), puesto que es bastante más conveniente para el sistema de geotermia, ya que recircula el agua y de la misma forma el calor.
3. Se utilizó la información meteorológica proveniente de las estaciones de Huyar Alto para la zona 6 y Sta.Adela para la zona 5, todo provisto por la red de Agromet.
4. El modelo consiste en un volumen constante de agua a temperatura constante cuya demanda consiste en reponer las pérdidas térmicas asociadas a los fenómenos de: conducción, convección, radiación, evaporación y makeup. Durante las 8.760 horas del año, para las condiciones horarias obtenidas de las estaciones meteorológicas antes mencionadas.

#### 6.4.3.1.3 Zonas climáticas

Según [6] la producción se concentra fuertemente (sobre el 80%) en las regiones de Los Lagos, de Aysén y Magallanes que corresponden a las zonas 5 y 6 del presente estudio.

#### 6.4.3.1.4 Perfil de demanda

**Tabla 21: Datos del perfil de demanda de piscifactorías FUENTE: Elaboración propia en base a herramienta RETScreen.**

Potencia peak (kW) (en base al 95% del tiempo) <sup>19</sup>												
Zona 5	302											
Zona 6	1230											
Demanda máxima mensual (kWh)												
Zona 5	127.052											
Zona 6	208.867											
Porcentaje de demanda mensual en base a demanda máxima mensual (kWh)												
Zona	En	Fe	Ma	Ab	Ma	Ju	Jl	Ag	Se	Oc	No	Di
<u>5</u>	9%	13%	21%	40%	51%	77%	100%	84%	77%	61%	39%	24%
<u>6</u>	1%	2%	3%	10%	39%	43%	100%	57%	40%	22%	8%	3%

<sup>19</sup> Si se ordenan las potencias de la mayor a la menor de todo el año, es la potencia que corresponde al 438-avo valor más alto. Las potencias menores a este número representan un 95% del universo temporal y son todos inferiores debido al orden pre-establecido de mayor a menor..



## 6.4.3.2 VIÑAS

### 6.4.3.2.1 Descripción

Para la elaboración de vinos se contempló específicamente la vinificación del vino tinto por ser temporalmente más extensiva y por ende más energo-intensiva.

A diferencia de otros procesos industriales, la vinificación tiene un periodo de operación completamente definido por la vendimia y la duración de los distintos procesos. A pesar de esto, sí se considera un consumo base anual correspondiente principalmente a la guarda y/o reserva del vino.

De todas las operaciones que se realizan en durante la vinificación, las más relevantes corresponden a el enfriamiento de la guarda y la fermentación alcohólica en cuanto a frío. La fermentación maloláctica y el lavado de equipos son las operaciones que más consumen calor.

En particular, el uso de frío se concentra principalmente en los meses más cálidos y el de calor durante la vendimia (Marzo – Mayo).

Se contemplan del proceso de vinificación las tareas de fermentación alcohólica, guarda, fermentación maloláctica, estabilización tartárica y lavado de equipos.

Para el modelo se utilizó una viña mediana según [4] que contempla la vinificación de 1.000.000 de litros.

### 6.4.3.2.2 Hipótesis

**Tabla 22: Hipótesis utilizadas en el modelo de viñas**

Variable	Valor	Fuente
Superficie de bodega	854 m2	[4]

Otras hipótesis:

1. Todos los perfiles de demanda fueron provienen de [4], y su obtención se detalla en el entregable final de dicho proyecto.

### 6.4.3.2.3 Zonas climáticas

Para este tipo de industrias, se consideraron las zonas 3, 4 y 5 del presente estudio, que reúnen más del 85% de la producción nacional, según [3].



#### 6.4.3.2.4 Perfil de demanda

**Tabla 23: Datos del perfil de demanda de viña FUENTE: Elaboración propia en base a herramienta RETScreen.**

Potencia peak (kW)													
												Calor	Frío
Zona 3												249	142
Zona 4												198	216
Zona 5												193	198
Demanda máxima mensual de calor y frío resp. (kWh)													
												Calor	Frío
Zona 3												41.534	111.456
Zona 4												83.243	85.560
Zona 5												65.730	56.169
Porcentaje de demanda de calor mensual en base a demanda máxima mensual (kWh)													
Zona	En	Fe	Ma	Ab	Ma	Ju	Jl	Ag	Se	Oc	No	Di	
3	0%	0%	89%	90%	100%	40%	93%	81%	36%	5%	1%	0%	
4	0%	0%	68%	100%	61%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	
5	0%	0%	57%	68%	100%	64%	99%	95%	62%	27%	8%	1%	
Porcentaje de demanda de frío mensual en base a demanda máxima mensual (kWh)													
Zona	En	Fe	Ma	Ab	Ma	Ju	Jl	Ag	Se	Oc	No	Di	
3	100%	95%	83%	47%	16%	3%	0%	2%	7%	29%	55%	75%	
4	100%	97%	83%	39%	6%	2%	0%	0%	2%	17%	49%	76%	
5	96%	100%	78%	28%	2%	0%	0%	0%	0%	6%	33%	65%	

### 6.4.3.3 SECADO INDUSTRIAL DE MADERA

#### 6.4.3.3.1 Descripción

El secado industrial de madera, ya sea para su uso como combustible o como material constructivo, consiste en la evaporación de la humedad desde el valor residual cuando está recién cortada hasta el nivel requerido para su uso.

Sin embargo, para el secado de madera para la industria de la mueblería o la construcción, se requieren niveles de humedad demasiado bajos, que requieren temperaturas demasiado elevadas (>120°C) en relación al potencial que tienen las bombas de calor geotérmicas, por lo cual fueron descartadas del análisis.



Como caso base se utilizó la reducción de la humedad necesaria para su uso como combustible, definida por [14] en un 25%.

El método simulado para este proyecto es el de convección forzada, pues a diferencia de los métodos de secado solar y por convección natural, es el único que hace uso de sistemas mecánicos y energía reemplazable por aplicaciones geotérmicas.

La temperatura de secado para este tipo de operación puede variar entre 40-150°C, dependiendo de la producción objetivo y la terminación deseada en la madera. Para este caso se supuso que la temperatura de consigna es la mínima debido a que esta temperatura está dentro del rango de producción de aire caliente a partir de una bomba de calor geotérmica.

En el modelo de secado se consideró la energía requerida para secar el aire inyectado por los sistemas calefactores y llevarlo a la temperatura de consigna (40°C), ya que en estricto rigor, el arranque de humedad ocurre debido al gradiente de humedades relativas entre el aire impulsado y la madera a secar.

Adicionalmente, los resultados de los modelos muestran que para las temperaturas y humedades menos favorables de las zonas 4 y 5 (5-10°C y 70-90% HR), no hay grandes variaciones en la energía de proceso (<8%). Por este motivo finalmente se utilizó el resultado de una sola zona con parámetros levemente favorables (10°C y 70%HR).

Esto quiere decir que la temperatura interna del galpón no es un parámetro realmente incidente en el proceso de secado, sino más bien una consecuencia de la necesidad de que el aire esté seco (humedad 5%).

Físicamente esto tiene sentido ya que el calor latente de evaporación del agua es unas mil veces más elevado que el calor específico del aire húmedo (2257 kJ/kg vs 1,21 kJ/m<sup>3</sup>.K).

A juzgar por las imágenes y los videos encontrados en internet, en Chile, este proceso se lleva a cabo generalmente en galpones con estructuras de madera enchapados en latón o acero.

Por lo que se explica anteriormente, el hecho de que los galpones estén pobremente aislados no tiene una incidencia directa en el proceso de secado, sin embargo, sí la tiene sobre el ciclo de recuperación.

Como los sistemas generalmente son de inyección/extracción, lo que ocurre es que las pérdidas térmicas reducen la cantidad de energía recuperable del fluido de trabajo.

En otras palabras, en un caso bien aislado, la disminución de temperatura debido al incremento de la humedad es relativamente bajo y ese aire que entró a 40°C seco, abandona el galpón a 27°C húmedo (debido al calor absorbido por el agua que se evapora



de la madera), lo que permite el uso de recuperadores aire-aire para precalentar el aire que está siendo inyectado y reducir el consumo energético y potencia requerida.

Sin embargo, cuando el galpón es sólo una estructura de latón o acero, las pérdidas son demasiado elevadas y esto hace que la temperatura de extracción a 35°C sea inferior.

Se consideró que este es un proceso continuo.

#### 6.4.3.3.2 Hipótesis

**Tabla 6.24: Hipótesis utilizadas en el modelo de secado de madera**

Variable	Valor	Fuente
Volumen a secar	7,5 m <sup>3</sup>	[15]
Temperatura externa	10°C	Datos meteorológicos
Temperatura de inyección	40°C	[15], [16] y [17]
HR promedio exterior	70%	Datos meteorológicos
HR de inyección	5%	[15]
HR de extracción	70%	Elaboración propia <sup>20</sup>
Tiempo de secado	28 días	[15]
Humedad inicial	60%	[15]
Humedad final	25%	[14]
Densidad de leña seca	780 kg/m <sup>3</sup>	[18]

Otras hipótesis:

1. Se consideró el secado industrial de eucalipto por ser la madera más común.
2. Los valores de la carta psicrométrica fueron obtenidos de las correlaciones escritas en Visual Basic para la aplicación PSYCH de Excel, los cuales a su vez proceden de las normas ASHRAE.
3. El volumen de producción considerado corresponde a una unidad productiva mediana según [2.5], sin embargo un solo productor, podría tener varias de estas unidades. En ese caso, la potencia debería ser equivalente al producto de cada unidad productiva por el número de unidades productivas.

<sup>20</sup> Se supuso esta temperatura de extracción para que no se produjera condensación a la temperatura de extracción.



#### 6.4.3.3.3 Zonas climáticas

No existe zona climática específicamente considerada dada la justificación de baja incidencia de la localización en el proceso productivo.

#### 6.4.3.3.4 Perfil de demanda

**Tabla 6.25: Datos del perfil de demanda de secado de madera FUENTE: Elaboración propia en base a herramienta RETScreen.**

Potencia peak (kW) (en base al 95% del tiempo)													
Zona 4 y 5											13,1		
Demanda máxima mensual (kWh)													
Zonas 4 y 5											9.427		
Porcentaje de demanda mensual en base a demanda máxima mensual (kWh)													
Zonas	En	Fe	Ma	Ab	Ma	Ju	Jl	Ag	Se	Oc	No	Di	
4 y 5	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	

## 6.5 CARACTERIZACIÓN DE COMBUSTIBLES

### 6.5.1 PRECIOS DE ENERGÍA CONSIDERADOS

En la Tabla 19 y Tabla 20 se muestran los precios estimados en base La información y metodología obtenida en el proyecto Appsol y elaboración propia según información pública de combustibles de empresas distribuidoras de gas y petróleo [1] .

Se incluye en la Tabla 19 un valor de combustible ponderado entre GLP para ACS y leña para Calefacción utilizada para el caso de una vivienda unifamiliar en la región centro sur y sur del país, la proporción se obtuvo en base a los resultados de los análisis de demanda base según zona.

**Tabla 26 Costos de combustibles utilizados, Fuente: Elaboración propia**

Costo combustibles		
Tarifa General utilizada GLP (medidor)	\$/kWh	58,91
Tarifa General utilizada (Biomasa)	\$/kWh	33,06
Tarifa General utilizada (Fueloil N°6)	\$/kWh	36,27



Tarifa General Ponderada (75% ACC Leña/35% ACS GLP)      \$/kWh      42,11

En el caso de la electricidad se obtuvieron los valores de los emplazamientos escogidos para cada zona. Para las viviendas unifamiliares se utilizó la tarifa BT1, mientras que para el resto se utilizó la tarifa BT3.

La tarifa BT3 incluye un costo relativo a potencia punta utilizada el cual se asumió de forma prorrateada por kWh consumido en un 20% del valor de energía según la zona.

**Tabla 27 Costos de electricidad según emplazamiento Fuente: elaboración propia según consulta 19/02/2016 al Tarifario público de las distribuidoras eléctricas.**

Zona	Tarifa BT1	Tarifa BT3-Energía	Tarifa BT3- total estimado
1	99	61	78
2	128	85	109
3	121	79	102
4	129	81	104
5	128	81	104
6	142	90	116
7	163	81	104

## 6.5.2 FACTORES DE EMISIONES DE GEI

Debido a que el análisis de los casos contempla el uso de fuentes generadoras en base a combustibles, es importante cuantificar la mitigación de gases de efecto invernadero (GEI) con el uso de la tecnología aquí analizada.

Por la generalidad del proyecto sólo se centrará en la generación de CO<sub>2</sub> o CO<sub>2</sub> equivalente, para los consumos eléctricos. Esto se realizará con mediante los valores entregados en la “Guía de inventario de emisiones para PyMEs del ministerio de energía” [19]. Para el caso del cálculo de emisiones en el sistema eléctrico de Aysén, se utilizó bibliografía para la estimación de la proporción de energía generada por fuentes de GEI y el cálculo de CO<sub>2</sub> asociado. En la Tabla 21 se condensan los datos referidos a los combustibles utilizados en el presente informe y en la Tabla 22 los datos referidos a los sistemas de generación eléctrica.

Cabe destacar que aunque la biomasa es también un combustible, sus emisiones CO<sub>2</sub> equivalentes, por convención internacional, son nulas debido a que las emisiones generadas fueron absorbidas durante la vida del árbol.



**Tabla 28 Datos emisiones según combustibles Fuente: [19]**

Combustible	kg CO2/MWh	kg CO2/m3	kg CO2/ton
Gas licuados de petróleo	227	1,642	2,985
Petróleo combustible N°6	279	2955	3127
Leña	0	0	0

**Tabla 29 Datos emisiones según red eléctrica asociada Fuente: Elaboración propia en base a [19] y [20]**

Red eléctrica	kg CO2/MWh
Electricidad (SING)	764
Electricidad (SIC)	346
Electricidad Aysén	197

### 6.5.3 VALORES FÍSICOS

Las características físicas referidas a los combustibles utilizados en el cálculo de costos de la energía se obtuvieron del Balance Nacional de energía 2012.

**Tabla 30 Características físicas de los combustibles utilizados [21]**

Combustible	Densidad	PCI	
	kg/m3	kWh/kg	MJ/kg
Petróleo combustible n° 6	945	11,223	40,404
Gas licuado de petróleo (GLP)	550	13,140	47,302
Leña	770	3,608	12,987

## 6.6 CARACTERIZACIÓN DE COSTOS

A continuación se entregan los valores de costos necesarios para realizar el análisis técnico económico de los casos de instalaciones analizadas, estos costos comprende tanto los costos de inversión de cada tipo de tecnología como los costos de mantenimiento asociados durante la vida útil de la misma.

Se entregan los valores asociados a bombas de calor geotérmicas y a los sistemas alternativos de generación de calor y frío como calderas y chillers.



Debido a que el análisis realizado es comparativo a distintas tecnologías en un mismo escenario, no se ha incluido en este capítulo los costos referidos las redes de servicio de calefacción, ACS y otros usos térmicos.

### 6.6.1 COSTOS DE INVERSIÓN

Los costos de inversión están referenciados a curvas según potencia instalada a excepción del caso de viviendas unifamiliares. En la Tabla 24 se entregan los coeficientes necesario para el cálculo de estos valores, se remarca nuevamente que este sólo incluye el sistema de generación y no la distribución de servicio, común para todos los casos. La información aquí entregada está basada en la consulta de catálogos comerciales e información propia.

**Tabla 31 Valores para el cálculo de costos asociados a la inversión Fuente: Elaboración propia**

Costos Instalación según kW de sistema						
Descripción	Formato función	Unidad X	Resultado	A	B	C
Costo unitario según largo total, Perforación y sistema HX geotérmico <1000 m	Costo=A·X <sup>b</sup>	Longitud (m)	\$/m de perforación	739.707	-0,54	
Perforación y sistema HX geotérmico >1000 m	Costo=A·X	Longitud (m)	\$/m de perforación	20.000		
Costo según kW potencia de sistema GSHP <500 kW	Costo=(-B/(X+A)+C)	Potencia (kW)	\$ total en millones	421	108.318	257
Costo según kW potencia de sistema GSHP >500kW	Costo=A·X	Potencia (kW)	\$ total	130.000		
Costo según kW potencia sistema Caldera GLP	Costo=A·X+B	Potencia (kW)	\$ total	16.374	399.822	
Costo según kW potencia sistema Caldera Petróleo	Costo=A·X+B	Potencia (kW)	\$ total	9.060	649.803	
Costo kW potencia Chiller	Costo=A·X+B	Potencia (kW)	\$ total	117.728	219.691	

En el caso de viviendas unifamiliares se tomó un costo fijo de inversión de referencia basado en una potencia de calefacción punta de 5 kW térmicos basado en el uso de leña o GLP y un consumo punta de ACS de 500 W (Calefón de 10 litros).

**Tabla 32 Costos asociados a la inversión en vivienda unifamiliar Fuente: Recopilación de precio de casas comerciales**

Costos Instalaciones Vivienda unifamiliar(\$)		
Sistema ACC (GLP)+ACS (GLP)	\$ total	287.980
Sistema ACC (Leña)+ACS (GLP)	\$ total	259.411



## 6.6.2 COSTOS DE MANTENIMIENTO

En la Tabla 33, se muestra los costos de mantenimiento para las bombas de calor geotérmicas y se asumió un mismo costo para los sistemas con calderas convencionales. La información aquí entregada se entrega en forma de funciones de costos basadas en información propia. Los costos de mantenimiento se indican en la forma de visitas a la instalación. Se asumen 1 visita de mantención anual para viviendas unifamiliares, 1 semestral para Jardines infantiles y visitas mensuales para el resto de operaciones analizadas.

Tabla 33 Costos de mantenimiento en función de la potencia (X) Fuente: elaboración propia

Operación & Mantenimiento por visita			
	Función	A	B
GSHP < 70 kW	Costo=B	-	84.145
GSHP > 70 kW	Costo= AX+B	551	45.233
Caldera < 70 kW	Costo=B	-	55.000
Caldera > 70 kW	Costo= AX+B	308	33.420

## 6.7 CARACTERIZACIÓN MATEMÁTICA DE LOS SISTEMAS

### 6.7.1 INTRODUCCIÓN

Los sistemas GSHP son altamente sensibles a las condiciones de operación tanto en lo que a las temperaturas de operación se refiere como a las horas de trabajo, pues son sistemas de muy alta inversión relativa y requieren obtener factores de utilización alta para conseguir su pronta amortización.

Estas singularidades aconsejan su diseño mediante el uso de modelos de simulación dinámica horaria, mas ello no sólo requiere del uso de modelos horarios si no de la generación de perfiles de demanda horarios para poder llevar a cabo dichas simulaciones.

Dado que el objetivo del presenta trabajo no es el dimensionado detallado de un sistema, sino la evaluación del comportamiento de muchos sistemas para visualizar tendencias y dado que el alcance y nivel de detalle estaba limitado por los recursos disponibles, se optó por programar un modelo de cálculo que permitirá analizar los sistemas en base mensual y obtener los principales indicadores de forma aproximativa, concretamente los balances térmicos globales, los distintos COP y especialmente el calor recuperado entre consumos (frío vs calor) y cedido o extraído del suelo.

A parte de estos objetivos de carácter técnico que permiten observar el funcionamiento de los sistemas y sus potencialidades y especificidades, interesaba disponer de potencias y



de balances energéticos para desarrollar el análisis de los indicadores financieros y ambientales que permitan evaluar la idoneidad de la tecnología.

Así pues se implementaron modelos simplificados en base mensual tanto del sistema GSHP como de los sistemas de referencia o de apoyo, pues el análisis busca comparar el sistema GSHP, puro o hibridado según los casos, con un sistema de referencia convencional, constituido en general por una caldera y una enfriadora o chiller.

Hay que tomar consciencia que los modelos, por simplificados y sencillos que sean, a menudo son mucho más precisos que los datos de entrada, pues éstos son en general los que limitan la precisión de los cálculos. Para el caso que nos ocupa, por ejemplo, trabajamos con perfiles de demanda sintéticos en base mensual, ubicados en lugares teóricos y con temperaturas del suelo aproximadas a la temperatura ambiente promedio anual.

### 6.7.2 SISTEMAS GSHP

El sistema GSHP se ha caracterizado matemáticamente según el modelo descrito en [6] **GROUND-SOURCE HEAT PUMP PROJECT ANALYSIS**. Este algoritmo de cálculo tiene la particularidad de haber sido validado con medidas sobre instalaciones reales y nos permite aproximar el COP de los sistemas con cierto nivel de fiabilidad.

Se ha considerado que la temperatura de retorno del intercambiador con el suelo es la temperatura media ambiente anual y que el campo de pozos es suficientemente espaciado para disipar/absorber todo el calor inyectado o extraído sin modificar su temperatura, dado que para ello se debería haber considerado unas condiciones específicas de conductividad del suelo. Aun así, dado que tanto la saturación del suelo como la posibilidad de recuperación inter estacional son aspectos de interés, se ha cuantificado la cantidad de calor balanceado con el suelo y el nivel de desequilibrio entre calor y frío, para así identificar las aplicaciones que presentan dichas amenazas y oportunidades.

La energía cedida al suelo y la potencia de la bomba de calor se relacionan según:

Para frío:

$$Q_c = Q_{he,c} \frac{COP_c}{COP_c + 1}$$

Para calor:



$$Q_h = Q_{he,h} \frac{COP_h}{COP_h - 1}$$

Dónde  $Q_c$  es la potencia de refrigeración de la bomba de calor en el evaporador,  $Q_{he, c}$  es la energía inyectada al suelo a través del condensador y  $COP_c$  el rendimiento en modo refrigeración. Lo mismo para calor pero a la inversa.

El cálculo del COP se hace mediante la siguiente expresión polinómica como una función de la temperatura de entrada del fluido:

$$COP_{actual} = COP_{baseline} (k_0 + k_1 T_{ewt} + k_2 T_{ewt}^2)$$

$$Q_{c/h} = \chi (\lambda_0 + \lambda_1 T_{ewt} + \lambda_2 T_{ewt}^2)$$

Dónde  $COP_{actual}$  es el COP calculado de la bomba de calor para la condiciones y  $COP_{baseline}$  es el COP nominal de la bomba de calor en condiciones estándar de ensayo (p.e. 21°C para calefacción y 25°C para refrigeración),  $Q_{c/h}$  es la potencia de la bomba de calor, para calor o frío y  $k_i$  y  $\lambda_i$  son los coeficientes de correlación que aparecen en la Tabla 27. Finalmente  $\chi$  es un multiplicador de potencia para que el sistema cumpla con la demanda.

**Tabla 34. Coeficientes de correlación para COP y Q**

		Cooling	Heating
COP	ki0	1,53E+00	1,00E+00
	ki1	-2,30E-02	1,56E-02
	ki2	6,87E-05	-1,59E-04
Potencia	li0	1,41E+00	6,68E-01
	li1	-2,56E-03	2,80E-02
	li2	-7,25E-05	-1,06E-04

La implementación de las ecuaciones se ha hecho de tal forma que el sistema puede trabajar en modo frío, con o sin recuperación de calor útil, o en modo calor, en este caso si recuperación de frío. Dada la naturaleza de las demandas se ha dado prioridad al modo frío que se impone siempre que hay una mínima demanda de frío. Esto no obstante, dado que el modelo es en base mensual, genera una infraestimación del calor producido en



modo calor, pues el sistema puede operar todo un mes en modo frío con muy baja demanda, aun cuando hubiera más demanda de calor.

### 6.7.3 SISTEMAS DE REFERENCIA

Tal como se ha dicho, se han considerado como sistemas de referencia o de apoyo calderas y enfriadoras eléctricas convencionales.

Las calderas de GLP, fueloil o biomasa se han considerado en todos los casos con un rendimiento estacional del 90%.

Las enfriadoras se han considerado igualmente con un rendimiento estacional de 2,2 independientemente de la temperatura o el nivel térmico.

## 6.8 RESULTADOS POR SECTORES DE INTERÉS

### 6.8.1 INTRODUCCIÓN

A continuación se presentan los resultados del análisis por sectores de interés.

Para cada sector se muestran en detalle los resultados de uno o más casos con el objetivo de mostrar las principales casuísticas.

Las variables mostradas en los gráficos presentan las siguientes abreviaciones:

- COP HP c: COP de la bomba de calor en modo refrigeración
- COP HP h: COP de la bomba de calor en modo calor
- COP HP t: COP total de la bomba de calor incluyendo recuperación de calor
- COP GSHP: COP total del sistema GSHP incluyendo recuperación de calor y consumos de bombeo en campo de perforaciones
- COP SYS: COP del sistema hibridado, GSHP con el resto de tecnologías de generación
- Qhp c: Energía útil de refrigeración producida por la bomba de calor
- Qaux c: Energía útil de refrigeración producida por el chiller auxiliar
- Qhp h: Energía útil de calor producida por la bomba de calor
- Qhp h: Energía útil de calor producida por la caldera auxiliar
- Qgnd: calor cedido al suelo

Se muestra también una tabla resumen con los detalles del análisis financiero de cada caso.



## 6.8.2 INDUSTRIA VITIVINICOLA

Se han analizado 3 casos de industrias vitivinícolas en las zonas 2, 4 y 5 del estudio. Esta industria tiene la singularidad que presenta unas demandas de calor y frío muy complementarias que permiten un alto nivel de recuperación de calor directa, evitando la saturación del suelo y permitiendo el uso de menores cantidades de perforaciones de disipación i reduciendo los efectos de saturación del suelo o calentamiento/enfriamiento de aguas freáticas. Todo esto se traduce en unos COP de conjunto muy elevados, como se ve en los gráficos resumen de la viña de la zona 5.

Como se puede observar en la tabla resumen de análisis financiero, los sistemas presentan períodos de retornos muy interesantes, lo que indica que puede haber un gran potencial para esta tecnología en el marco de la industria del vino.

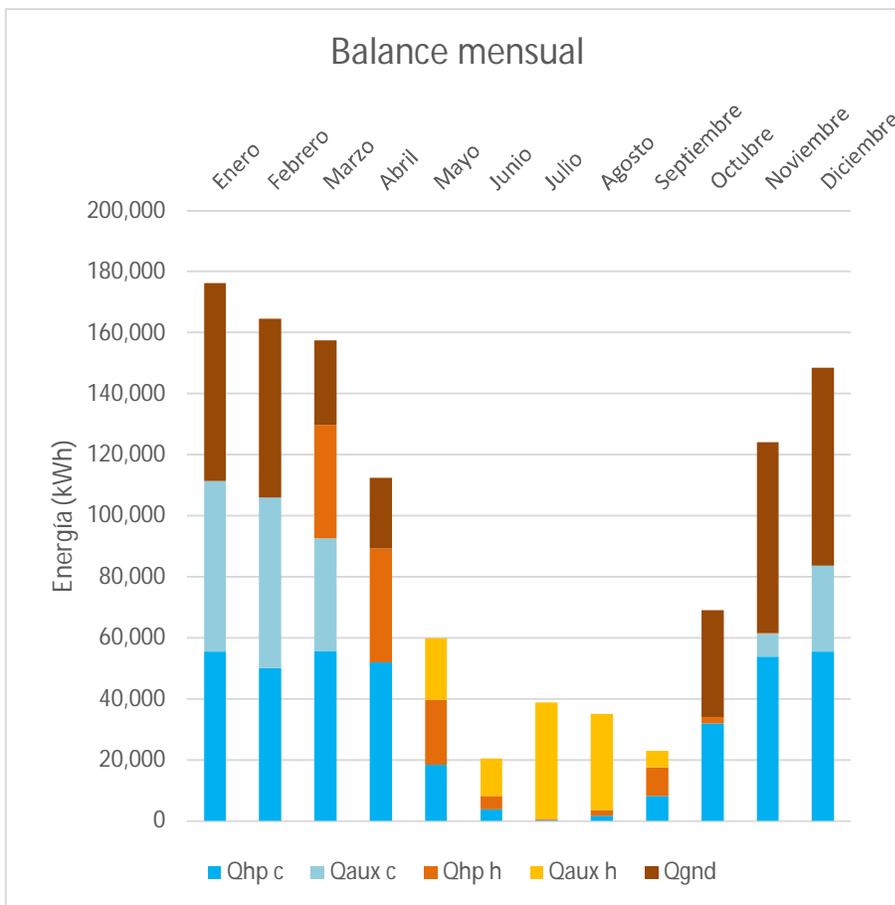


Figura 22. Balance mensual sistema GSHP híbrido para caso V5

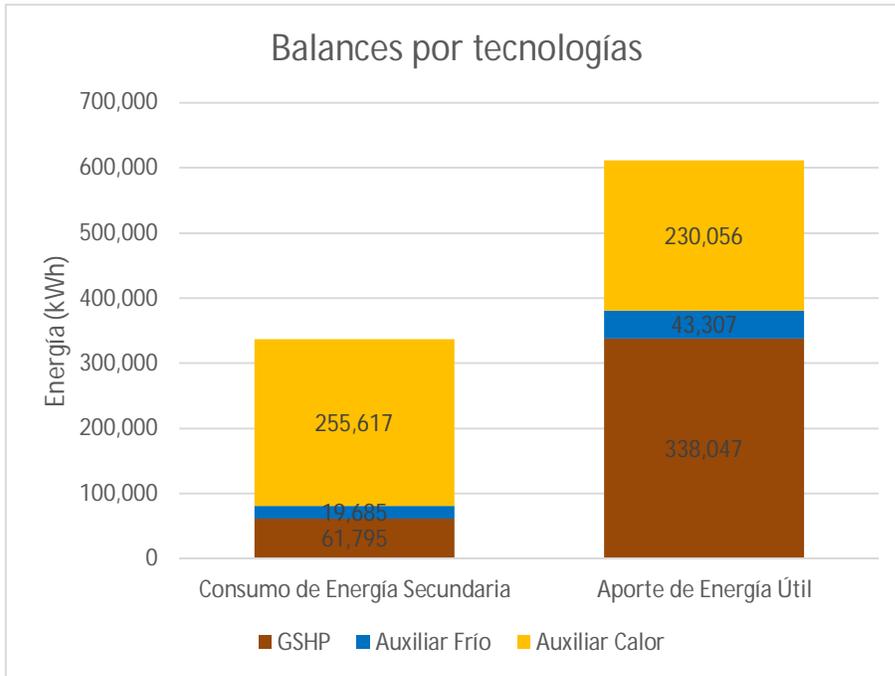


Figura 23. Balance anual por tecnologías y aportes para sistema GSHP híbrido para caso V5

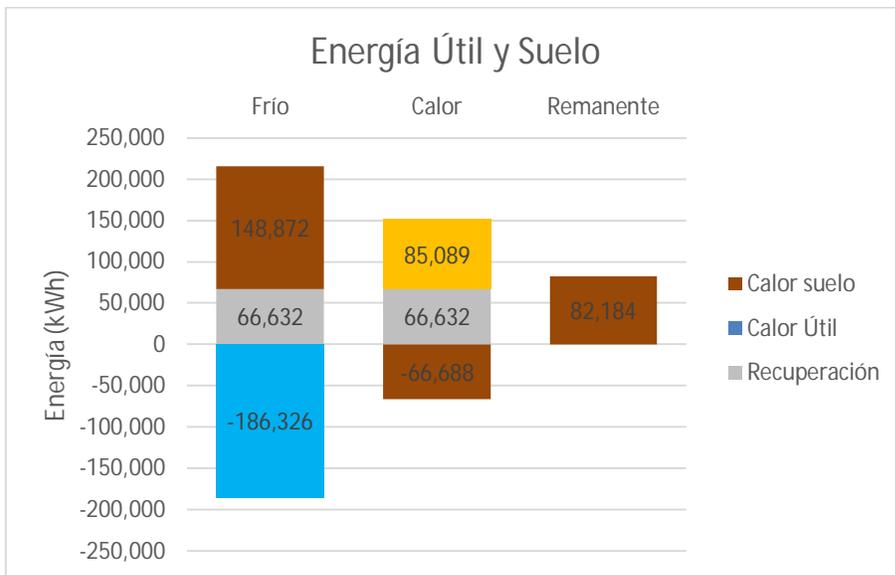
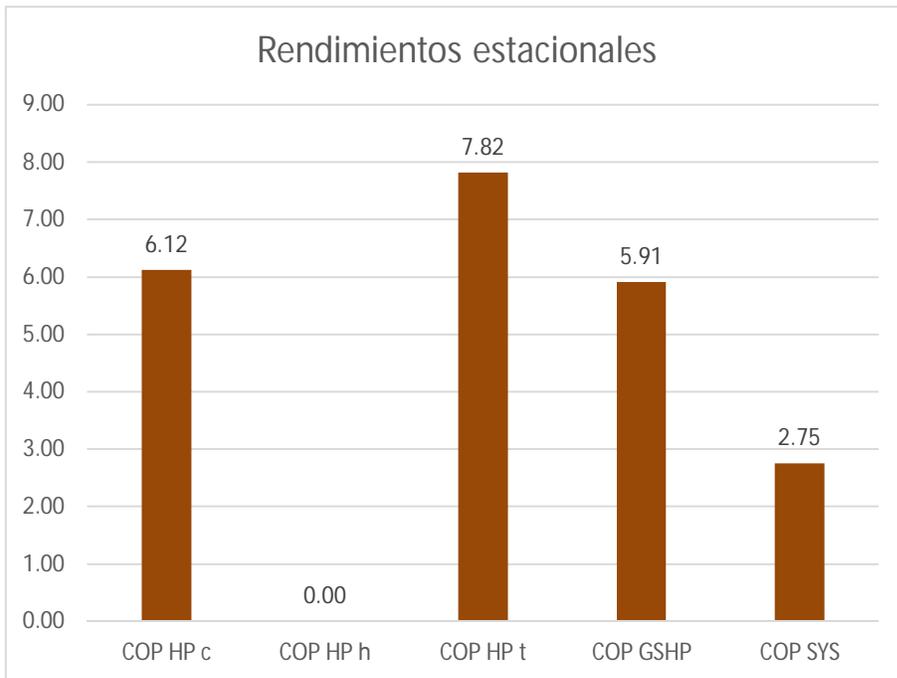


Figura 24. Balance anual de flujos de calor, frío y remanente para sistema GSHP híbrido para caso V5



**Figura 25. COP estacionales resultantes para sistema GSHP híbrido para caso V5**



Tabla 35. Tabla resumen de resultados de casos analizados para Industria Vitivinícola

Datos	Caso	-	V3	V4	V5	
	Combustible	-	GLP	GLP	GLP	
	Demanda Frío	kWh	571.070	401.822	229.633	
	Demanda Calor	kWh	221.863	191.350	381.777	
caso referencia	inversión	Sistema enfriamiento	MMCLP	26,61	21,21	20,62
		Sistema de calentamiento	MMCLP	4,96	4,16	3,89
		Total Inversión	MMCLP	31,57	25,37	24,51
	consumo	Electricidad	kWh	259.577	182.646	104.379
		GLP	kWh	246.514	212.611	424.197
		Biomasa	kWh	0	0	0
		Fueloil	kWh	0	0	0
	costos	Costo Energía	MMCLP	40,89	31,55	35,86
		Costo Mantenimiento	MMCLP	2,29	1,96	1,89
		Total costo O&M	MMCLP	43,18	33,51	37,75
	Emisiones CO2	TeqCO2	146	111	132	
caso GSHP	inversión	Sistema GSHP	MMCLP	141,32	116,91	103,74
		Sistema enfriamiento	MMCLP	3,15	2,55	4,75
		Sistema de calentamiento	MMCLP	0,00	0,00	1,24
		Total Inversión	MMCLP	144,47	119,46	109,73
	consumo	Electricidad	kWh	168.522	118.720	81.481
		GLP	kWh	119.751	105.082	255.617
		Biomasa	kWh	0	0	0
		Fueloil	kWh	0	0	0
	costos	Costo Energía	MMCLP	24,17	18,55	23,54
		Costo Mantenimiento	MMCLP	3,29	2,96	2,78
Total costo O&M		MMCLP	27,46	21,52	26,32	
	Emisiones CO2	TeqCO2	86	65	86	
Balances		Aportación GSHP Frío		68%	68%	81%
		Aportación GSHP Calor		51%	51%	40%
		Sobrecosto Inversión	MMCLP	113	94	85
		Ahorro Anual	MMCLP	16	12	11
		Período de retorno	años	7,2	7,8	7,5
		Ahorro anual emisiones	TeqCO2	60	47	46
		Ahorro anual emisiones	%	41%	42%	35%



### 6.8.3 PISCIFACTORÍAS

Se han analizado 2 casos de piscifactorías en las zonas 5 y 6 del estudio. Esta industria sólo presenta demandas de calor todo el año en la zona 5 y casi todo el año en la zona 6, tal como puede verse en los gráficos de balance mensual.

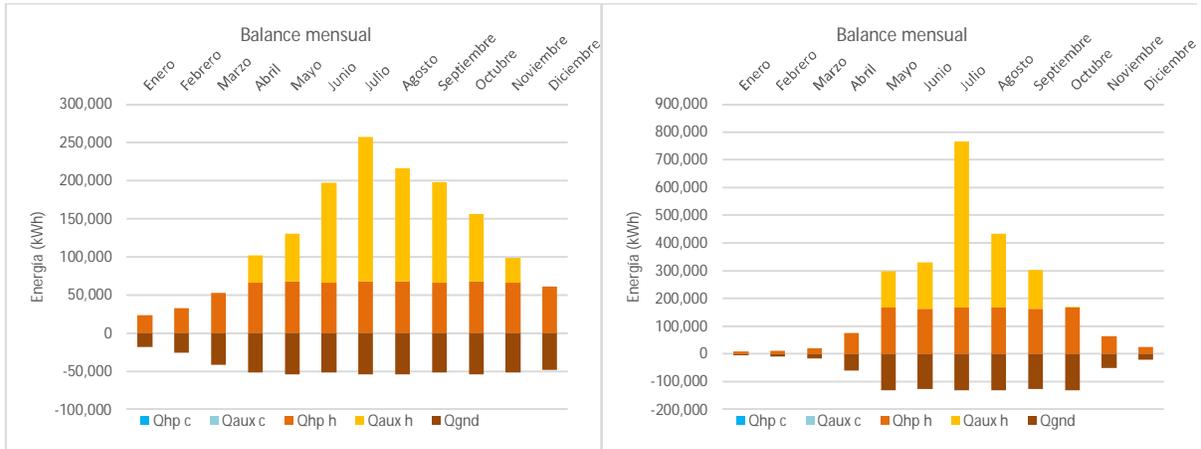
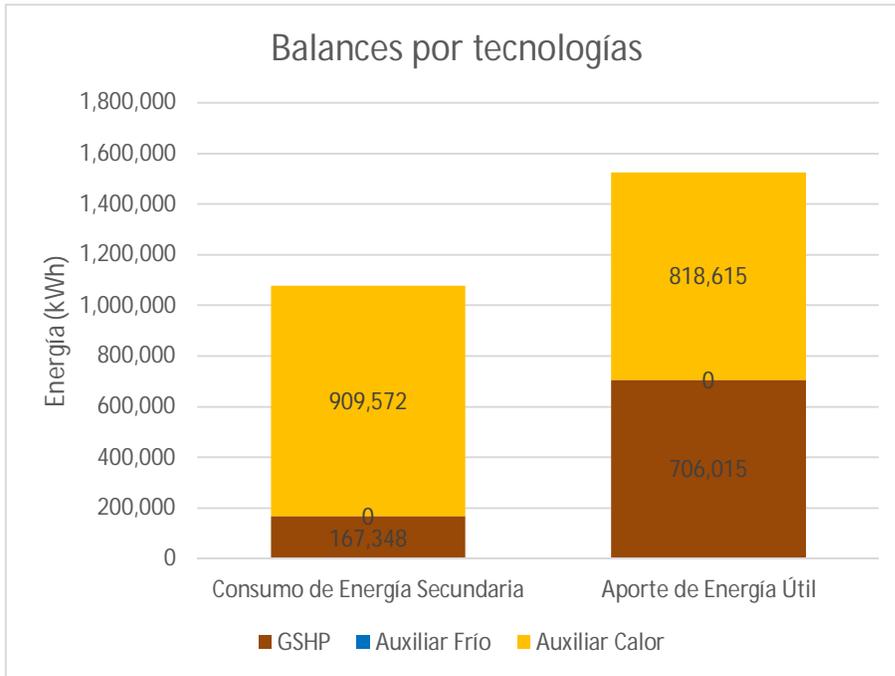


Figura 26. Balance mensual sistema GSHP híbrido para casos P5 y P6 (izquierda y derecha)

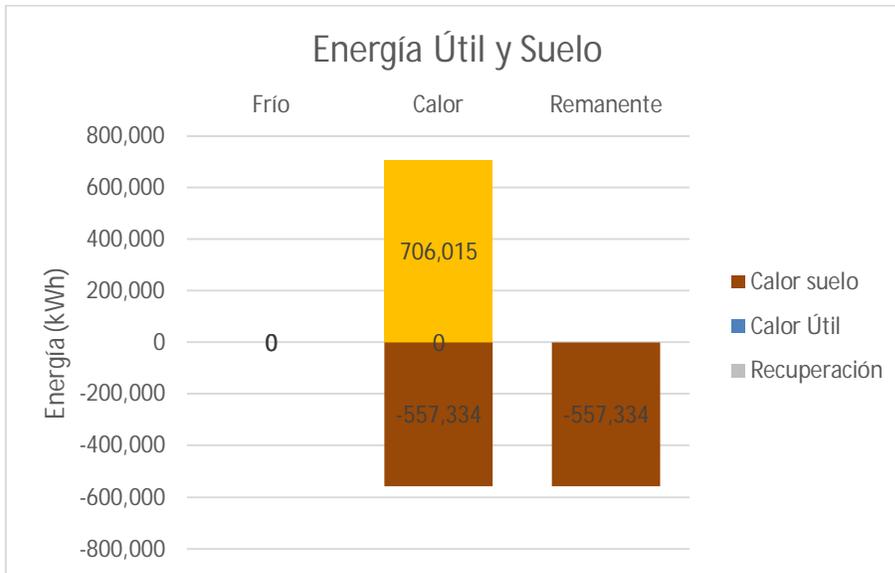
La diferencia entre ambos perfiles de demanda y el hecho que en la zona 6 se den picos de demanda muy elevados, hacen que la rentabilidad sea mucho mejor en la zona 5, dada la posibilidad de operar el sistema GSHP muchas más horas a lo largo del año, con aportaciones mucho mayores.

El hecho que no exista ninguna demanda de frío hace que el sistema opere 100% en modo calor sin ningún reaprovechamiento de energía, lo que limita el COPT y tiende a saturar el suelo si no se dimensiona correctamente el sistema de perforaciones, tal como se observa en los gráficos de balances.

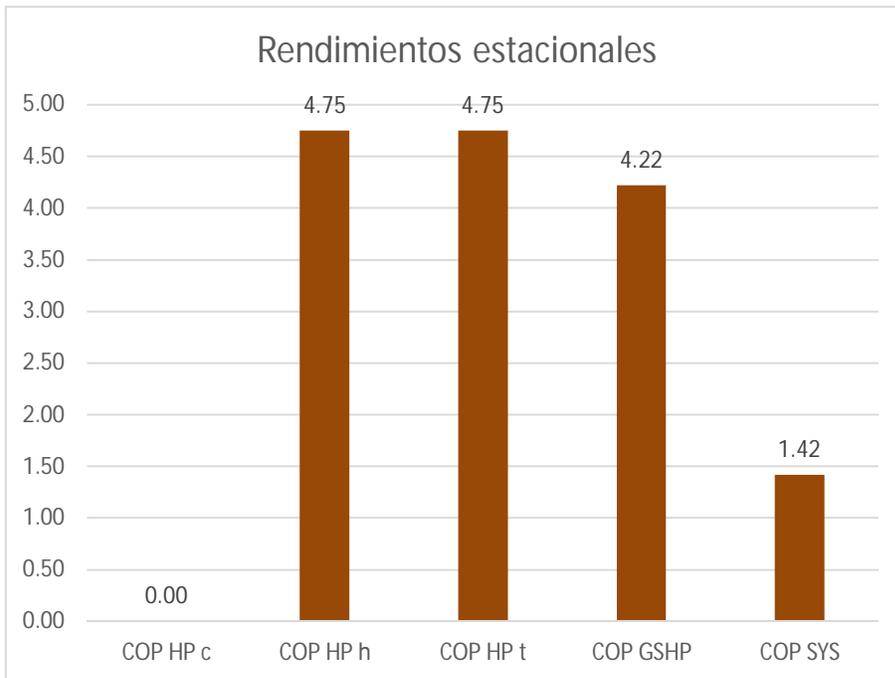
Como se puede observar en la tabla resumen de análisis financiero, los sistemas con demanda continua presentan períodos de retornos muy interesantes, lo que indica que puede haber potencial para esta tecnología en cierta tipología de piscifactorías.



**Figura 27. Balance anual por tecnologías y aportes para sistema GSHP híbrido para caso P5**



**Figura 28. Balance anual de flujos de calor, frío y remanente para sistema GSHP híbrido para caso P5**



**Figura 29. COP estacionales resultantes para sistema GSHP híbrido para caso P5**



Tabla 36. Tabla resumen de resultados de casos analizados para Piscifactorias

Datos	Caso	-	P5	P6		
	Combustible	-	FUELOIL	FUELOIL		
	Demanda Frío	<i>kWh</i>	0	0		
	Demanda Calor	<i>kWh</i>	1.524.630	2.506.410		
caso referencia	inversión	Sistema enfriamiento	<i>MMCLP</i>	9,83	26,21	
		Sistema de calentamiento	<i>MMCLP</i>	3,51	11,05	
		Total Inversión	<i>MMCLP</i>	13,34	37,26	
	consumo	Electricidad	<i>kWh</i>	0	0	
		GLP	<i>kWh</i>	0	0	
		Biomasa	<i>kWh</i>	0	0	
		Fueloil	<i>kWh</i>	1.694.033	2.784.900	
	costos	Costo Energía	<i>MMCLP</i>	61,44	101,01	
		Costo Mantenimiento	<i>MMCLP</i>	1,87	5,14	
		Total costo O&M	<i>MMCLP</i>	63,32	106,15	
	Emisiones CO2	<i>TeqCO2</i>	472	776		
	caso GSHP	inversión	Sistema GSHP	<i>MMCLP</i>	70,87	158,12
			Sistema enfriamiento	<i>MMCLP</i>	0,00	0,00
Sistema de calentamiento			<i>MMCLP</i>	2,53	8,38	
Total Inversión			<i>MMCLP</i>	73,39	166,50	
consumo		Electricidad	<i>kWh</i>	167.348	312.785	
		GLP	<i>kWh</i>	0	0	
		Biomasa	<i>kWh</i>	0	0	
		Fueloil	<i>kWh</i>	909.572	1.450.066	
costos		Costo Energía	<i>MMCLP</i>	50,42	88,79	
		Costo Mantenimiento	<i>MMCLP</i>	2,77	6,39	
		Total costo O&M	<i>MMCLP</i>	53,19	95,18	
Emisiones CO2		<i>TeqCO2</i>	311	512		
Balances		Aportación GSHP Frío		0%	0%	
	Aportación GSHP Calor		46%	48%		
	Sobrecosto Inversión	<i>MMCLP</i>	60	129		
	Ahorro Anual	<i>MMCLP</i>	10	11		
	Período de retorno	<i>años</i>	5,9	11,8		
	Ahorro anual emisiones	<i>TeqCO2</i>	161	264		
	Ahorro anual emisiones	<i>%</i>	34%	34%		



#### 6.8.4 SECADO DE LEÑA

El secado de leña es un proceso con tecnologías y procedimientos muy dispares. Plantear el uso de un sistema geotérmico para el secado de leña presupone partir de un sistema suficientemente tecnificado y que busca los mejores niveles de eficiencia y rentabilidad. Esto conlleva, según nuestro parecer, la incorporación de un sistema de recuperación de calor a la salida del aire húmedo y por lo tanto supone que el primer precalentamiento procede de dicho intercambiador. Dado que requerimos de aire seco sobre los 70°C y que las bombas de calor pierden mucho rendimiento a dichos niveles térmicos, la GSHP trabaja contra el aire de salida del recuperador de calor, a menor temperatura, y lo entrega a la caldera auxiliar, que trabaja a la temperatura máxima, pues ambos elementos son necesarios y rentables. Esta integración, aun siendo la mejor para la bomba de calor, requiere todavía un nivel térmico demasiado alto y empeora mucho su rendimiento y reduce sus horas de operación, lo que se puede observar directamente en el periodo de retorno que arroja.

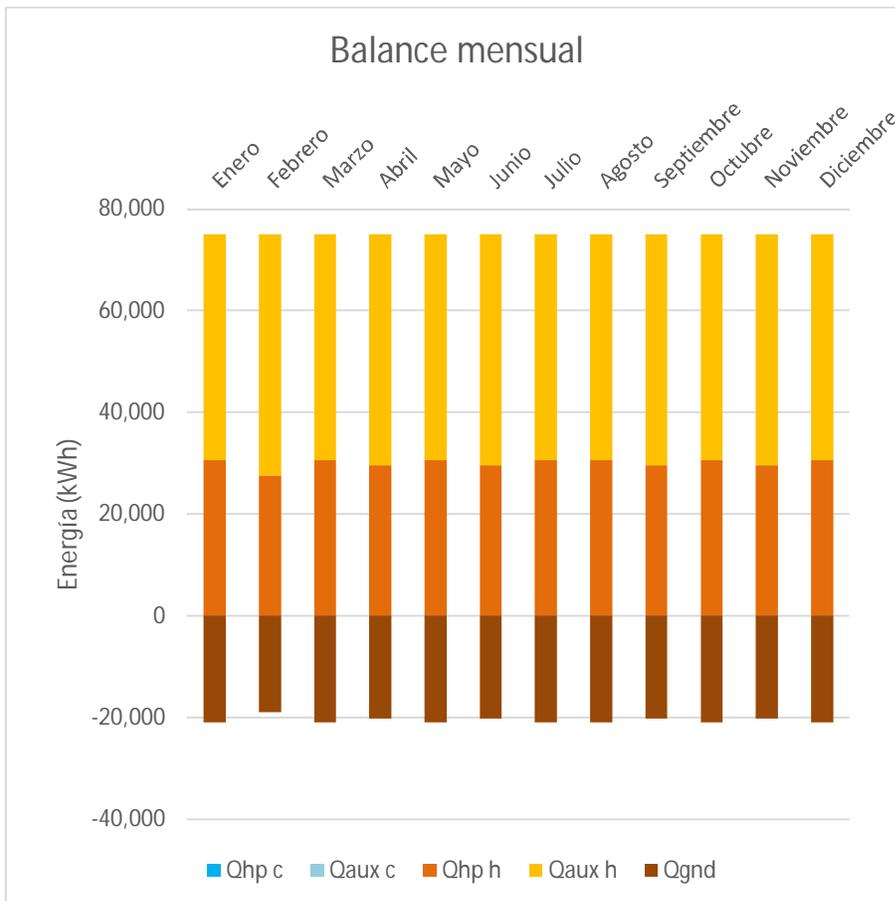
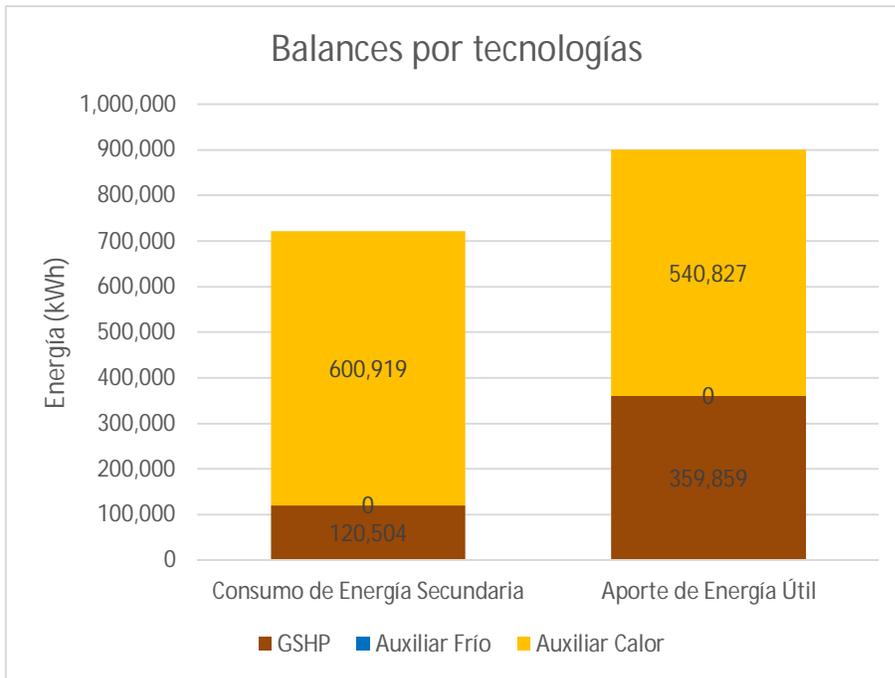
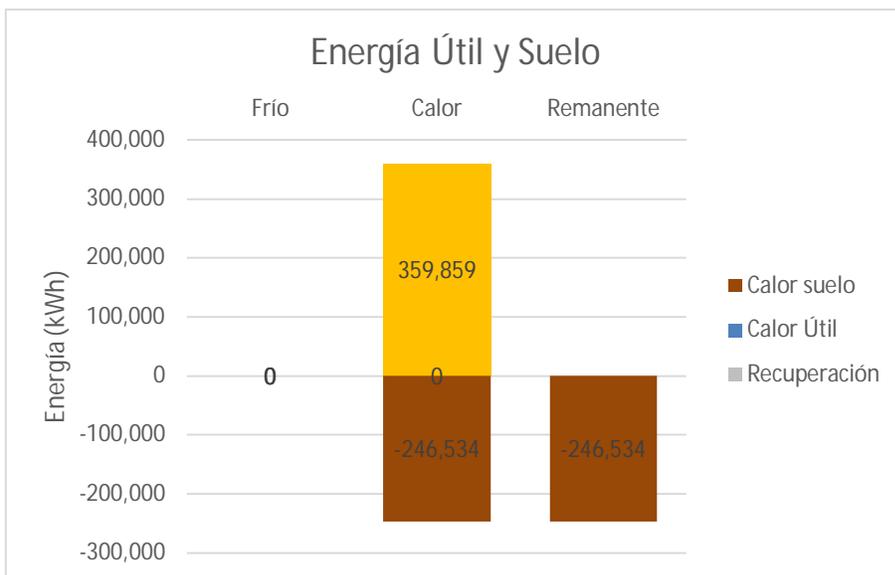


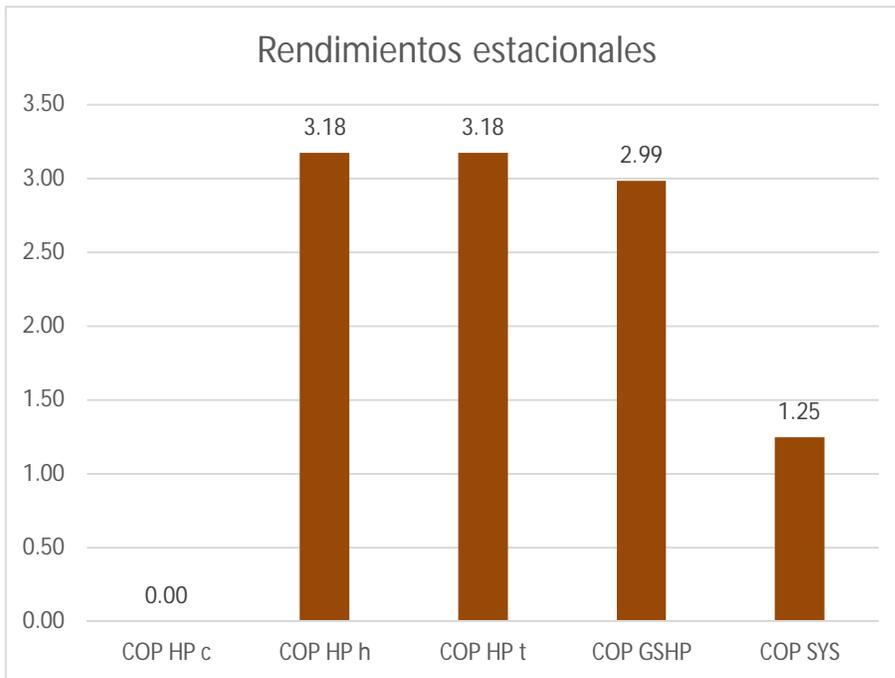
Figura 30. Balance mensual sistema GSHP híbrido para caso L45



**Figura 31. Balance anual por tecnologías y aportes para sistema GSHP híbrido para caso P5**



**Figura 32. Balance anual de flujos de calor, frío y remanente para sistema GSHP híbrido para caso P5**



**Figura 33. COP estacionales resultantes para sistema GSHP híbrido para caso P5**



**Tabla 37. Tabla resumen de resultados de casos analizados para Secado de Leña**

Datos	Caso	-	L45	
	Combustible	-	FUELOIL	
	Demanda Frío	<i>kWh</i>	0	
	Demanda Calor	<i>kWh</i>	900.686	
caso referencia	inversión	Sistema enfriamiento	<i>MMCLP</i> 3,93	
		Sistema de calentamiento	<i>MMCLP</i> 1,90	
		Total Inversión	<i>MMCLP</i> 5,83	
	consumo	Electricidad	<i>kWh</i>	0
		GLP	<i>kWh</i>	0
		Biomasa	<i>kWh</i>	0
		Fueloil	<i>kWh</i>	1.000.762
	costos	Costo Energía	<i>MMCLP</i>	36,30
		Costo Mantenimiento	<i>MMCLP</i>	1,24
		Total costo O&M	<i>MMCLP</i>	37,54
	Emisiones CO2	<i>TeqCO2</i>	279	
caso GSHP	inversión	Sistema GSHP	<i>MMCLP</i> 36,45	
		Sistema enfriamiento	<i>MMCLP</i> 0,00	
		Sistema de calentamiento	<i>MMCLP</i> 1,45	
		Total Inversión	<i>MMCLP</i> 37,90	
	consumo	Electricidad	<i>kWh</i>	120.504
		GLP	<i>kWh</i>	0
		Biomasa	<i>kWh</i>	0
		Fueloil	<i>kWh</i>	600.919
	costos	Costo Energía	<i>MMCLP</i>	34,34
		Costo Mantenimiento	<i>MMCLP</i>	2,17
Total costo O&M		<i>MMCLP</i>	36,52	
	Emisiones CO2	<i>TeqCO2</i>	209	
Balances	Aportación GSHP Frío		0%	
	Aportación GSHP Calor		40%	
	Sobrecosto Inversión	<i>MMCLP</i>	32	
	Ahorro Anual	<i>MMCLP</i>	1	
	Período de retorno	<i>años</i>	31,5	
	Ahorro anual emisiones	<i>TeqCO2</i>	70	
	Ahorro anual emisiones	<i>%</i>	25%	



### 6.8.5 GRANJAS DE CERDOS

Las granjas de cerdos presentan una demanda de calor que se extiende durante todo el año lo que las hace idóneas para un sistema de generación como la geotermia, a pesar de no presentar ninguna demanda de refrigeración que pudiera permitir recuperar calor y mejorar la eficiencia del sistema. Se han analizado en las zonas 2 y 3 con resultados muy similares, tal como se puede ver en la tabla resumen.

Cabe destacar que los resultados presentados presuponen el uso de losa radiante, que trabaja a menor temperatura que los sistemas convectivos.

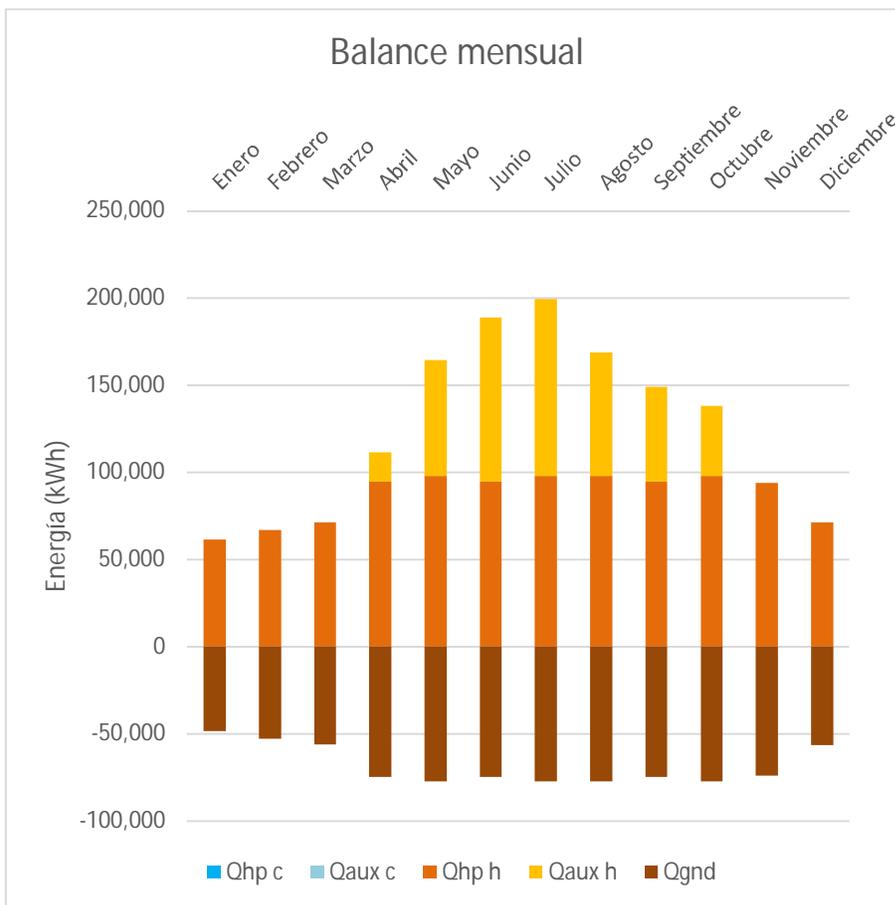


Figura 34. Balance mensual sistema GSHP híbrido para caso G3

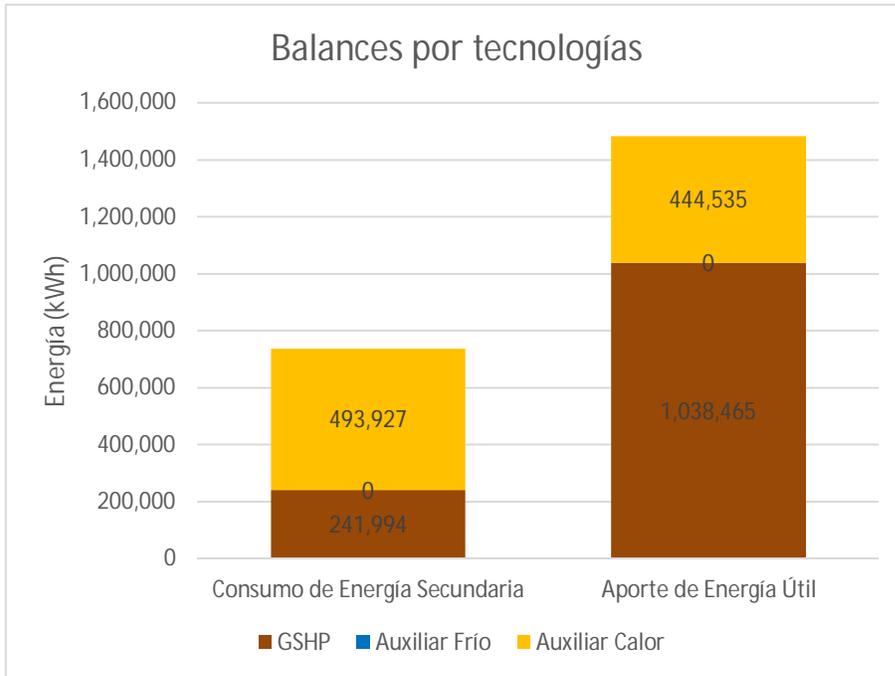


Figura 35. Balance anual por tecnologías y aportes para sistema GSHP híbrido para caso G3

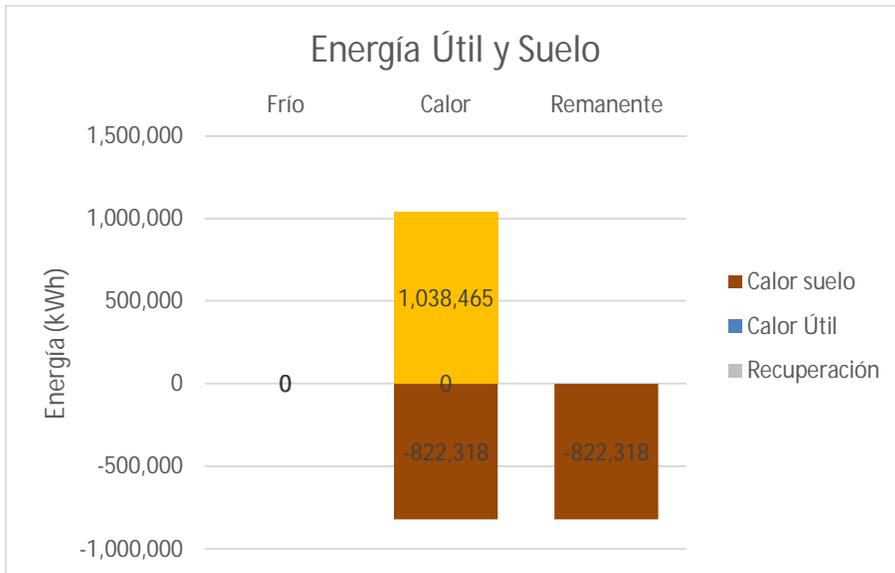
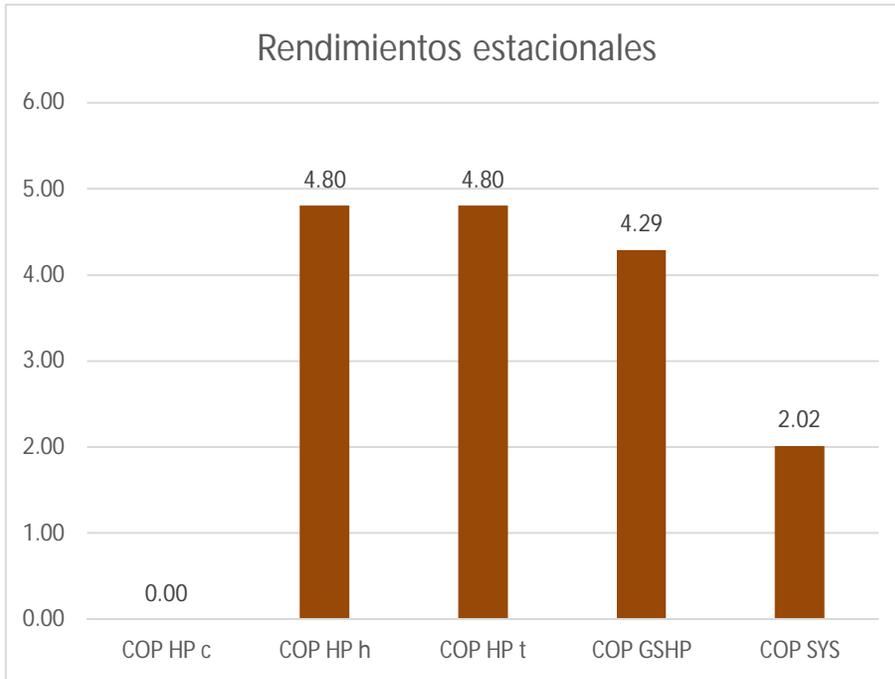


Figura 36. Balance anual de flujos de calor, frío y remanente para sistema GSHP híbrido para caso G3



**Figura 37. COP estacionales resultantes para sistema GSHP híbrido para caso G3**



Tabla 38. Tabla resumen de resultados de casos analizados para Granjas de Cerdos

Datos	Caso	-	G2	G3		
	Combustible	-	FUELOIL	FUELOIL		
	Demanda Frío	<i>kWh</i>	0	0		
	Demanda Calor	<i>kWh</i>	1.682.000	1.483.000		
caso referencia	inversión	Sistema enfriamiento	<i>MMCLP</i>	32,96	29,95	
		Sistema de calentamiento	<i>MMCLP</i>	5,25	4,86	
		Total Inversión	<i>MMCLP</i>	38,21	34,81	
	consumo	Electricidad	<i>kWh</i>	0	0	
		GLP	<i>kWh</i>	0	0	
		Biomasa	<i>kWh</i>	0	0	
		Fueloil	<i>kWh</i>	1.868.889	1.647.778	
	costos	Costo Energía	<i>MMCLP</i>	67,78	59,76	
		Costo Mantenimiento	<i>MMCLP</i>	3,23	3,00	
		Total costo O&M	<i>MMCLP</i>	71,02	62,76	
		Emisiones CO2	<i>TeqCO2</i>	521	459	
	caso GSHP	inversión	Sistema GSHP	<i>MMCLP</i>	187,46	174,72
			Sistema enfriamiento	<i>MMCLP</i>	0,00	0,00
Sistema de calentamiento			<i>MMCLP</i>	1,89	1,81	
Total Inversión			<i>MMCLP</i>	189,35	176,53	
consumo		Electricidad	<i>kWh</i>	281.978	241.994	
		GLP	<i>kWh</i>	0	0	
		Biomasa	<i>kWh</i>	0	0	
		Fueloil	<i>kWh</i>	525.781	493.927	
costos		Costo Energía	<i>MMCLP</i>	49,89	42,49	
		Costo Mantenimiento	<i>MMCLP</i>	4,24	3,99	
		Total costo O&M	<i>MMCLP</i>	54,13	46,48	
		Emisiones CO2	<i>TeqCO2</i>	244	221	
Balances		Aportación GSHP Frío		0%	0%	
	Aportación GSHP Calor		72%	70%		
	Sobrecosto Inversión	<i>MMCLP</i>	151	142		
	Ahorro Anual	<i>MMCLP</i>	17	16		
	Período de retorno	<i>años</i>	8,9	8,7		
	Ahorro anual emisiones	<i>TeqCO2</i>	277	238		
	Ahorro anual emisiones	<i>%</i>	53%	52%		



### 6.8.6 JARDINES INFANTILES

Los Jardines Infantiles no arrojan buenos resultados ni tan siquiera en la zona 7 dónde presentan un perfil de demanda de calefacción a lo largo de casi todo el año. Esto se debe a dos factores: uno la discontinuidad diaria del uso, por su falta de ocupación en la noche y dos el pequeño tamaño de los sistemas que no permite ni tan siquiera aprovechar la capacidad de una perforación.

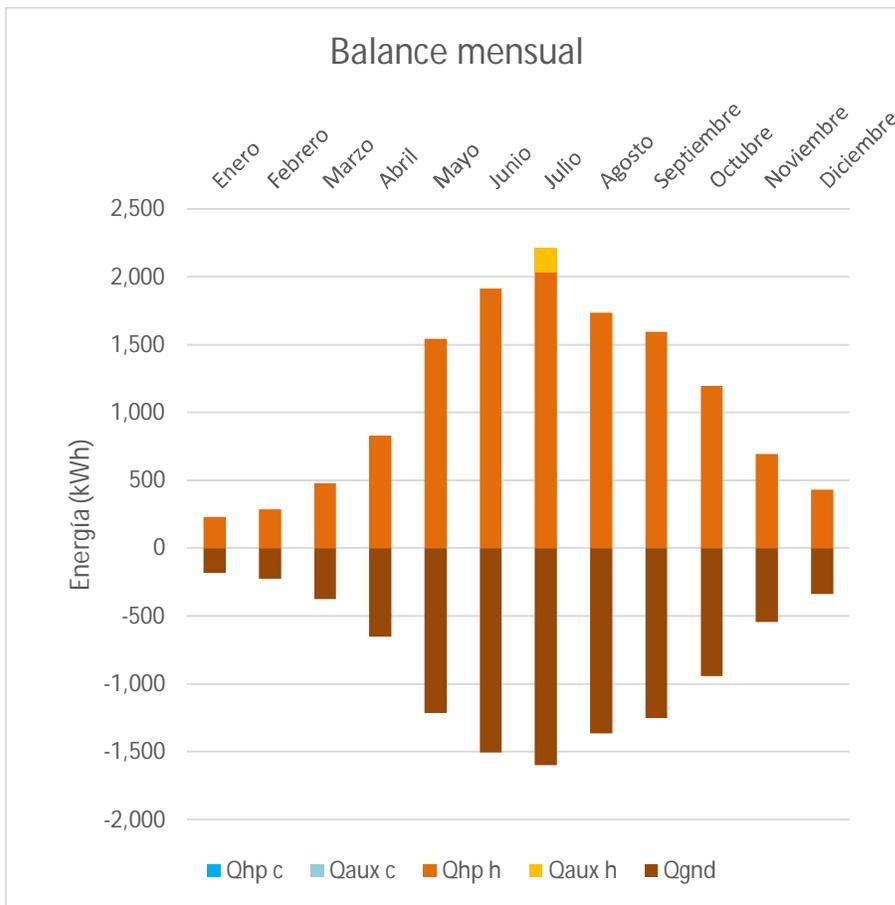


Figura 38. Balance mensual sistema GSHP híbrido para caso J4

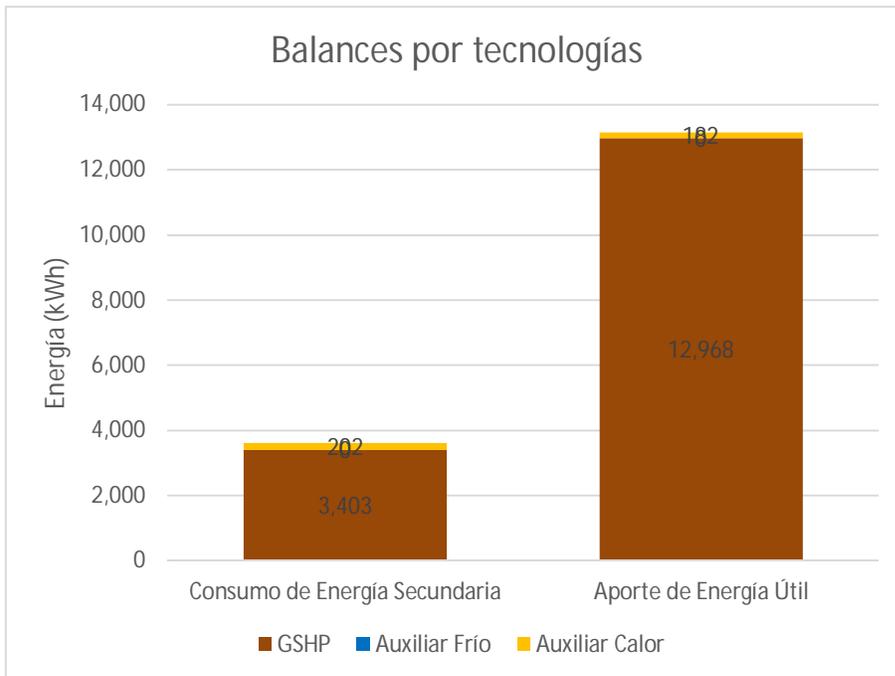


Figura 39. Balance anual por tecnologías y aportes para sistema GSHP híbrido para caso J4

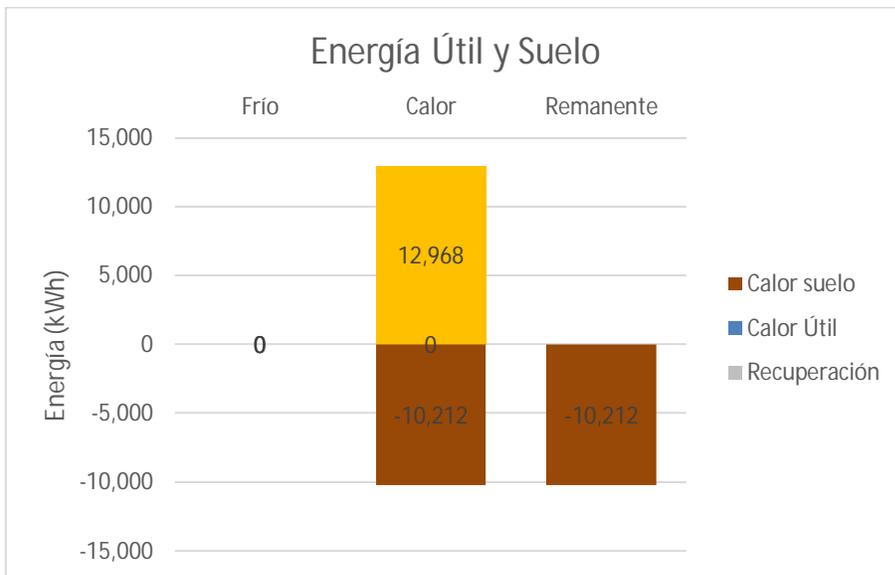
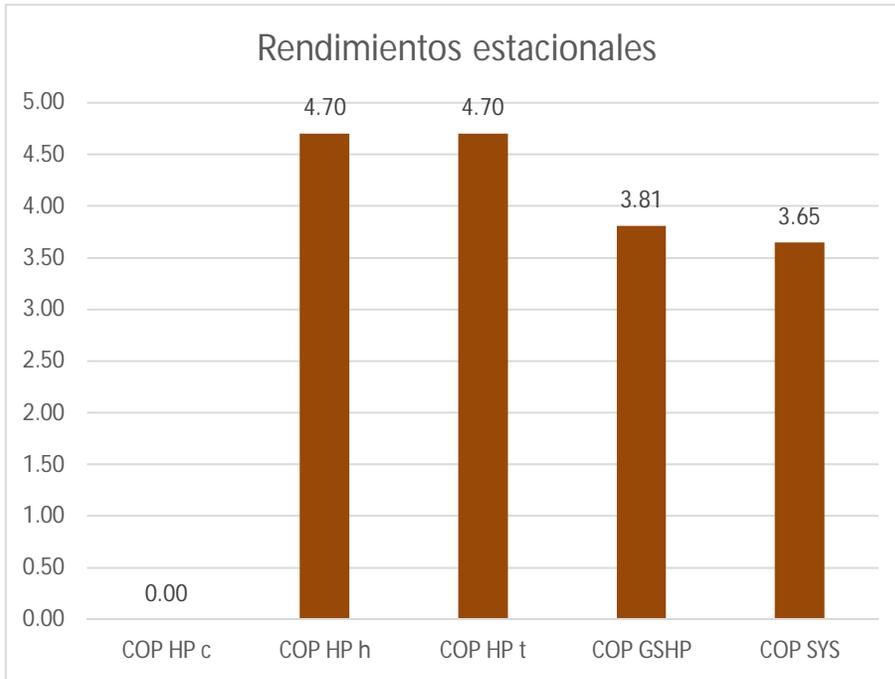


Figura 40. Balance anual de flujos de calor, frío y remanente para sistema GSHP híbrido para caso J4



**Figura 41. COP estacionales resultantes para sistema GSHP hibrido para caso J4**



**Tabla 39. Tabla resumen de resultados de casos analizados para Jardines**

Datos	Caso	-	J3	J4	J5	J6	J7	
	Combustible	-	GLP	GLP	GLP	GLP	GLP	
	Demanda Frío	<i>kWh</i>	0	0	0	0	0	
	Demanda Calor	<i>kWh</i>	9.950	13.150	14.207	15.321	18.568	
caso referencia	inversión	Sistema enfriamiento	<i>MMCLP</i>	0,83	0,87	0,85	0,86	0,81
		Sistema de calentamiento	<i>MMCLP</i>	1,16	1,17	1,17	1,17	1,16
		Total Inversión	<i>MMCLP</i>	1,99	2,04	2,01	2,03	1,97
	consumo	Electricidad	<i>kWh</i>	0	0	0	0	0
		GLP	<i>kWh</i>	11.055	14.611	15.785	17.023	20.632
		Biomasa	<i>kWh</i>	0	0	0	0	0
		Fueloil	<i>kWh</i>	0	0	0	0	0
	costos	Costo Energía	<i>MMCLP</i>	0,65	0,86	0,93	1,00	1,22
		Costo Mantenimiento	<i>MMCLP</i>	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19
		Total costo O&M	<i>MMCLP</i>	0,85	1,05	1,12	1,20	1,41
	Emisiones CO2	<i>TeqCO2</i>	3	3	4	4	5	
caso GSHP	inversión	Sistema GSHP	<i>MMCLP</i>	9,37	9,63	9,47	9,58	9,26
		Sistema enfriamiento	<i>MMCLP</i>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
		Sistema de calentamiento	<i>MMCLP</i>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
		Total Inversión	<i>MMCLP</i>	9,37	9,63	9,47	9,58	9,26
	consumo	Electricidad	<i>kWh</i>	2.717	3.403	3.686	3.861	3.967
		GLP	<i>kWh</i>	0	202	169	677	4.054
		Biomasa	<i>kWh</i>	0	0	0	0	0
		Fueloil	<i>kWh</i>	0	0	0	0	0
	costos	Costo Energía	<i>MMCLP</i>	0,28	0,37	0,39	0,49	0,65
		Costo Mantenimiento	<i>MMCLP</i>	0,36	0,36	0,36	0,36	0,36
Total costo O&M		<i>MMCLP</i>	0,64	0,73	0,76	0,85	1,01	
	Emisiones CO2	<i>TeqCO2</i>	1	1	1	1	2	
Balances	Aportación GSHP Frío		0%	0%	0%	0%	0%	
	Aportación GSHP Calor		100%	99%	99%	96%	80%	
	Sobrecosto Inversión	<i>MMCLP</i>	7	8	7	8	7	
	Ahorro Anual	<i>MMCLP</i>	0	0	0	0	0	
	Periodo de retorno	<i>años</i>	35,6	23,3	20,3	21,7	18,4	
	Ahorro anual emisiones	<i>TeqCO2</i>	2	2	2	2	3	
	Ahorro anual emisiones	<i>%</i>	63%	63%	63%	61%	64%	

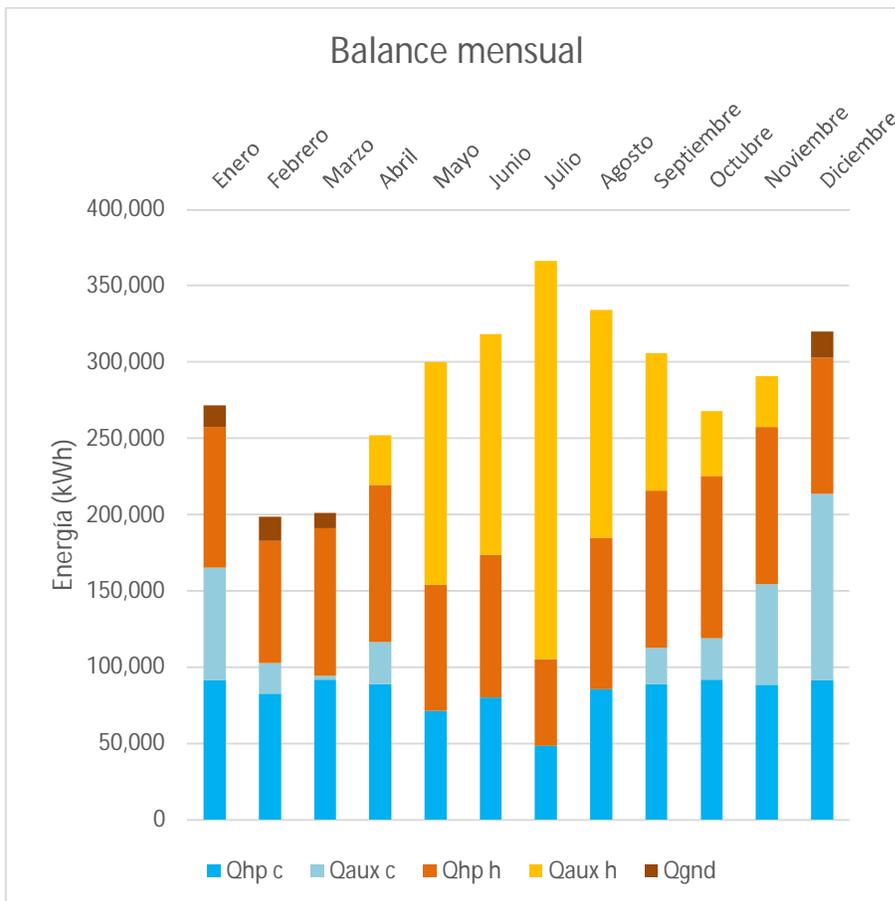


### 6.8.7 HOTELES

En los hoteles encontramos de nuevo el potencial de recuperación de calor entre demandas de calor y frío con todas las ventajas ya enumeradas de alto rendimiento, reducción de inversión en pozos, falta de saturación, etc. El caso extremo es el ejemplo del hotel en la zona 1 que recupera la práctica totalidad del calor reyectado en la producción de frío para su uso útil, condición que sólo puede darse cuando hay demandas simultáneas la práctica totalidad del año. En este caso observamos COP por encima de 10.

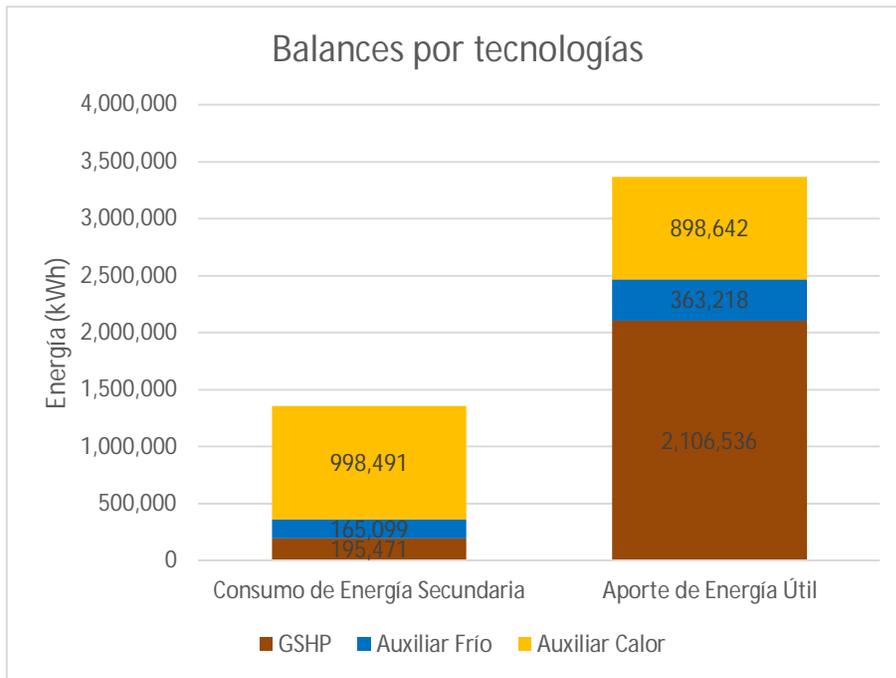
En el otro extremo el HT7, con puras demandas de calor, pero cuya continuidad en las mismas le otorgan igualmente una muy buena rentabilidad.

Como en el resto de casos de climatización, los resultados están condicionados al diseño de un sistema integrado que permita el trabajo en baja temperatura.

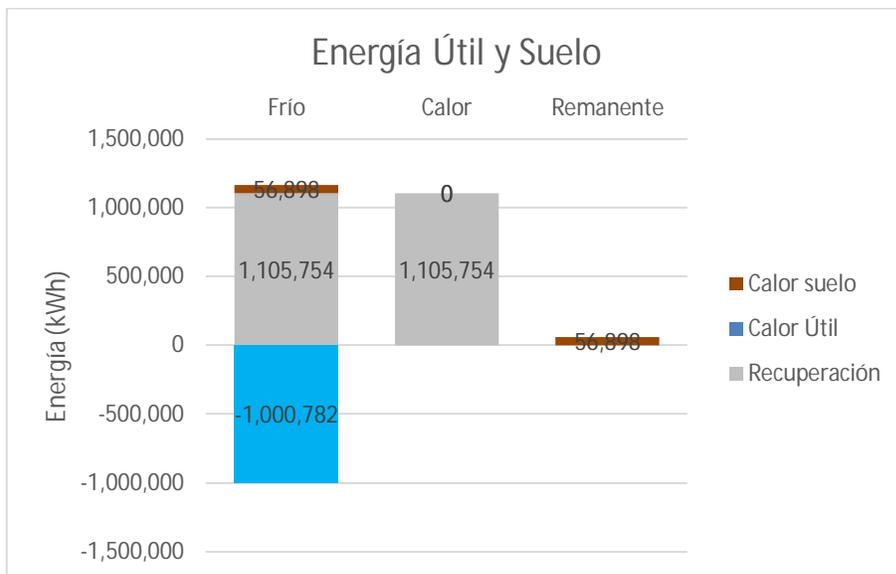




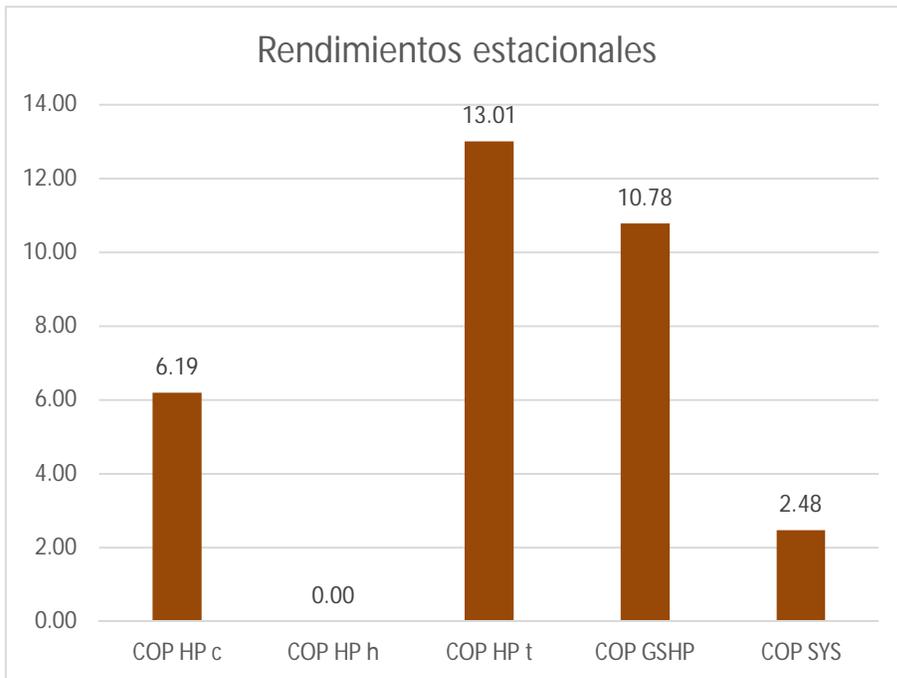
**Figura 42. Balance mensual sistema GSHP híbrido para caso HT1**



**Figura 43. Balance anual por tecnologías y aportes para sistema GSHP híbrido para caso HT1**



**Figura 44. Balance anual de flujos de calor, frío y remanente para sistema GSHP híbrido para caso HT1**



**Figura 45. COP estacionales resultantes para sistema GSHP híbrido para caso HT1**



**Tabla 40. Tabla resumen de resultados de casos analizados para Hoteles**

Datos	Caso	-	HT1	HT2	HT3	HT4	HT5	HT6	HT7	
	Combustible	-	GLP	GLP	GLP	GLP	GLP	GLP	GLP	
	Demanda Frío	<i>kWh</i>	1.364.000	1.003.000	1.602.000	966.000	552.000	0	0	
	Demanda Calor	<i>kWh</i>	2.004.396	2.136.173	1.885.279	2.557.972	2.872.313	3.031.995	3.653.805	
caso referencia	inversión	Sistema	<i>MMCLP</i>	115,58	127,70	123,48	124,47	126,89	84,72	78,03
		Sistema de calentamiento	<i>MMCLP</i>	17,09	18,78	18,19	18,33	18,67	24,56	22,69
		Total Inversión	<i>MMCLP</i>	132,68	146,49	141,67	142,80	145,56	109,28	100,72
	consumo	Electricidad	<i>kWh</i>	620.000	455.909	728.182	439.091	250.909	0	0
		GLP	<i>kWh</i>	2.227.107	2.373.525	2.094.754	2.842.191	3.191.459	3.368.883	4.059.783
		Biomasa	<i>kWh</i>	0	0	0	0	0	0	0
		Fueloil	<i>kWh</i>	0	0	0	0	0	0	0
	costos	Costo Energía	<i>MMCLP</i>	179,82	189,64	197,36	213,16	214,13	198,45	239,15
		Costo Mantenimiento	<i>MMCLP</i>	7,54	8,26	8,01	8,07	8,21	8,07	7,49
		Total costo O&M	<i>MMCLP</i>	187,36	197,90	205,37	221,22	222,34	206,53	246,64
Emissiones CO2		<i>TeqCO2</i>	980	697	728	798	812	765	922	
caso GSHP	inversión	Sistema GSHP	<i>MMCLP</i>	205,06	219,83	351,87	312,06	219,46	363,99	343,67
		Sistema	<i>MMCLP</i>	77,13	85,21	41,31	55,44	84,67	0,00	0,00
		Sistema de calentamiento	<i>MMCLP</i>	10,68	11,69	4,48	6,81	11,62	8,89	8,26
		Total Inversión	<i>MMCLP</i>	292,86	316,73	397,66	374,31	315,75	372,87	351,93
	consumo	Electricidad	<i>kWh</i>	360.570	286.738	488.642	407.545	241.944	587.291	562.661
		GLP	<i>kWh</i>	998.491	1.731.995	1.639.784	1.765.419	2.323.115	754.036	1.586.040
		Biomasa	<i>kWh</i>	0	0	0	0	0	0	0
		Fueloil	<i>kWh</i>	0	0	0	0	0	0	0
	costos	Costo Energía	<i>MMCLP</i>	87,10	133,36	146,23	146,44	162,05	112,38	152,03
		Costo Mantenimiento	<i>MMCLP</i>	8,14	8,87	8,68	8,72	8,82	9,55	8,90
Total costo O&M		<i>MMCLP</i>	95,24	142,23	154,91	155,16	170,87	121,92	160,93	
Emissiones CO2		<i>TeqCO2</i>	502	493	542	542	611	374	471	
Balances	Aportación GSHP		73%	70%	67%	75%	72%	0%	0%	
	Aportación GSHP		55%	27%	22%	38%	27%	78%	61%	
	Sobrecosto	<i>MMCLP</i>	160	170	256	232	170	264	251	
	Ahorro Anual	<i>MMCLP</i>	92	56	50	66	51	85	86	
	Periodo de retorno	<i>años</i>	1,7	3,1	5,1	3,5	3,3	3,1	2,9	
	Ahorro anual emisiones	<i>TeqCO2</i>	477	204	186	256	200	391	451	
	Ahorro anual emisiones	<i>%</i>	49%	29%	26%	32%	25%	51%	49%	



### 6.8.8 VIVIENDAS UNIFAMILIARES

Las viviendas unifamiliares, por su pequeño tamaño e idiosincrasia no permiten hibridar sistemas y disponer de un sistema GSHP con una caldera y un chiller, por lo que tenemos que ir a sistemas GSHP del 100% de la potencia con usabilidades bajas, lo que repercute en rentabilidades bajas, más allá de las posibilidades de recuperación de calor, que las hay en algunas zonas. Todo ello agravado por el alto costo comparativo de la energía eléctrica.

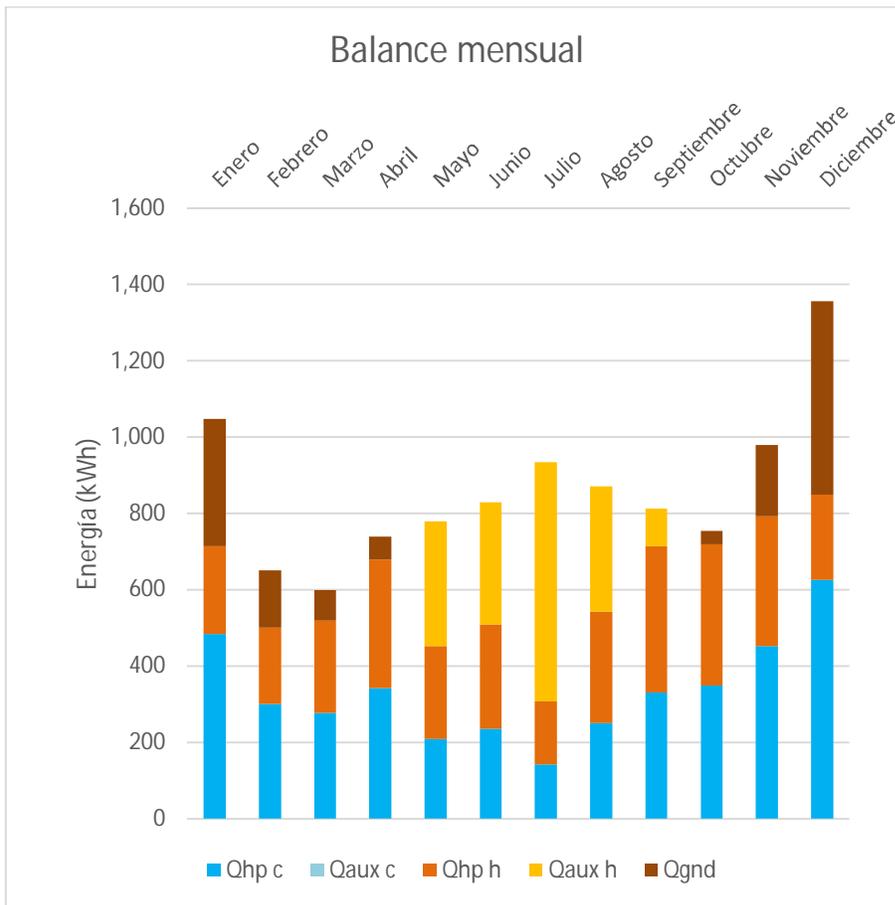
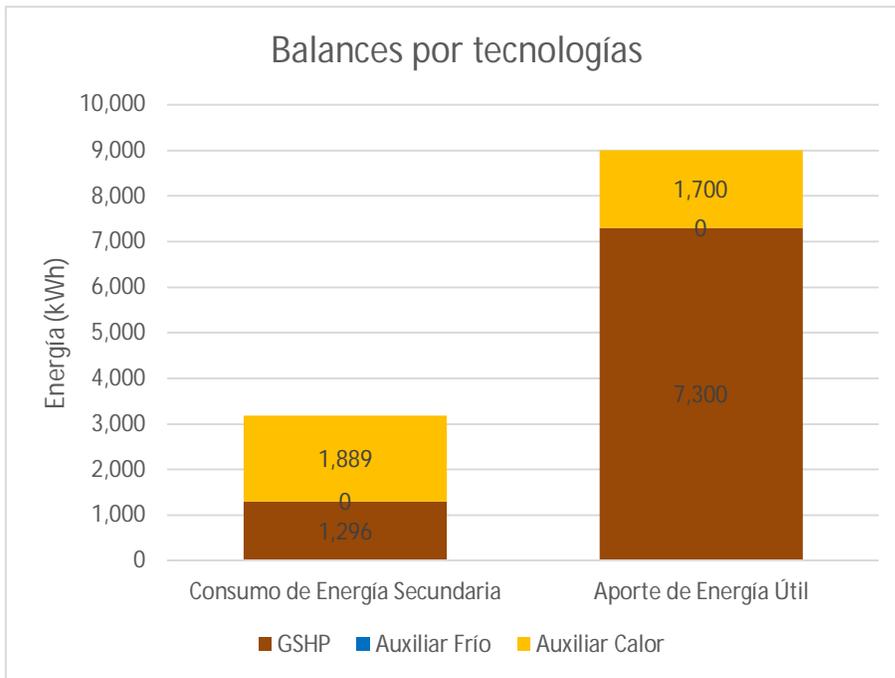
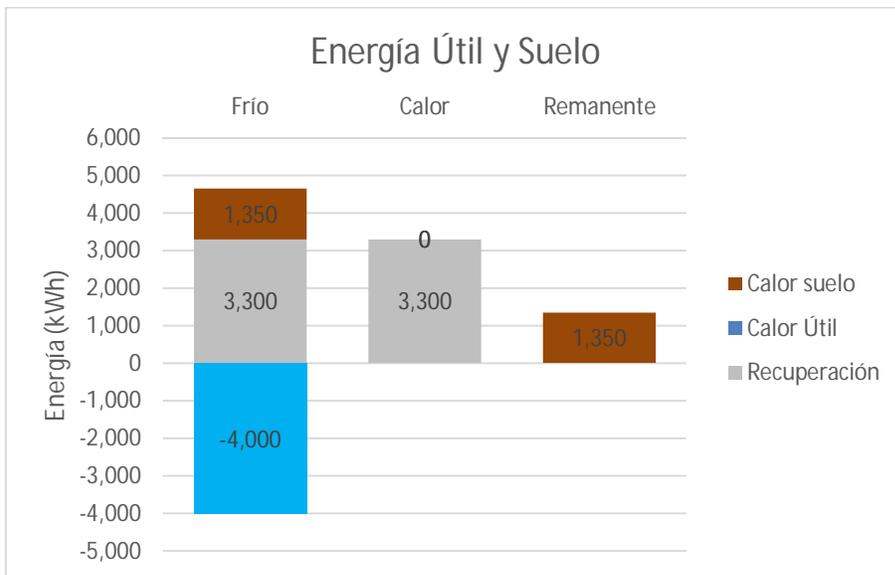


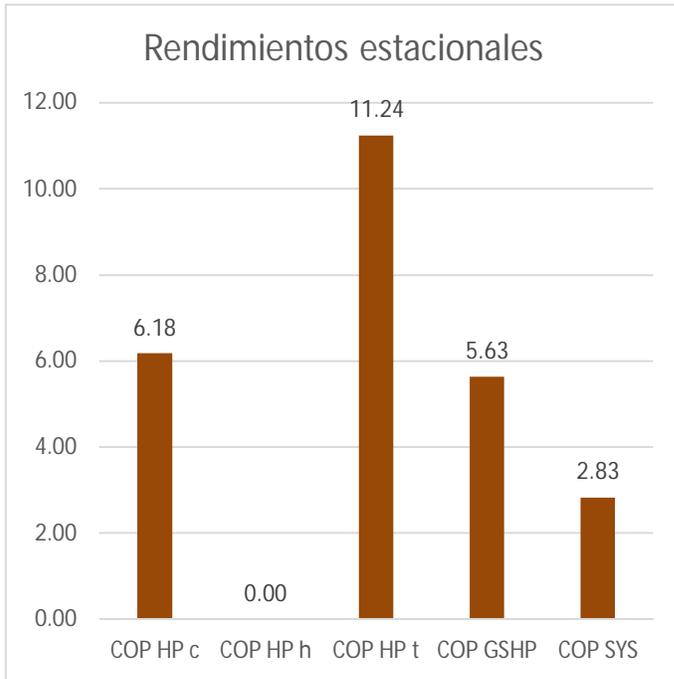
Figura 46. Balance mensual sistema GSHP híbrido para caso U1



**Figura 47. Balance anual por tecnologías y aportes para sistema GSHP híbrido para caso U1**



**Figura 48. Balance anual de flujos de calor, frío y remanente para sistema GSHP híbrido para caso U1**



**Figura 49. COP estacionales resultantes para sistema GSHP híbrido para caso U1**



**Tabla 41. Tabla resumen de resultados de casos analizados para Viviendas Unifamiliares**

Datos	Caso	-	U1	U2	U3	U4	U5	U6	U7		
	Combustible	-	GLP	GLP	GLP	Biomasa	Biomasa	Biomasa	Biomasa		
	Demanda Frío	<i>kWh</i>	4.000	3.000	5.000	3.000	2.000	0	0		
	Demanda Calor	<i>kWh</i>	5.000	6.000	5.000	7.000	8.000	8.000	10.000		
caso referencia	inversión	Sistema	<i>MMCLP</i>	0,62	0,67	0,66	0,66	0,67	0,66	0,63	
		Sistema de calentamiento	<i>MMCLP</i>	0,29	0,29	0,29	0,26	0,26	0,26	0,26	
		Total Inversión	<i>MMCLP</i>	0,91	0,96	0,94	0,91	0,93	0,92	0,89	
	consumo	Electricidad	<i>kWh</i>	1.818	1.364	2.273	1.364	909	0	0	
		GLP	<i>kWh</i>	5.556	6.667	5.556	0	0	0	0	
		Biomasa	<i>kWh</i>	0	0	0	7.778	8.889	8.889	11.111	
		Fueloil	<i>kWh</i>	0	0	0	0	0	0	0	
	costos	Costo Energía	<i>MMCLP</i>	0,51	0,57	0,60	0,50	0,49	0,37	0,47	
		Costo Mantenimiento	<i>MMCLP</i>	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	
		Total costo O&M	<i>MMCLP</i>	0,60	0,66	0,70	0,60	0,59	0,47	0,56	
		Emissiones CO2	<i>TeqCO2</i>	3	2	2	0	0	0	0	
	caso GSHP	inversión	Sistema GSHP	<i>MMCLP</i>	7,86	8,12	8,05	8,05	8,12	8,35	8,14
			Sistema	<i>MMCLP</i>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Sistema de calentamiento			<i>MMCLP</i>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
Total Inversión			<i>MMCLP</i>	7,86	8,12	8,05	8,05	8,12	8,35	8,14	
consumo		Electricidad	<i>kWh</i>	1.296	1.132	1.534	1.790	1.631	2.394	2.687	
		GLP	<i>kWh</i>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
		Biomasa	<i>kWh</i>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
		Fueloil	<i>kWh</i>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
costos		Costo Energía	<i>MMCLP</i>	0,13	0,14	0,19	0,23	0,21	0,34	0,44	
		Costo Mantenimiento	<i>MMCLP</i>	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	
		Total costo O&M	<i>MMCLP</i>	0,31	0,33	0,37	0,41	0,39	0,52	0,62	
		Emissiones CO2	<i>TeqCO2</i>	1	0	1	1	1	1	1	
Balances		Aportación GSHP		100%	100%	96%	100%	100%	0%	0%	
	Aportación GSHP		66%	28%	23%	61%	58%	100%	92%		
	Sobrecosto	<i>MMCLP</i>	7	7	7	7	7	7	7		
	Ahorro Anual	<i>MMCLP</i>	0	0	0	0	0	0	0		
	Período de retorno	<i>años</i>	23,6	21,2	21,4	37,9	36,4	-149,0	-133,5		
	Ahorro anual emisiones	<i>TeqCO2</i>	2	2	2	0	0	-1	-1		
	Ahorro anual emisiones	<i>%</i>	63%	80%	74%	-31%	-79%	NA	NA		



### 6.8.9 REDES DE CALEFACCIÓN DE DISTRITO

Los sistemas de calefacción de distrito presentan varias ventajas interesantes para los sistemas GSHP. La primera es claramente el tamaño, pues siempre se trata de grandes sistemas con curvas de demanda muy suavizadas. Pero por otra parte tenemos cuestiones inherentes: si hay una calefacción distrital es porque hay una demanda lo suficientemente extendida a lo largo del año para que un sistema geotérmico actúe correctamente.

La problemática para la integración de la GSHP en las calefacciones distritales no es otro que el nivel térmico, pues éstas acostumbran a operar a 70-90, lo que supone una gran penalización para el rendimiento de la bomba de calor. Aún en el caso se plantee el uso de losa radiante en todas las viviendas consumidoras, los sistemas de indirectos de ACS requieren impulsiones por sobre los 70°C, lo que obligaría a ir a sistemas de 4 tubos que, en general, encarecen los sistemas.

A pesar de todo esto, el tamaño de los casos analizados, promete ahorros suficientes para llegar a ser rentable.

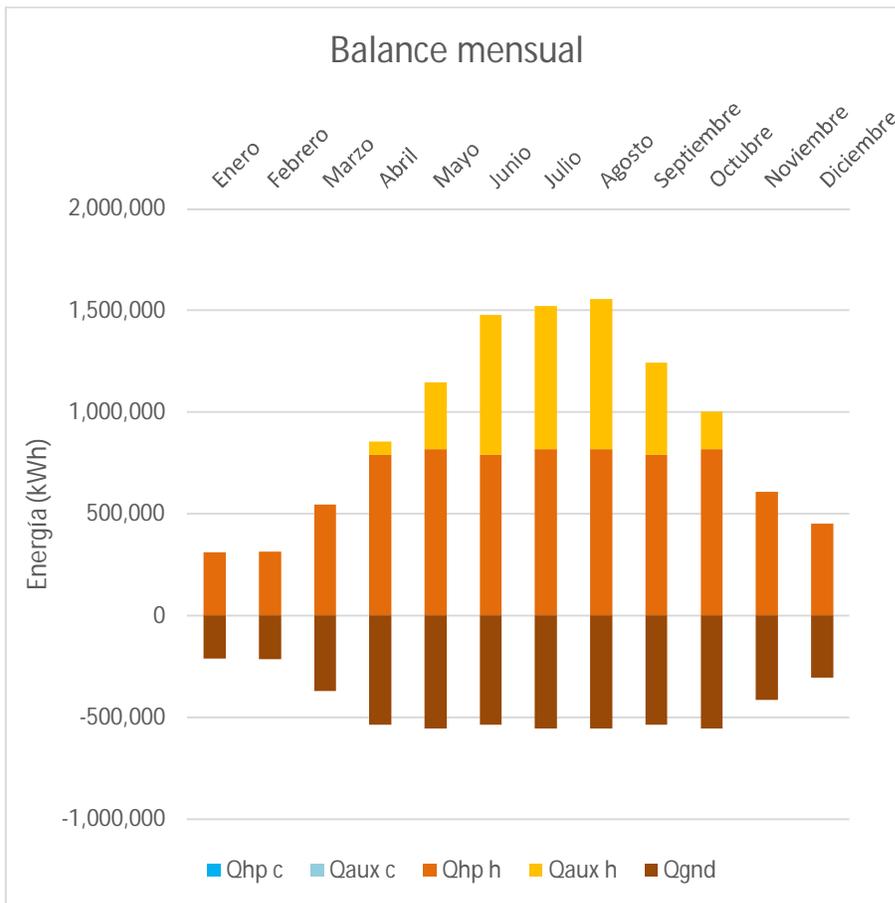
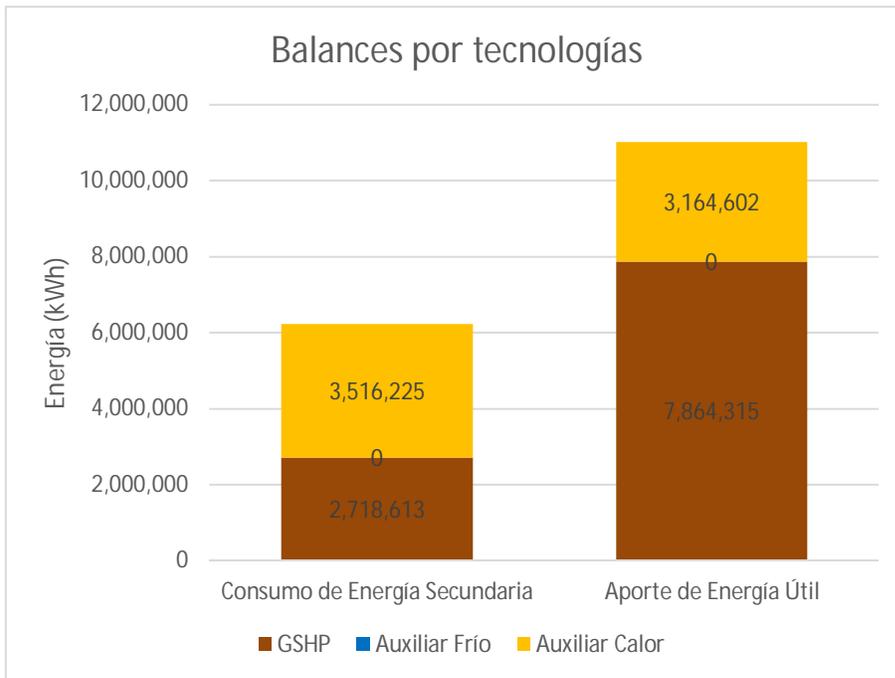
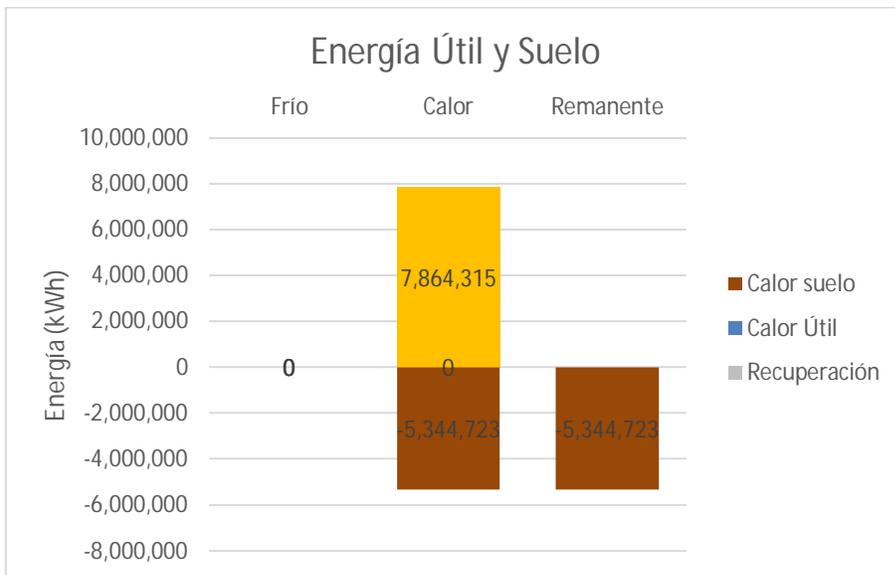


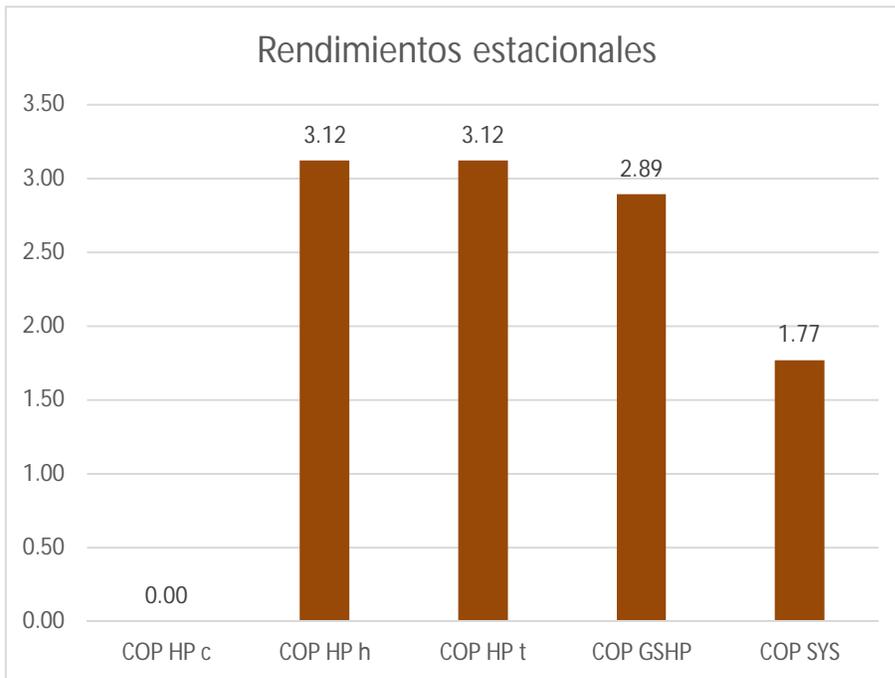
Figura 50. Balance mensual sistema GSHP híbrido para caso D7



**Figura 51. Balance anual por tecnologías y aportes para sistema GSHP híbrido para caso D7**



**Figura 52. Balance anual de flujos de calor, frío y remanente para sistema GSHP híbrido para caso D7**



**Figura 53. COP estacionales resultantes para sistema GSHP híbrido para caso D7**



**Tabla 42. Tabla resumen de resultados de casos analizados para Calefacción Distrital**

Datos	Caso	-	D3	D4	D5	D6	D7	
	Combustible	-	GLP	GLP	GLP	GLP	GLP	
	Demanda Frio	<i>kWh</i>	0	0	0	0	0	
	Demanda Calor	<i>kWh</i>	6.069.027	7.942.482	8.806.836	9.273.753	11.028.917	
caso referencia	inversión	Sistema	<i>MMCLP</i>	178,96	190,58	183,08	187,61	230,27
		Sistema de calentamiento	<i>MMCLP</i>	50,40	53,61	51,54	52,79	51,87
		Total Inversión	<i>MMCLP</i>	229,36	244,19	234,63	240,41	282,14
	consumo	Electricidad	<i>kWh</i>	0	0	0	0	0
		GLP	<i>kWh</i>	6.743.364	8.824.980	9.785.373	10.304.170	12.254.352
		Biomasa	<i>kWh</i>	0	0	0	0	0
		Fueloil	<i>kWh</i>	0	0	0	0	0
	costos	Costo Energía	<i>MMCLP</i>	397,24	519,86	576,44	607,00	721,88
		Costo Mantenimiento	<i>MMCLP</i>	16,25	17,26	16,61	17,01	18,16
		Total costo O&M	<i>MMCLP</i>	413,49	537,13	593,05	624,00	740,04
	Emissiones CO2	<i>TeqCO2</i>	1532	2005	2223	2341	2784	
caso GSHP	inversión	Sistema GSHP	<i>MMCLP</i>	712,32	759,46	729,63	747,59	917,52
		Sistema	<i>MMCLP</i>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
		Sistema de calentamiento	<i>MMCLP</i>	10,92	11,56	11,15	11,40	0,00
		Total Inversión	<i>MMCLP</i>	723,24	771,02	740,78	758,98	917,52
	consumo	Electricidad	<i>kWh</i>	1.666.066	2.062.805	2.297.944	2.325.993	2.718.613
		GLP	<i>kWh</i>	1.306.282	2.038.257	2.075.579	2.669.610	3.516.225
		Biomasa	<i>kWh</i>	0	0	0	0	0
		Fueloil	<i>kWh</i>	0	0	0	0	0
	costos	Costo Energía	<i>MMCLP</i>	246,18	334,90	361,58	426,41	490,26
		Costo Mantenimiento	<i>MMCLP</i>	19,62	20,80	20,04	20,50	22,22
Total costo O&M		<i>MMCLP</i>	265,79	355,70	381,62	446,91	512,48	
	Emissiones CO2	<i>TeqCO2</i>	873	1177	1267	1411	1334	
Balances	Aportación GSHP		0%	0%	0%	0%	0%	
	Aportación GSHP		81%	77%	79%	74%	71%	
	Sobrecosto	<i>MMCLP</i>	494	527	506	519	635	
	Ahorro Anual	<i>MMCLP</i>	148	181	211	177	228	
	Período de retorno	<i>años</i>	3,3	2,9	2,4	2,9	2,8	
	Ahorro anual emisiones	<i>TeqCO2</i>	659	828	956	929	1449	
	Ahorro anual emisiones	<i>%</i>	43%	41%	43%	40%	52%	



### 6.8.10 HOSPITALES

En los hospitales encontramos de nuevo el potencial de recuperación de calor entre demandas de calor y frío con todas las ventajas ya enumeradas de alto rendimiento, reducción de inversión en pozos, falta de saturación, etc. Como con los Hoteles encontramos casos extremos de recuperación de calor con muy altos COPT.

Pero en el otro extremo tenemos el H7, con puras demandas de calor, pero cuya continuidad en las mismas le otorgan igualmente una muy buena rentabilidad.

Como en el resto de casos de climatización, los resultados están condicionados al diseño de un sistema integrado que permita el trabajo en baja temperatura.

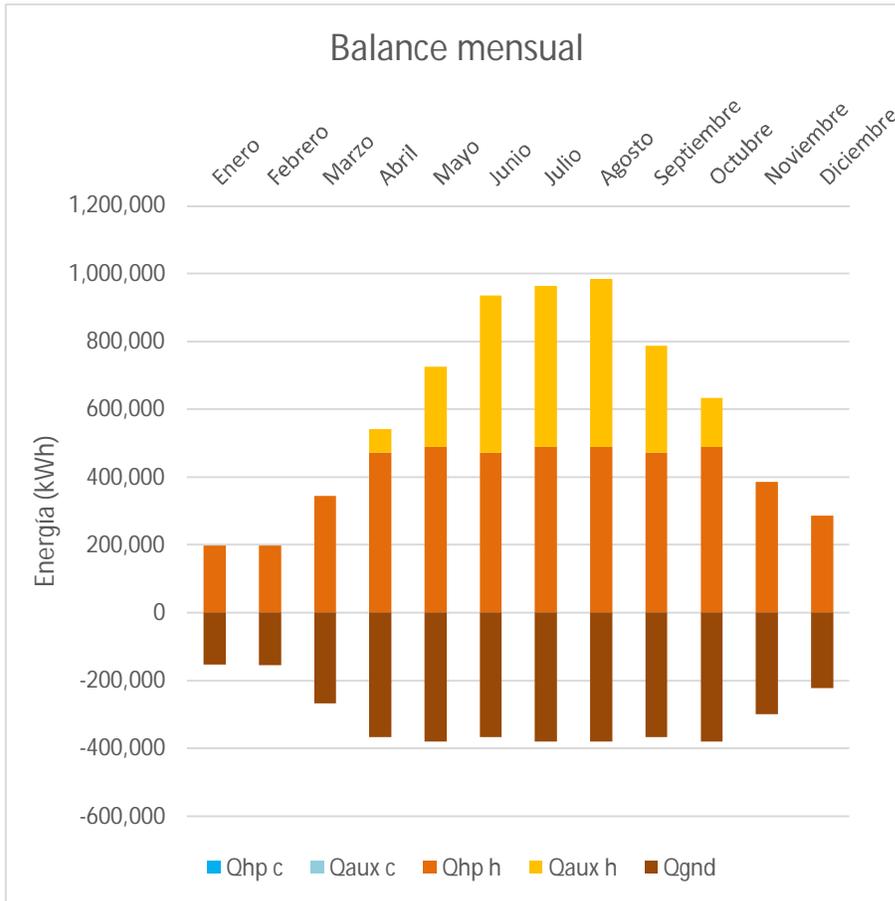


Figura 54. Balance mensual sistema GSHP híbrido para caso H7

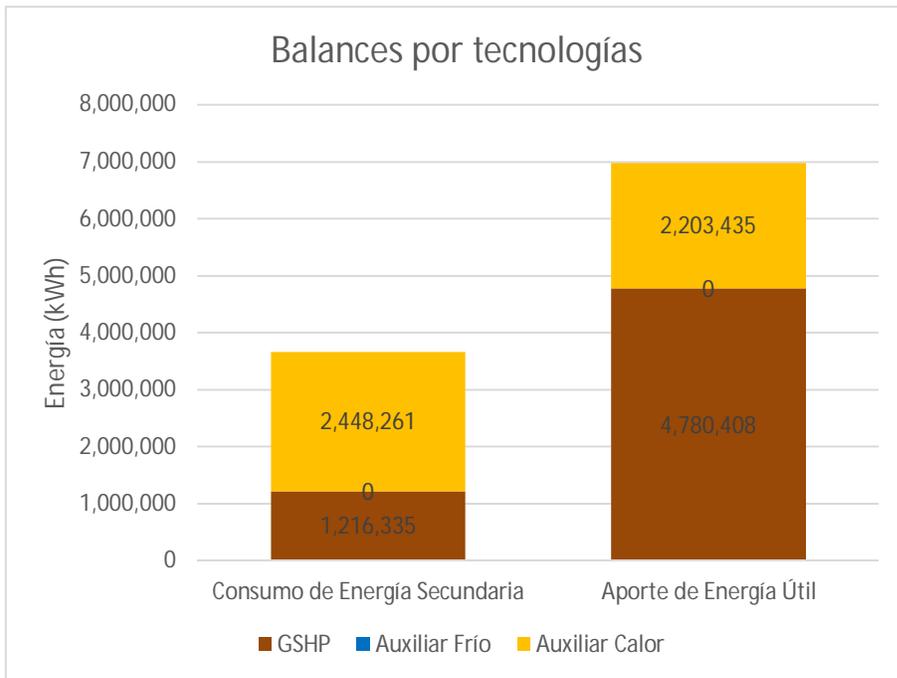


Figura 55. Balance anual por tecnologías y aportes para sistema GSHP híbrido para caso H7

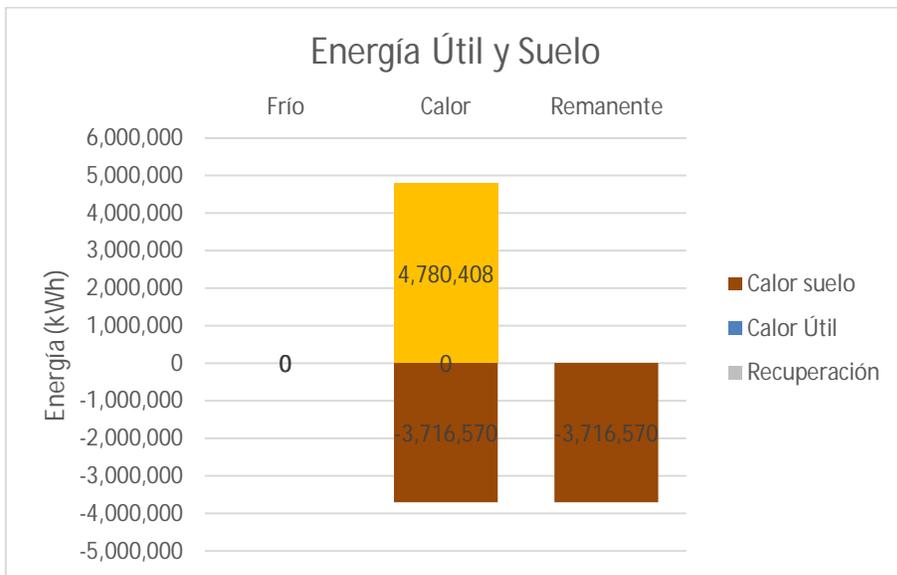


Figura 56. Balance anual de flujos de calor, frío y remanente para sistema GSHP híbrido para caso H7

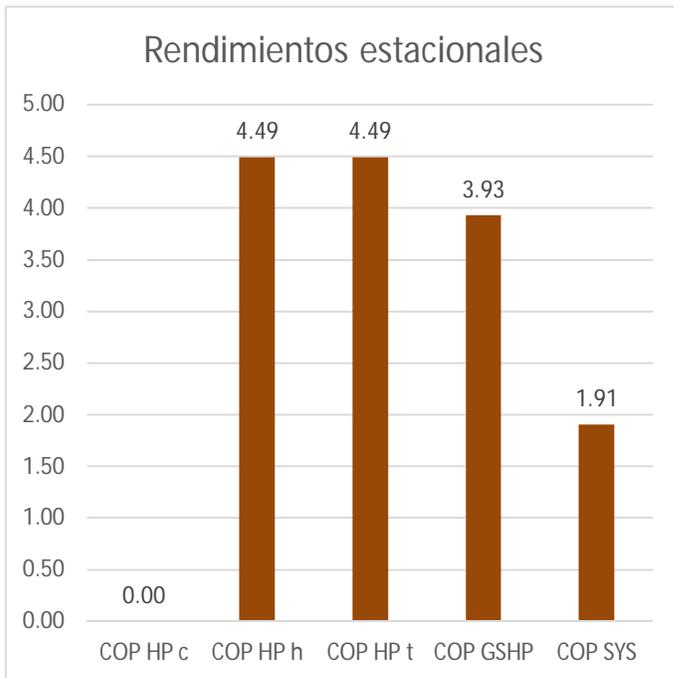


Figura 57. COP estacionales resultantes para sistema GSHP híbrido para caso H7



**Tabla 43. Tabla resumen de resultados de casos analizados para Hospitales**

Datos		Caso	-	H1	H2	H3	H4	H5	H6	H7
	Combustible	-	-	GLP						
	Demanda Frio	<i>kWh</i>	2.574.000	1.892.000	3.023.000	1.824.000	1.042.000	0	0	0
	Demanda Calor	<i>kWh</i>	3.858.909	4.106.360	3.632.164	4.905.691	5.499.985	5.803.572	6.983.844	
<hr/>										
caso referencia	inversión	Sistema	<i>MMCLP</i>	217,85	240,77	232,77	234,66	239,15	159,66	176,39
		Sistema de calentamiento	<i>MMCLP</i>	13,16	34,51	33,39	33,66	34,28	45,40	41,89
		Total Inversión	<i>MMCLP</i>	231,01	275,28	266,16	268,31	273,43	205,06	218,27
	consumo	Electricidad	<i>kWh</i>	1.170.000	860.000	1.374.091	829.091	473.636	0	0
		GLP	<i>kWh</i>	4.287.676	4.562.622	4.035.738	5.450.768	6.111.094	6.448.413	7.759.826
		Biomasa	<i>kWh</i>	0	0	0	0	0	0	0
		Fueloil	<i>kWh</i>	0	0	0	0	0	0	0
	costos	Costo Energía	<i>MMCLP</i>	344,34	362,76	377,31	407,44	409,32	379,86	457,12
		Costo Mantenimiento	<i>MMCLP</i>	9,96	14,99	14,51	14,62	14,89	14,64	14,45
		Total costo O&M	<i>MMCLP</i>	354,30	377,75	391,81	422,06	424,21	394,50	471,57
Emissiones CO2		<i>TeqCO2</i>	1868	1334	1392	1525	1552	1465	1763	
<hr/>										
caso GSHP	inversión	Sistema GSHP	<i>MMCLP</i>	321,93	347,01	559,29	417,59	344,86	594,67	658,24
		Sistema	<i>MMCLP</i>	145,31	160,59	77,74	130,46	159,51	0,00	0,00
		Sistema de calentamiento	<i>MMCLP</i>	0,00	21,12	7,52	16,27	20,99	15,83	9,22
		Total Inversión	<i>MMCLP</i>	467,24	528,72	644,54	564,32	525,35	610,51	667,45
	consumo	Electricidad	<i>kWh</i>	679.740	541.098	922.366	760.829	456.354	1.113.318	1.216.335
		GLP	<i>kWh</i>	1.954.259	3.343.709	3.163.648	3.650.056	4.469.770	1.487.505	2.448.261
		Biomasa	<i>kWh</i>	0	0	0	0	0	0	0
		Fueloil	<i>kWh</i>	0	0	0	0	0	0	0
	costos	Costo Energía	<i>MMCLP</i>	168,43	256,11	280,05	294,25	310,83	216,45	270,89
		Costo Mantenimiento	<i>MMCLP</i>	10,44	15,66	15,30	15,33	15,56	16,73	16,48
Total costo O&M		<i>MMCLP</i>	178,87	271,76	295,35	309,58	326,39	233,18	287,38	
Emissiones CO2		<i>TeqCO2</i>	963	947	1038	1092	1173	723	796	
<hr/>										
Balances	Aportación GSHP		73%	70%	67%	64%	72%	0%	0%	
	Aportación GSHP		54%	27%	22%	33%	27%	77%	68%	
	Sobrecosto	<i>MMCLP</i>	236	253	378	296	252	405	449	
	Ahorro Anual	<i>MMCLP</i>	175	106	96	112	98	161	184	
	Periodo de retorno	<i>años</i>	1,3	2,4	3,9	2,6	2,6	2,5	2,4	
	Ahorro anual emisiones	<i>TeqCO2</i>	905	387	354	433	379	742	967	
	Ahorro anual emisiones	<i>%</i>	48%	29%	25%	28%	24%	51%	55%	





## 7 CARACTERIZACIÓN DE CADENA DE VALOR

---

### 7.1 PROPUESTA DE CARACTERIZACIÓN

Para la correcta caracterización de los distintos actores que interceden en el proceso de desarrollo teórico y estructural de proyectos de geotermia, se propone el uso de una estructura central basada en sus fases; desde la planificación, pasando por la instalación y finalmente la operación/mantenimiento.

Esto facilita la comprensión para entender en qué parte del proceso se requiere cada tipo de recurso (material, humano, monetario, etc.), y las dimensiones que tiene la estructura jerárquica de la cadena (desde el centro hacia los exteriores).

En la estructura planteada figuran distintos tipos de actores:

1. Empresas de ingeniería que diseñan y planifican los proyectos
2. Empresas instaladoras que ejecutan las obras
3. Empresas operadoras de los sistemas instalados
4. Empresas de perforación y sondeo
5. Empresas distribuidoras que suplen de recursos materiales el mercado
6. Empresas fabricantes que crean los recursos materiales
7. Actores facilitadores que entregan capital humano, información y apoyan la normalización y fluidez del mercado

Adicionalmente a la esquematización de la estructura, también se propone realizar un listado de los actores definidos y/o interrogados durante la etapa 1 de este proyecto, de manera general nacional y para tres regiones en particular.

## 7.2 ESQUEMA DE LA CADENA DE VALOR

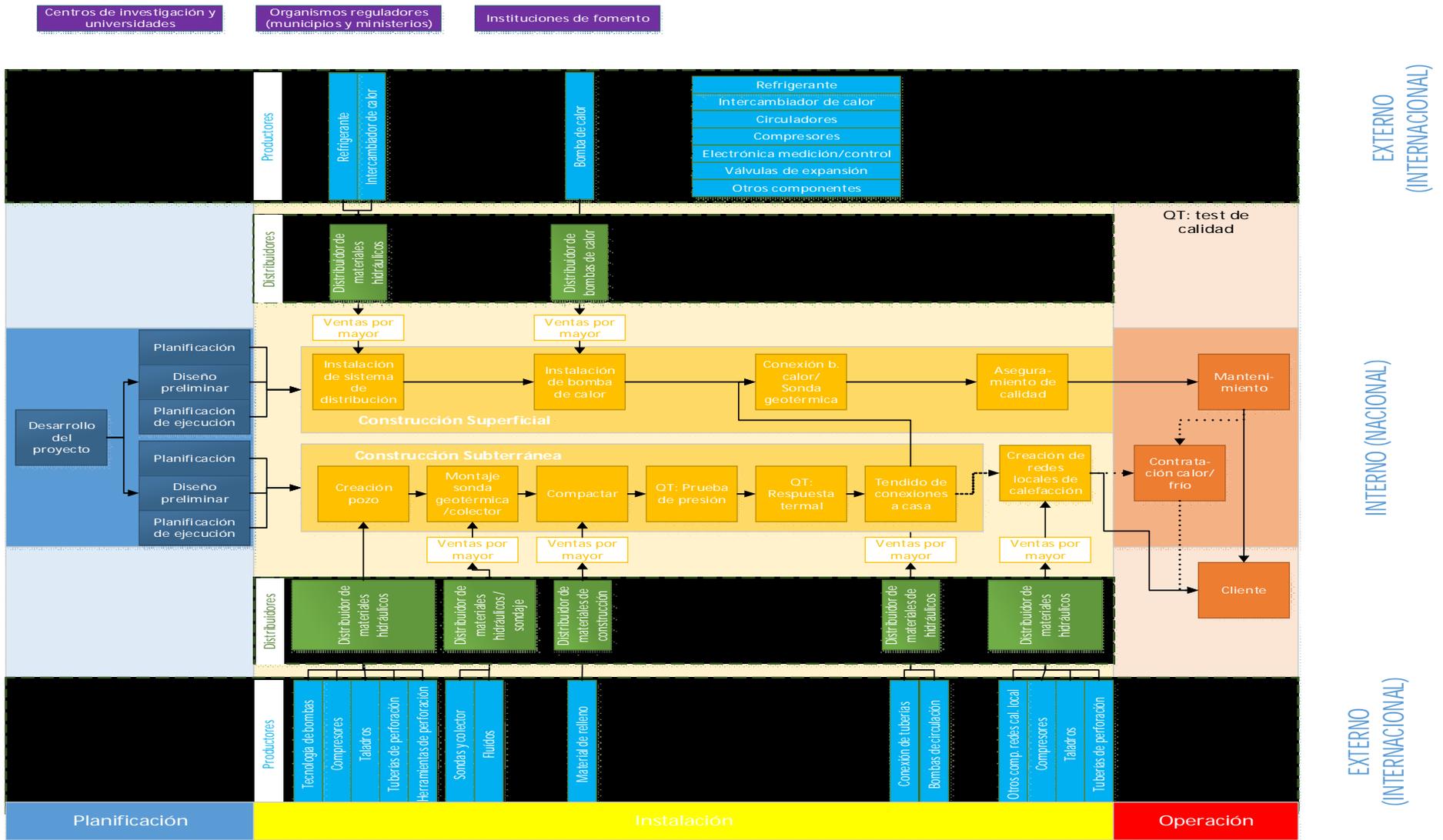


Figura 7.1 Esquema de cadena de valor para el desarrollo de proyectos de geotermia  
Informe Final v3.0



A partir del esquema realizado en [22], se realizó un trabajo de traducción y adaptación al caso de Chile, mediante la información recopilada durante la primera fase.

Como se explica anteriormente, la estructura central está compuesta por las fases comprendidas en el desarrollo conceptual y estructural del tipo de proyectos dividido en tres fases (en sentido horizontal): Planificación (azul claro), Instalación (naranja claro) y Operación (rojo claro).

En cada una de estas fases los colores indican el tipo de actor que desarrolla cada función: Empresa de ingeniería (azul), empresa instaladora (naranja), empresa operadora (rojo), distribuidores (verde), materiales/fabricantes (celeste).

En sentido vertical, el área central correspondiente a la fase de instalación se divide en seis sub-áreas (tres hacia arriba y tres hacia abajo). Las tres superiores corresponden a las tareas realizadas para la instalación sobre el nivel de la tierra, y las tres inferiores corresponden a las tareas realizadas bajo nivel de la tierra.

Desde adentro hacia fuera cada una de estas sub-áreas representan desde adentro hacia afuera: en el nivel central las labores llevadas a cabo por la empresa instaladora, luego las empresas suministradoras/distribuidoras de materiales, y finalmente los materiales requeridos.

En sentido horizontal las flechas definen el flujo de información y en sentido vertical definen flujos de recursos que en sentido inverso son flujos monetarios.

Los únicos flujos no contemplados corresponden a los flujos de información provenientes de los organismos normativos y de las instituciones de fomento, que entendemos, pueden acoplarse en cualquier parte del proceso con flujos monetarios, de recursos o incluso de capital humano (centros de capacitación, universidades, etc.).

## 7.3 LISTADO DE PRINCIPALES ACTORES EN CHILE Y EL MUNDO

**Tabla 7.1 Empresas internacionales de distribución de bombas de calor. Fuente: Elaboración propia**

<b>Empresa</b>	<b>País</b>
1A HEIZEN STROBL UG	Alemania
AERMEC GmbH	Alemania
Alpha-InnoTec (ait-deutschland GmbH)	Alemania
AWE Wärmepumpen	Alemania
Bartl Wärmepumpen	Alemania
BES	Alemania
BioEnergieTeam GmbH	Alemania
Brötje - August Brötje GmbH	Alemania
Buderus Bosch Thermotechnik GmbH	Alemania
CTA AG	España



<b>Empresa</b>	<b>País</b>
CTC	Alemania
Danfoss AG Wärmepumpen	Suiza
Deron	China
Dimplex - Glen Dimplex Deutschland GmbH	Alemania
Ecoforest	España
ELCO GmbH	Alemania
emcal Wärmesysteme GmbH	Alemania
Enertech GmbH - Division Giersch	Alemania
EQtherm GmbH	Alemania
Euronom AB	Suecia
EU-Therm	Alemania
Foshan Sero Electrical Appliances CO., Ltd.	China
FRIAP Holding AG	Suiza
Frigopol k.s.	Austria
GDH Energy International Ltd.	Alemania
Giordano	Francia
Gorenje, d.d.	Eslovenia
Hagleitner GmbH & Co KG	Alemania
Harreither GmbH	Austria
Hautec GmbH	Alemania
Heliotherm Wärmepumpentechnik Ges.m.b.H	Austria
Herz Energietechnik GmbH	Austria
Hiseer Guangzhou Hiseer Air conditioning Co., Ltd.	China
HOTJET CZ s.r.o.	República checa
Hoval Aktiengesellschaft	Liechtenstein
IDM Energiesysteme GmbH	Austria
IWS GmbH	Alemania
KNV Energietechnik GmbH	Austria
KÖNIG-Wärmepumpen GmbH	Alemania
KWE GmbH	Alemania
LüBaG - Lüftungsgeräte Band GmbH	Alemania
MasterTherm Deutschland	Alemania
MHG Heiztechnik GmbH	Suiza
NawaRoTech GmbH	Alemania
NEURA GmbH	Austria
NEWI-SOLAR GmbH	Alemania
NIBE Systemtechnik GmbH	Alemania
Novelan (ait-deutschland GmbH)	Alemania
ochsner	Alemania
OCHSNER Wärmepumpen GmbH	Austria
OERTLI-ROHLER Wärmetechnik GmbH	Alemania
Orange Energy GmbH & Co. KG	Alemania
PZP HEATING a.s.	República Checa
Ratiotherm Heizung + Solartechnik GmbH & Co. KG	España
Robur GmbH	Alemania
Roth Werke GmbH	Alemania
SHPSystems GmbH	Alemania
SIMAKA GmbH	Alemania
SmartHeat Deutschland GmbH	Alemania
SOLVIS GmbH & Co KG	Alemania
Stiebel Eltron GmbH & Co. KG	Estados Unidos
SUNEX S.A.	Polonia
tecalor GmbH	Alemania
Thermia Wärme AB Danfoss AG Wärmepumpen	Suecia
Thermia Wärmepumpen	Suecia
Thermic Energy RZ GmbH	Alemania
Vaillant Deutschland GmbH & Co. KG	Alemania



Empresa	País
Viessmann Werke GmbH & Co KG	Alemania
Voß Wärmepumpen GmbH	Alemania
WAMAK, s.r.o.	Eslovaquia
Wasser & Energie Handelsgesellschaft für technische Produkte mbH	Alemania
WATERKOTTE GmbH	Alemania
Weider Wärmepumpen GmbH	Austria
Weishaupt - Max Weishaupt GmbH	Alemania
WM Feinwerk GmbH	Alemania
Wolf GmbH	Alemania
WPM Wärmepumpen GmbH	Austria

**Tabla 7.2 Empresas nacionales de distribución de bombas de calor. Fuente: Elaboración propia**

#	Empresa	Venta	Servicio Técnico	Consultoría	Instalación	Perforación	Ciudad	N°
1	Complex	-	-	X	X	-	Santiago	RM
2	Geostudios	-	-	X	-	-	Santiago	RM
3	Terraingnota	-	-	X	-	-	Santiago	RM
4	Perfomarq	X	X	-	X	X	Osorno	X
5	Aiguasol	-	-	X	-	-	Santiago	RM
6	Antusolar	X	X	X	-	-	Santiago	RM
7	CEGA	-	-	X	-	-	Santiago	RM
8	Climatiza	X	X	X	X	X	Talca	VIII
9	ECM Ingeniería	X	X	X	X	X	Santiago	RM
10	Enalteco	X	X	X	X	X	Concepción	VIII
11	Enativa	X	X	X	X	-	Santiago	RM
12	Energy-Tracking	-	-	X	X	-	Santiago	RM
13	Geomarket	X	X	X	X	X	Santiago	RM
14	GTN LA	-	X	X	-	X	Santiago	RM
15	Improve	-	-	X	X	X	Concepción	VIII
16	Midea Carrier	X	X	X	-	-	Santiago	RM
17	Natclima	X	X	X	X	-	Santiago	RM
18	Nueva Energía	X	X	-	-	-	Santiago	RM
19	Oden	X	X	X	X	X	Santiago	RM
20	Poch	-	-	X	-	-	Santiago	RM
21	RGS Energía	X	X	X	X	X	Ovalle	IV
22	Roda Energía	-	-	X	-	-	Santiago	RM
23	Servilandminergy	-	-	-	-	-	Santiago	RM
24	Solar del Valle	X	X	X	X	-	Santiago	RM
25	Voher	X	X	X	X	X	Villa Alemana	V
26	EE Chile	-	-	X	-	-	Valdivia	XIV
27	ANWO	-	-	-	-	-	Santiago	RM
8	Farenhouse	-	-	-	-	-	Santiago	RM



#	Empresa	Venta	Servicio Técnico	Consultoría	Instalación	Perforación	Ciudad	N°
29	Ferrosur	-	-	-	X	-	Temuco	IX
30	Geo-operaciones	-	-	-	-	-	Copiapó	III
31	Geotec	-	-	-	-	-	Santiago	RM
32	Ghm consultores	-	-	X	-	-	Santiago	RM
33	Hildebrant	-	-	-	-	-	Santiago	RM
34	Isener	-	-	-	-	-	Santiago	RM
35	Kaltemp	-	-	-	-	-	Santiago	RM
36	Bosch	-	-	-	-	-	Santiago	RM
37	Chilectra	-	-	-	-	-	Santiago	RM
38	Rehau	-	-	-	-	-	Santiago	RM

## 7.4 JUSTIFICACIÓN

La estructura y las labores desempeñadas para la caracterización de esta cadena de suministros se basan en la experiencia internacional del país que tiene mayor número de desarrollos afín así como un mercado líder en el área.

Además, la propuesta de información a entregar, supone una base contundente como para realizar el diagnóstico, en función de los objetivos propuestos inicialmente.

Como se menciona, la estructura está basada en un desarrollo que a juzgar por la experiencia del equipo técnico, contempla la mayoría de fases principales del desarrollo de estos tipos de proyectos.

Y el listado de actores provee una buena imagen del desarrollo nacional del mercado, sus quiebres, fortalezas, debilidades, oportunidades y amenazas.



## 8 DIAGNÓSTICO DE CADENA DE SUMINISTROS

---

### 8.1 METODOLOGÍA DEL DIAGNÓSTICO

Para analizar el estado de cada cadena de suministros se propone una descripción verbal de la cadena, para darle un peso específico a cada una de sus partes, y luego un análisis FODA regional.

### 8.2 DESARROLLO DEL DIAGNÓSTICO

#### 8.2.1 DESCRIPCIÓN GENERAL DE LA CADENA

Para entender mejor la estructura levantada de la cadena de valor se debe entender primero el rol y peso que juega cada uno de sus actores. A continuación se ofrece una descripción de cada uno de estos en la estructura.

#### **1. Empresas de ingeniería que diseñan y planifican los proyectos**

Las empresas de ingeniería juegan un rol fundamental en la gestación, son los encargados de diseñar los proyectos y usualmente también de controlar técnicamente la instalación.

La función de este actor en la cadena es la de estar preparada para los desafíos que proponga el mercado a la vez que generar nuevas alternativas para las distintas necesidades.

Por el tipo de mercado, muy específico y muy técnico, las empresas que tienen el conocimiento deberían ser capaces de encontrar soluciones para las demandas del mercado.

En estricto rigor, su función comercial consiste en promover el uso de la tecnología a través del cumplimiento de los estándares establecidos por el mercado, identificando posibles clientes y generando buenas propuestas a nivel técnico-económico.

A pesar de que los requerimientos técnicos son muy específicos, en los costos de una instalación de geotermia, la conceptualización no genera grandes márgenes, y posiblemente representa una fracción menor del costo total del proyecto (entre un 5% y un 15% a juzgar por la experiencia del equipo técnico).



Esto quiere decir que la cantidad de actores no necesariamente tiene un impacto económico importante en el mercado, sino más bien a nivel técnico.

Esto quiere decir que son encargadas también de generar niveles de confianza entre los clientes y la tecnología a través del buen conocimiento de las bases teóricas y prácticas de la geotermia.

## **2. Empresas instaladoras que ejecutan las obras**

Las empresas instaladoras son las encargadas de realizar los proyectos que conceptualizan las empresas de ingeniería.

Estas empresas son centrales en el esquema puesto que se relacionan con casi todos los actores, reciben los proyectos desde las empresas de ingeniería y son las encargadas de gestionar los recursos necesarios y los tiempos de instalación así como los estándares de calidad de las obras realizadas.

A nivel comercial, cuando se venden solución llave en mano, como es el caso para las viviendas unifamiliares, deberían ser capaces de mover el mercado de sus propios productos.

El elemento más relevante de este actor es su experiencia y su nivel de conexión con los otros actores.

Si bien una obra de instalación de bombas de calor la podría realizar cualquier empresa del rubro de instalaciones hidráulicas-térmicas, la calidad de las labores dependerá fuertemente de la experiencia y la calificación de los ejecutores, así como de sus redes de contactos para los servicios y recursos requeridos.

El peso de los costos de instalación no es tan significativo en términos relativos al costo de los proyectos, lo que quiere decir que el aumento de instaladoras no impactará significativamente en términos monetarios.

## **3. Empresas de perforación y sondeo**

Son las empresas encargadas de realizar las operaciones de perforación y de medición de condiciones de contorno del recurso.

La función principal de este actor en la cadena es la de proveer un servicio eficiente y confiable a las empresas instaladoras o a las empresas de ingeniería para verificar que las condiciones de contorno son apropiadas para el diseño que se desea implementar.



Usualmente estas mediciones requieren de un recurso tecnológico específico (medidores de respuesta térmica y presión en suelos, máquinas perforadoras, etc.), para definir con exactitud cómo debería operar la instalación.

Su función es clave en la calidad del comportamiento en operación de las plantas y por ende también son responsables de la confiabilidad de las soluciones a implementar.

En términos económicos, dependiendo del volumen de la demanda a cubrir por la instalación, las labores desarrolladas por este actor pueden ser muy incidentes en el valor del proyecto (mientras más grande el proyecto, mayor el costo proporcional).

En este sentido, el incremento en el número de actores podría incidir en el precio de mercado del tipo de proyectos.

#### **4. Empresas operadoras de los sistemas instalados**

Una vez que la obra se termina, es la empresa encargada de operar, mantener y ofrecer servicio técnico a la instalación.

Dado que las bombas de calor geotérmicas no son técnicamente muy diferentes de la gran mayoría de bombas de calor, la labor de mantención y operación es bastante estándar en términos técnicos y no requiere conocimientos muy distintos de los que están desarrollados en la mayoría de mercados de bombas de calor.

En términos técnicos, la dificultad opera bajo tierra y tiene que ver con las variaciones en el comportamiento térmico estacional del recurso.

Otra función relevante de las empresas operadoras consiste en la gestión de contratos de energía y la generación de nuevos modelos de negocio que permitan que la operación de las instalaciones sea eficiente a la vez que económicamente tentadora para los potenciales clientes.

En términos comerciales, también puede ser un actor de peso en cuanto a la oferta, puesto que la mayoría de veces los proyectos son seleccionados por sus beneficios económicos, que están fuertemente determinados por el modelo de negocio y los horizontes de inversión.

#### **5. Empresas distribuidoras que suplen de recursos materiales el mercado**

Las empresas distribuidoras son encargadas de tener en stock o tener la disponibilidad de importación de todos los recursos materiales que pueda requerir una instalación.



En términos económicos este posiblemente sea el eslabón que más pesa puesto que de los costos de este tipo de proyectos es la parte más significativa.

Su función en la cadena está en promocionar las tecnologías específicas adecuadas para los diferentes tipos de proyectos y de abastecer correctamente a las instaladoras, al tiempo que informar a las empresas de ingeniería, qué tipologías tecnológicas están disponibles o pueden ser importadas en un margen adecuado para los proyectos a desarrollar.

Al ser el factor económico más relevante de la cadena, junto con los fabricantes, el número de actores sí puede influir significativamente en el movimiento del mercado. Sin embargo, se entiende que este volumen puede depender tanto de las barreras de entrada, como de la demanda existente.

Como su función no es promocionar directamente el uso de la tecnología a los clientes, que son quienes generan la demanda, posiblemente no tengan un control significativo sobre la misma. Es decir, los distribuidores aumentarán en función del tamaño de la demanda y no al revés.

Otro factor importante a considerar de este actor es su importancia en la temporalidad de los proyectos. Mientras exista stock de un producto, no supone ninguna dificultad, pero en la medida de que los productos se fabriquen en el mercado internacional y los tiempos puedan ser extensos, entonces será uno de los cuellos de botella del proyecto.

## **6. Empresas fabricantes que crean los recursos materiales**

En el mapa se muestra que todos los fabricantes pertenecen al mercado internacional no chileno. Esto en estricto rigor no es así, pero sí se cumple para los elementos fundamentales y más complejos y económicamente costosos de los proyectos.

Luego, como el mercado internacional se rige por los precios globales de cada componente, los costos de recursos materiales estarán determinados principalmente por la demanda de los distribuidores nacionales, que a su vez estarán determinados por la demanda de proyectos.

Luego, si el análisis recayera sobre fabricantes locales, entonces su función al igual que la de las empresas de ingeniería, sería la de crear nuevas soluciones tecnológicas que se adapten a las necesidades levantadas desde las consultoras o desde los distribuidores.



También es fundamental que los fabricantes sean competentes en el mercado internacional puesto que tendrán que competir con los fabricantes externos y su oferta en el mercado local estará fuertemente influenciada estos.

Por principio de acción, las bombas de calor utilizadas en este tipo de proyecto no tienen por qué ser específicamente fabricadas para uso geotérmico, sin embargo las bombas utilizadas para este fin sí tienen determinadas características específicas de las condiciones de contorno del recurso geotérmico (niveles térmicos, estacionalidad, fluidos caloportadores, sistemas de control, etc.).

Por este motivo, los fabricantes son responsables de la eficiencia de la tecnología y por ende también de la competitividad de las soluciones disponibles.

## **7. Actores facilitadores que entregan capital humano, información y apoyan la normalización y fluidez del mercado**

En este grupo se reúnen todas las instituciones que modifican el entorno normativo, financiero y de políticas públicas del mercado.

Desde el punto de vista normativo son los encargados de generar nuevas leyes que agilicen la ejecución de los proyectos y que ayuden a la correcta definición de las necesidades y obligaciones por parte de los distintos actores de la cadena. (Poder legislativo, municipios, MINENERGÍA, SEC, etc.).

Desde el punto de vista financiero, son los encargados de prestar apoyo económico al sector, y de generar mecanismos apropiados de inversión. (Bancos, Grupos de inversionistas, CORFO, Grandes empresas, etc.).

Desde el punto de vista de políticas públicas, son los encargados de generar y administrar la información afín de uso público que facilite las funciones de los diversos actores. (CIFES, CORFO, MINENERGÍA, SEC, etc.).

Desde el punto de vista de capital humano y conocimiento, son los encargados de abastecer al mercado de los técnicos y profesionales necesarios para el desarrollo de la geotermia, así como nuevas soluciones tecnológicas e innovaciones en el área. (Universidades, centros de investigación, centros de formación técnica, etc.).

En general todos estos actores no inciden directamente en los proyectos, es decir, no son estrictamente necesarios, pero cambian radicalmente la fluidez y capacidad técnica del mercado.

Es decir, son un eje fundamental que está presente en todas (o casi todas) las etapas de desarrollo de un proyecto de geotermia.



## 8.2.2 COMENTARIOS GENERALES DE LA CADENA DE VALOR EN CHILE

Por las características de la cadena de valor y la cantidad de actores identificados durante la primera fase, se puede definir que el nivel de integración de la cadena a nivel nacional es bastante elevado.

Esto es natural en cuanto el mercado es muy específico, muy técnico y muy insipiente, por lo tanto para los actores no tiene sentido desintegrar la cadena.

En otras palabras, dado el nivel de demanda y la falta de conocimiento y experiencia en la estructura, es normal que los actores no sean altamente especializados en cada una de las etapas de la cadena y que en cambio tengan la experiencia y los conocimientos necesarios para realizar varias de las operaciones mínimas necesarias.

Para este tipo de mercados tan especializados, lo natural también sería que en la medida que el mercado madura y los distintos actores adquieren experiencia, se vayan especializando cada vez más en una función específica.

Así, una instaladora puede dedicarse plenamente a que las obras sean lo mejor acabadas posibles y una consultora puede definir con el mejor nivel de detalle y vanguardia las características de una nueva instalación, y el fabricante desarrollar la bomba con las prestaciones idóneas para ese tipo de escenario.

También se observa una fuerte dependencia del mercado internacional en cuanto a la adquisición de productos clave, como las mismas bombas, las herramientas necesarias para el sondaje e incluso a veces la conceptualización de proyectos que sean más complejos.

## 8.2.3 ANÁLISIS FODA GENERAL

El presente análisis FODA está realizado sobre la cadena como un global, y sobre cada uno de sus actores como partes de esta. Es decir, no está hecho desde la perspectiva de ningún actor en particular, sino que está orientado hacia la dinamización y madurez del mercado en base a su cadena de valor.

### **Fortalezas**

- Existen proyectos nacionales de geotermia de baja entalpía en marcha y en buenas condiciones de operación. Esto quiere decir, que por lo menos existen las redes y la infraestructura básica para explotar el recurso.
- Existe un conocimiento geotécnico bastante desarrollado debido a la importancia nacional que tiene la minería. En este sentido, si bien los conocimientos no son necesariamente aplicados de la misma forma, existe una base sólida en el



comportamiento de la tierra, las perforaciones y la física que hay detrás de la geotermia a nivel teórico.

- El nivel de integración de la cadena para Chile es bastante elevado, esto quiere decir que las empresas dedicadas al rubro usualmente desarrollan los proyectos desde su concepción, adquisición de recursos materiales, la instalación, puesta en marcha y operación, lo que facilita los tiempos de gestión, la comunicación y costos de especialización para un mercado tan temprano como el chileno.
- La diversificación de los distribuidores más grandes que importan productos de geotermia usualmente les permite mantener estas líneas de productos a un bajo nivel de riesgo.

### **Oportunidades**

- Las características geográficas del país y del recurso geotérmico hacen que los proyectos sean competentes a nivel de prestaciones (en relación a otros lugares del mundo). El hecho de que Chile sea un clima mediterráneo hace que exista mayor usabilidad para la tecnología durante el año, es decir, en invierno la temperatura del suelo (muy cercana al promedio anual), sirve para calentar, de la misma manera que en verano sirve para enfriar, y por ende puede ser aprovechada de modo reversible para todos los procesos productivos que hagan uso paralelo de frío y calor.

Esta facilidad se hace más visible en los climas en que las amplitudes térmicas entre invierno y verano son más importantes, puesto que existe una mayor demanda estacional de frío y de calor. Escenario que se hace presente en la zona más austral del país.

- Las características de la tecnología hacen que en múltiples escenarios sea más competitiva económicamente que las tecnologías actualmente implementadas (de combustibles fósiles en su amplia mayoría) y que la inversión se recupere en términos razonables de tiempo (en algunos casos incluso en menos de 2 años).
- Los modelos de negocio tipo ESCO han probado ser bastante efectivos en otros mercados y posiblemente sean una buena forma de rentabilizar los proyectos para los distintos tipos de actores.

### **Debilidades**

- Los recursos materiales necesarios son principalmente fabricados en el extranjero, lo que no sólo genera una dependencia del mercado internacional y sus precios, sino que además hace que las soluciones no estén adaptadas a la realidad nacional y los tiempos de instalación son más lentos.



- El elevado grado de integración de los actores genera que la especialización en cada una de las partes de este tipo de proyectos sea poco profunda y por lo tanto posiblemente deficiente en relación a otros países con más trayectoria (Alemania, Países Bajos, Estados Unidos, etc.).
- En general, no hay muchos distribuidores de tecnologías a nivel nacional, lo que posiblemente genera un sobrecoste de las mismas.
- Existe muy poco capital humano altamente calificado para la conceptualización y desarrollo de estos proyectos en cuanto a su parte más tecnológica. Es decir, si bien existe personal capacitado para determinar el recurso y realizar las perforaciones y sondeos, existe poco conocimiento de la integración recurso-tecnología.
- La falta de instrumentos de financiamiento orientados a este uso en particular, lo que genera que para las empresas que tienen potencial también sea más difícil realizar las inversiones. A esto se suma que los proyectos energéticos estén riesgosamente mal valorados en el mundo financiero, lo que genera malas condiciones crediticias para los actores interesados.
- La normativa está poco desarrollada en términos prácticos y existen pocos estándares de calidad para los servicios entregados por cada uno de los actores, lo que reduce los niveles de confianza y la fluidez de los procesos administrativos necesarios para la explotación del recurso.
- No hay una red sólida de conocimiento técnico, ni ningún centro nacional que encabece los desarrollos teóricos y tecnológicos del mercado, lo que dificulta la innovación y la creación de nuevas alternativas adaptadas a la realidad nacional.
- La distribución geográfica demasiado centralizada de los actores hace que los costos de transporte y de gestión en general incrementen a medida que los proyectos se desarrollan en las regiones más lejanas de la capital.
- El alto costo de la energía eléctrica no ayuda a reducir los costos de operación

### **Amenazas**

- Los precios de la tecnología desincentivan la inversión y hacen que sea más compleja de adoptar por las empresas.
- Las temperaturas extremas del país son bastante menos extremas que las de otros países-continentes (Estados Unidos y Europa principalmente) que usan más masivamente la tecnología, lo que hace que las demandas de calor-frío para sistemas de clima, sean menos considerables y por ende la rentabilidad de los proyectos sea un tanto inferior.



- Existe una desinformación generalizada en cuanto a las virtudes y defectos de la tecnología, lo que puede generar desconfianza y dificultar la entrada de la geotermia a los procesos industriales.
- En general el mercado chileno es muy pequeño y esto puede dificultar la rentabilización de las innovaciones tecnológicas que se avoquen exclusivamente al ámbito nacional (por temas de volumen).
- Como en un país en vías de desarrollo, las industrias de Chile, aun jóvenes, están concentradas en el crecimiento productivo y no tanto en la realización de proyectos más eficientes, lo que se presenta como una barrera de entrada a las tecnologías como la geotermia que a veces tienen ciclos de rentabilidad a largo plazo.

#### 8.2.4 ANÁLISIS FODA REGIONALIZADO

A continuación se resumen

**Tabla 8.1 Número de proveedores por región**

Región	Número
Región Metropolitana	29
Región del Biobío	2
Región de Atacama	1
Región de Valparaíso	1
Región de la Araucanía	1
Región de Coquimbo	1
Región del Maule	1
Región de los Lagos	1
Región de los Ríos	1
<b>Total general</b>	<b>38</b>

**Tabla 8.2 Servicios entregados por región**

Etiquetas de fila	Servicio técnico	Consultoría	Instalación	Perforación	Venta
Región Metropolitana	11	18	8	4	10
Región del Biobío	1	2	2	2	1
Región de Atacama				1	
Región de Coquimbo	1	1	1	1	1
Región de la Araucanía			1		
Región de los Lagos	1		1	1	1
Región de los Ríos		1			



Región de Valparaíso	1	1	1	1	1
Región del Maule (en blanco)	1	1	1	1	1
<b>Total general</b>	<b>16</b>	<b>24</b>	<b>15</b>	<b>11</b>	<b>15</b>

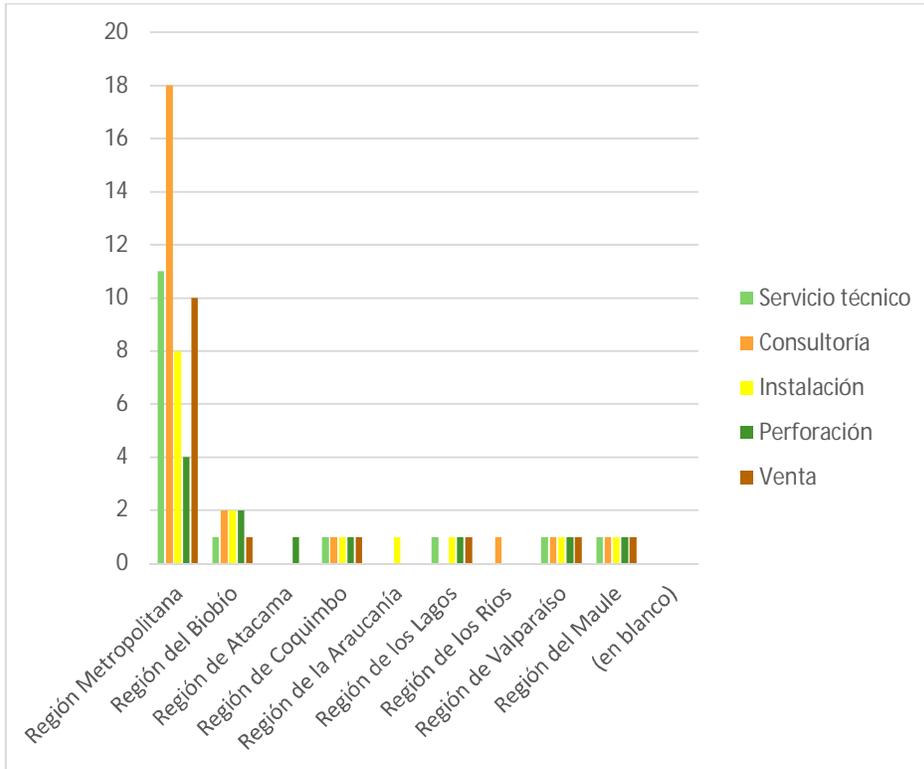


Figura 8.1 Cantidad de servicios ofrecidos por región

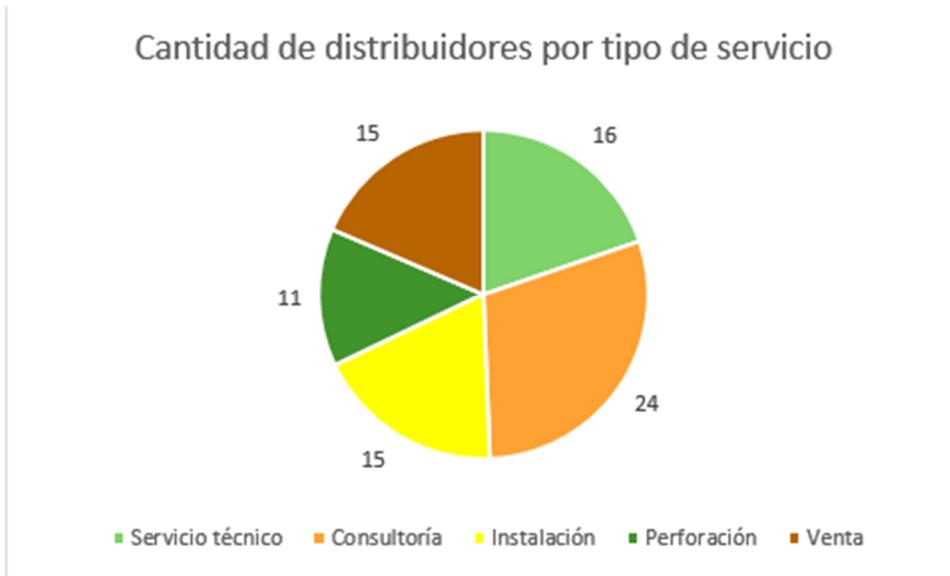


Figura 8.2 Cantidad de distribuidores por tipo de servicio



Figura 8.3 Frecuencia de proveedores por cantidad de servicios ofrecidos

En primer lugar, se consultaron un total de 38 empresas de los distintos servicios contemplados en la cadena de valor. Dado que no se conoce el total nacional de este tipo de empresas, resulta difícil definir con exactitud numérica la representatividad de la muestra.

Sin embargo, de forma cualitativa, tratándose de un mercado muy específico, y en relación a los proveedores de otros países (47 detectados en Alemania, 10 en Austria por ejemplo), es posible que este número no diste mucho del total nacional.



De todas formas, aunque fueran 100 empresas destinadas al rubro, las 34 empresas levantadas (provenientes de 9 regiones distintas), con una confianza del 95%, pueden representar un error estadístico aproximado del 14%, que se considera suficiente para poder establecer los comentarios que se enumeran a continuación.

A partir de los resultados del levantamiento se puede observar un escenario claramente centralizado. En la región metropolitana hay 29 proveedores y una amplia variedad de servicios ofrecidos, luego en la región del Bío-Bío se detectan 2 proveedores, y para el resto de regiones tan sólo un proveedor por región.

En relación al centralismo, se piensa que esto es parte del modelo económico de Chile y que en particular para este rubro significa contraproducias en términos tácticos y operacionales, como por ejemplo, encarece el costo de los proyectos por temas de transporte y empeora la comunicación y el conocimiento de las comunidades/empresas locales con respecto de los proveedores y viceversa.

Se identifica también la multifuncionalidad de los distintos proveedores. Si bien hay 10 proveedores que sólo entregan un tipo de servicios, todas las demás empresas realizan dos o más servicios, y 11 empresas entregan 4 o más tipos de servicios.

Si bien esto es un factor conveniente en términos económicos, es un indicador de la falta de especialización de los proveedores, y de la insipencia del mercado a nivel nacional.

En el caso puntual de la región de Atacama, se detecta una empresa que se especializa en el tema de perforaciones para minería pero que también incluye dentro de sus servicios el tema de prospecciones y perforaciones para uso geotérmico. Esta empresa fue detectada porque diferencia entre sus servicios el tema de geotermia, pero es posible que en las regiones que concentran la producción minera (I, II y III), exista un número mayor de empresas que son capaces de realizar perforaciones, pero que no la identifican de manera especial dentro de su oferta comercial.

**A continuación, se resume el análisis FODA de la industria nacional, con específico interés en la presencia de la cadena de valor en las distintas regiones.**

### **Fortalezas**

- El total nacional detectado de empresas proveedoras de servicios es relativamente alto en relación a otros países.
- Existen proveedores de casi todos los tipos de servicios (venta de productos, servicio técnico, instalación, consultoría y perforación).
- Hay una alta multifuncionalidad detectada en los proveedores encuestados, lo que hace que el sistema sea más económico en términos de gestión y comunicación.



## **Debilidades**

- La mayoría de las empresas proveedoras se concentran en la región metropolitana, que posiblemente no sea la región con mayor potencial de explotación del recurso para usos industriales.
- La multifuncionalidad de los actores es posiblemente un indicador de la falta de especialización en las distintas partes de la cadena de valor, lo que podría significar insuficiencia en conocimientos técnicos para escenarios con elevados grados de complejidad.
- Aunque no se refleja en los resultados puesto que no fue un elemento estadístico levantado, no se detecta la presencia de ninguna entidad que esté encargada de potenciar y/o normar el uso de la energía geotérmica en Chile ni de las potenciales redes de proveedores.

## **Oportunidades**

- La cantidad de proveedores es un indicador de que existe un interés real por el tema. Luego, la cantidad de proyectos levantados podría ser indicador de que ese interés todavía no se materializa en proyectos. A través de las encuestas fue posible determinar de que un elevado número de proveedores, aún no realiza ningún tipo de actividad.
- El potencial descentralizado de operaciones industriales a lo largo del país puede ser explotado para potenciar la producción local y especializada de la tecnología.
- La presencia de empresas perforadoras en el norte puede significar una facilidad con respecto a la prospección y realización de pozos profundos para la explotación del recurso a nivel local.
- Dado que existe una cantidad de proveedores no menor (38), se puede aprovechar la infraestructura del mercado para potenciar la red de proveedores y acercarla al sector productivo mediante un agente intermediario que vele por los intereses de ambos sectores (proveedores y producción).

## **Amenazas**

- El desinterés local de los productores y el modelo económico centralizado puede dificultar el surgimiento de actores locales o la migración/extensión de los existentes a aquellos sectores en que existe más potencial.
- El aumento de costos asociados al centralismo de servicios podría ser un desincentivo para los productores locales de cada región.



- Debido a la falta de presencia de proveedores en regiones, los canales informativos locales de cada región podrían no llegar a conocer los beneficios de la tecnología para cada sector productivo.



## 9 REVISIÓN DE PERMISOS, REGULACIONES Y NORMAS

---

### 9.1 INTRODUCCIÓN

El presente capítulo busca identificar y diagnosticar la legalidad vigente que afecta a los sistemas de generación de calor mediante el uso bombas de calor con intercambio con el suelo o con aguas subterráneas.

Para ello se ha trabajado conjuntamente con Marcelo Vicent, abogado especialista en el uso de agua, por ser esta la parte más lejana a la experiencia de Aiguasol.

A continuación se presenta el informe jurídico elaborado por Marcelo en base a lo trabajado con Aiguasol y posteriormente se amplía este trabajo con aportaciones extras.

### 9.2 INFORME JURÍDICO

#### 9.2.1 ANTECEDENTES GENERALES

El presente capítulo tiene por objeto analizar el marco jurídico o regulatorio aplicable a los proyectos de bombas de calor geotérmicas que se pretendan desarrollar en Chile, para aprovechar la energía geotérmica de baja entalpía, la que se puede calificar dentro del grupo de “energías renovables no convencionales”.

En ese sentido, cabe señalar que la legislación nacional sobre la materia se focaliza en regular las energías convencionales, tales como petróleo, gas y electricidad, a través de una profusa legislación, que comprende leyes, reglamentos e incluso normas técnicas<sup>21</sup>, cuya fiscalización y control corresponde a la Superintendencia de Electricidad y Combustibles (SEC)<sup>22</sup>.

---

<sup>21</sup> Para consultar dicha legislación, se puede visitar la página web del Ministerio de Energía de Chile, específicamente el siguiente link: <http://www.minenergia.cl/transparencia/marconormativo.html>

<sup>22</sup> De acuerdo con el artículo 2.º de la Ley 18.410 que crea la Superintendencia de Electricidad y Combustibles: “El objeto de la Superintendencia de Electricidad y Combustibles será fiscalizar y supervigilar el cumplimiento de las disposiciones legales y reglamentarias, y normas técnicas sobre generación, producción, almacenamiento, transporte y distribución de **combustibles líquidos, gas y electricidad**, para verificar que la calidad de los servicios que se presten a los usuarios sea la señalada en dichas disposiciones y normas técnicas, y que las antes citadas operaciones y el uso de los recursos energéticos no constituyan peligro para las personas o cosas”.



Previo al análisis de la legislación nacional, analizaremos cómo se trata el aprovechamiento de estas energías en el Derecho comparado, teniendo como referencia, principalmente, legislación de países europeos, y para el caso del marco regulatorio nacional se analizará la Ley N° 19.657 sobre Concesiones de Energía Geotérmica, la legislación de aguas contenida en el Código de Aguas y la legislación medioambiental, concluyendo con propuestas regulatorias que permitan promover y facilitar el uso de energía de baja entalpía.

### 9.2.2 DERECHO COMPARADO.

La energía geotérmica en países como España<sup>23</sup>, Francia<sup>24</sup>, Alemania<sup>25</sup> y Suiza, se considera un “recurso minero”, de manera tal que su régimen jurídico se sujeta a las normas propias del Derecho Minero y a un régimen concesional de exploración y explotación, como las minas; o licencias administrativas de explotación de la energía geotérmica. Todo ello, con los privilegios, cargas y obligaciones propios de la actividad minera.

No obstante lo anterior, los nuevos desarrollos normativos en dichos países están considerando la regulación de los usos domésticos de las aguas o de la energía geotérmica de baja entalpía o en pequeña escala de manera distinta a los recursos mineros.

En efecto, el hecho de concebir la “energía geotérmica” como “recurso minero” genera, en nuestra opinión, una rigidez en el uso y aprovechamiento de esta energía, ya que la somete a un régimen concesional que es, en general, muy burocrático y lento; y la hace competir con otra actividad –la minería- con la que no es necesariamente complementaria ni tampoco competitiva.

En España, por ejemplo, el artículo 1.1 de la Ley 22/1973, de 21 de julio, de Minas, establece “el régimen jurídico de la investigación y aprovechamiento de los yacimientos minerales y demás recursos geológicos cualesquiera que fueren su origen y estado físico”, entre los que se cuentan, de acuerdo con su artículo 3.1 Sección D), “los recursos geotérmicos”<sup>26</sup>.

---

<sup>23</sup> Ver Ley 22/1973, de 21 de julio, de Minas.

<sup>24</sup> Ver Decree 77-620, de 16 de junio de 1977, que introdujo nuevo título “Depósitos de baja temperatura geotérmica” en el Código Minero y Decree 74-498, de 24 de marzo de 1978, sobre “Licencias de explotación y prospecciones geotérmicas”.

<sup>25</sup> Ver “Bundesberggesetz – BbergG”, Ley Federal de Minas y “Wasser – Haushaltsgesetz”, Ley de Aplicaciones Domésticas del Agua y Legislación Federal en materia de Aguas.

<sup>26</sup> Ver la Ley 54/1980, 5 noviembre, de modificación de la Ley de Minas, que introdujo una nueva sección d) en el artículo 3.1, dentro de la cual se incluyó a los “recursos geotérmicos”.



De manera tal, que el aprovechamiento de los “recursos geotérmicos” está sujeto, en forma previa a su ejecución, a “permisos de exploración” (Arts. 40 a 42), “permisos de investigación” (Arts. 43 a 59) o “permisos de explotación” (Arts. 60 a 64). Cada una de estas categorías establece derechos y obligaciones para sus titulares.

Sin embargo, el número 2 del artículo 3.º de la ley en comento establece una exclusión, que tiene importantes efectos para el aprovechamiento de “los recursos geotérmicos” de baja entalpía, en sus aplicaciones distintas de la minería, tales como domiciliarias, comerciales o industriales. En efecto, esta norma establece que:

***“Queda fuera del ámbito de la presente Ley la extracción ocasional y de escasa importancia de recursos minerales, cualquiera que sea su clasificación, siempre que se lleve a cabo por el propietario de un terreno para su uso exclusivo y no exija la aplicación de técnica minera alguna”.***

Por tanto, los requisitos para que opere esta exclusión, son:

- a) Que se trate de una extracción ocasional y de escasa importancia de “recursos geotérmicos” (que se asimilan en esta legislación a los “recursos minerales”);
- b) Que se lleve a cabo por el propietario de un terreno para su uso exclusivo; y,
- c) Que no exija la aplicación de técnica minera alguna.

De manera tal, que los titulares de proyectos que reúnan estos requisitos quedan excluidos de la legislación minera, permitiendo el libre aprovechamiento de estos recursos geotérmicos, sin perjuicio que deberán cumplir con otras legislaciones sectoriales como las de aguas y medioambientales, especialmente el Real Decreto Legislativo 1/2001, de 20 de julio, por el que se aprueba el texto refundido de la Ley de Aguas y la Ley 2/2002, de 19 de enero, por el que se aprueba el texto refundido de la Ley de Evaluación de Impacto Ambiental.

La exclusión de la extracción ocasional, bajo los requisitos señalados, facilita el uso de energías geotérmicas de baja entalpía al sujetarlos a un régimen de permisos menos restrictivos que los de la minería tradicional (concesiones mineras), lo que permite su facilitación y promoción.



### 9.2.3 MARCO REGULATORIO EN CHILE.

En Chile, no existe un marco regulatorio para el uso de la “energía geotérmica” de baja entalpía, por lo que es necesario analizar la legislación general aplicable al sector energía<sup>27</sup>, que regula diversas fuentes como el petróleo<sup>28</sup>, gas<sup>29</sup>, electricidad<sup>30</sup>, energía nuclear<sup>31</sup> y las concesiones de energía geotérmica<sup>32</sup>.

Para ello es necesario precisar qué se entiende por “energía” en general, y por “energía geotérmica”, en particular. Sobre lo primero, el artículo 3.º del Decreto Ley N.º 2.224, de 25 de mayo de 1978, modificado por la Ley N.º 20.402, de 3 de diciembre de 2009, que crea el Ministerio de Energía y la Comisión Nacional de Energía, nos dice que:

*“Para los efectos de la competencia que sobre la materia corresponde al Ministerio de Energía, el sector de energía comprende a todas las actividades de estudio, exploración, explotación, generación, transmisión, transporte, almacenamiento, distribución, consumo, uso eficiente, importación y exportación, y cualquiera otra que concierna a la electricidad, carbón, gas, petróleo y derivados, energía nuclear, geotérmica y solar, y demás fuentes energéticas”.*

Por lo tanto, la exploración, explotación, generación, distribución, consumo, y cualquiera otra actividad que concierna a la “energía geotérmica”, es de competencia del Ministerio de Energía.

Ahora bien, el concepto de “energía geotérmica” propiamente tal, se encuentra definido y regulado en la Ley N.º 19.657 sobre Concesiones de Energía Geotérmica. De acuerdo con el artículo 1.º de la ley, “las normas de esta ley regularán:

---

<sup>27</sup> Ver la Ley N.º 18.410 que crea la Superintendencia de Electricidad y Combustibles.

<sup>28</sup> Ver el D.F.L. N.º 1, de 1986, del Ministerio de Minería (y sus modificaciones) que fija texto refundido, coordinado y sistematizado de la ley N.º 9.618, que crea la Empresa Nacional del Petróleo; y el D.F.L. N.º 2, de 1986, del Ministerio de Minería (y sus modificaciones) que fija el texto refundido, coordinado y sistematizado del Decreto Ley N.º 1.089, de 1975, que establece normas sobre contratos especiales de operación para la exploración y explotación o beneficio de yacimientos de hidrocarburos.

<sup>29</sup> Ver el D.F.L. N.º 323, de 1931, del Ministerio del Interior (y sus modificaciones) “Ley de Servicios de Gas”.

<sup>30</sup> Ver D.F.L. N.º 4/2.018, de 5 de febrero de 2007, que fija texto refundido, coordinado y sistematizado del Decreto con Fuerza de Ley N.º 1, de Minería, de 1982, Ley General de Servicios Eléctricos, en materia de Energía Eléctrica.

<sup>31</sup> Ver la Ley N.º 18.302 de Seguridad Nuclear.

<sup>32</sup> Ver la Ley N.º 19.657 sobre Concesiones de Energía Geotérmica.



- a) *La energía geotérmica.*
- b) *Las concesiones y licitaciones para la exploración o la explotación de energía geotérmica;*
- c) *Las servidumbres que sea necesario constituir para la exploración o la explotación de la energía geotérmica;*
- d) *Las condiciones de seguridad que deban adoptarse en el desarrollo de las actividades geotérmicas;*
- e) *Las relaciones entre los concesionarios, el Estado, los dueños del terreno superficial, los titulares de pertenencias mineras y las partes de los contratos de operación petrolera o empresas autorizadas por ley para la exploración y explotación de hidrocarburos, y los titulares de derechos de aprovechamiento de aguas, en todo lo relacionado con la exploración o la explotación de la energía geotérmica, y*
- f) *Las funciones del Estado relacionadas con la energía geotérmica”.*

Su artículo 3.º define lo que se entiende por “energía geotérmica”:

*“Se entenderá por energía geotérmica 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”.*

Se trata, como vemos, de una definición muy amplia, que puede traer, por lo mismo, problemas de aplicación de la ley.

Por su parte, el artículo 4º declara que la “energía geotérmica” es un bien del Estado, susceptible de concesión. Esta norma declara que:

*“La energía geotérmica, cualesquiera sea el lugar, forma o condiciones en que se manifieste o exista, es un bien del Estado, susceptible de ser explorada y explotada, previo otorgamiento de una concesión, en la forma y con cumplimiento de los requisitos previstos en la ley”.*

En la ley en comento, la concesión de energía geotérmica tiene el carácter de un “derecho real” y la misma protección que el derecho de propiedad. En efecto, el artículo 5.º de la ley prescribe que: *“La concesión de energía geotérmica es un derecho real inmueble, distinto e independiente del dominio del predio superficial, aunque tengan un mismo dueño, oponible al Estado y a cualquier persona, transferible y transmisible, susceptible de todo acto o contrato”.* Asimismo, se establece, en su inciso 2.º, que el concesionario “tiene



*sobre la concesión un derecho de propiedad, protegido por la garantía contemplada en el artículo 18 de la Constitución Política y por las demás normas jurídicas que sean aplicables al mismo derecho”.*

Por último, en los artículos 6.º a 8.º se describen las características de las concesiones de exploración y explotación de energía geotérmica.

Dentro de los derechos del concesionario, el artículo 27 establece en sus incisos 1.º, 2.º y 3.º que:

*“El titular de la concesión de energía geotérmica tiene, por el solo ministerio de la ley, y en la medida necesaria para el ejercicio de la concesión, el derecho de aprovechamiento, consuntivo y de ejercicio continuo, de las aguas subterráneas alumbradas en los trabajos de exploración o de explotación. Este derecho de aprovechamiento es inherente a la concesión de energía geotérmica y se extinguirá con ésta.*

*Dentro del plazo de seis meses, contado desde el alumbramiento de las aguas subterráneas, el concesionario de energía geotérmica deberá informar a la Dirección General de Aguas, respecto de la ubicación del punto de captación, de las características técnicas de la extracción y de los caudales extraídos.*

*Una vez terminada la utilización geotérmica de las aguas referidas en el inciso primero de este artículo, el titular de la concesión de energía geotérmica será dueño del respectivo derecho de aprovechamiento y podrá disponer de las aguas, mientras la concesión de energía geotérmica se mantenga vigente. La misma disposición se aplicará a los demás fluidos geotérmicos”.*

Y su inciso final, agrega que:

*“Para la utilización de aguas distintas a las referidas en el inciso primero de este artículo, se estará a lo dispuesto en el Código de Aguas y demás normativa aplicable”.*



De acuerdo con la preceptiva anterior, el actual marco normativo de la “energía geotérmica” no considera el uso no consuntivo de las aguas, de manera tal que existe un vacío normativo sobre la materia.

Como se observa, si bien en nuestro país existe una ley que regula las concesiones de energía geotérmica, que se encuentran sujetas a un régimen concesional muy parecido al de la minería contenido en el Código Minero, con concesiones de exploración y explotación, la Ley N° 19.657 sobre Concesiones de Energía Geotérmica no regula proyectos a pequeña escala, ya que, de acuerdo con su artículo 7.º, las dimensiones del largo y el ancho del paralelogramo de una concesión de exploración deberán ser múltiplos de mil metros; y para una concesión de explotación, múltiplos enteros de cien metros. Es decir, una concesión de exploración debe tener, a lo menos, cien hectáreas; y una concesión de explotación debe tener, a lo menos, una hectárea. En otras palabras, como veremos, el legislador reguló concesiones de gran extensión territorial.

De la revisión del marco jurídico aplicable a las concesiones de energía geotérmica, se puede concluir lo siguiente:

- a) La “energía geotérmica” es un bien del Estado susceptible de concesión.
- b) Si bien la definición de “energía geotérmica”, contenida en el artículo 3.º de la ley es muy amplia y extensiva, el régimen de concesiones que ella establece es para grandes proyectos de exploración (cien hectáreas) o explotación (una hectárea), excluyendo tácitamente del régimen de concesiones a proyectos de menores extensiones territoriales que las señaladas.
- c) La ley otorga, por el solo ministerio de la ley, el derecho de aprovechamiento, consuntivo y de ejercicio continuo, de las aguas subterráneas alumbradas en los trabajos de exploración o explotación, pero no incluye dentro de este derecho el uso no consuntivo, que es esencial para los proyectos de energía geotérmica de baja entalpía.
- d) Por lo anterior, es necesario establecer una regulación especial para los proyectos de energía geotérmica de baja entalpía, que facilite y promueva su ejecución.

#### 9.2.4 LEGISLACIÓN DE AGUAS.

Al efecto, el artículo 140 del Código de Aguas establece los requisitos que debe contener la solicitud para adquirir el derecho de aprovechamiento, ya sea consuntivo o no consuntivo. De estos requisitos, resulta relevante para efectos de este trabajo sólo el N° 6 de este artículo que dice que:



*“En el caso que se solicite, en una o más presentaciones, un volumen de agua superior a las cantidades indicadas en los incisos finales de los artículos 129 bis 4 y 129 bis 5<sup>33</sup>, el solicitante deberá acompañar una memoria explicativa en la que se señale la cantidad de agua que se necesita extraer, según el uso que se le dará. Para estos efectos, la Dirección General de Aguas dispondrá de formularios que contengan los antecedentes necesarios para el cumplimiento de esta obligación. Dicha memoria se presentará como una declaración jurada sobre la veracidad de los antecedentes que en ella se incorporen”.*

Esta norma es complementada por el Decreto Supremo N° 743, de 12 de diciembre de 2005, del Ministerio de Obras Públicas, que fija Tabla de Equivalencias entre Caudales de Agua y Usos, que refleja las Prácticas Habituales en el País en Materia de Aprovechamiento de Aguas. De acuerdo con el citado decreto, esta “tabla de equivalencias regirá con el objeto que el Director General de Aguas, o su delegado para estos efectos, pueda, mediante resolución fundada, limitar el caudal que se conceda sobre la base de una solicitud de derechos de aprovechamiento; y “esa facultad de limitación de la concesión rige si manifiestamente no hubiera equivalencia entre la cantidad de agua que se necesita extraer según los fines invocados por el peticionario en la memoria explicativa señalada en el número 6 del artículo 140 del Código de Aguas, y los caudales señalados en la tabla de equivalencias”.

Dentro de la tabla de equivalencias, no se encontraba el uso de agua para aprovechamiento de energía geotérmica de baja entalpía, respecto de la climatización, mediante bombas de calor, por lo que, la Dirección General de Aguas (DGA), mediante Resolución Exenta N° 2176, de 16 de agosto de 2014, estableció los siguientes requerimientos de agua:

*Proceso Climatización Doméstica y Comercial: 15 l/min/10m<sup>2</sup>*

*Proceso Climatización Industrial: 22 l/min/10m<sup>2</sup>*

*Sin perjuicio de lo antes establecido, en el evento de contarse con información de “requerimiento térmico” o potencia del equipo requerido, la recomendación es 0,05 l/min/W.*

---

<sup>33</sup> Estos artículos se refieren a la proporción no usada de los derechos de aprovechamiento de aguas consuntivos o no consuntivos que deben pagar patente por su no uso.



Tal como señala el fundamento de la resolución en comento, esta tuvo origen en la solicitud de constitución del derecho de aprovechamiento de aguas subterráneas presentada por Parque Titanium S.A., con fecha 20 de abril de 2012, contenido en el expediente administrativo ND-1306-1589. Y los parámetros contenidos en la normativa citada tienen su origen en el Informe Técnico DARH N° 179, de 24 de junio de 2014, de fecha 24 de junio de 2014, que se hizo en forma específica para Parque Titanium S.A.

De esta forma, las unidades de medición, así como los valores establecidos por la Resolución Exenta N° 2176/2014, para todos los proyectos futuros de energía geotérmica que utilicen “bombas de calor” fueron determinados en forma casuística, lo que representa una debilidad normativa, pues estos valores podrían variar para otros proyectos similares, pero que usen otras tecnologías o equipos.

### 9.2.5 LEGISLACIÓN AMBIENTAL

El artículo 19 N° 8 de la Constitución Política de la República, reconoce a todas las personas “el derecho a vivir en un medio ambiente libre de contaminación” y el deber del Estado de “velar porque este derecho no sea afectado” y “tutelar la preservación de la Naturaleza”, permitiendo el establecimiento de restricciones legales específicas a otros derechos para la protección del medio ambiente.

Concordante con lo anterior, en nuestro país existen numerosas normas de protección del medio ambiente y de los recursos naturales, siendo la principal de ellas la Ley N° 19.300 sobre Bases Generales del Medio Ambiente. Su artículo 1.° señala que:

*“El derecho a vivir en un medio ambiente libre de contaminación, la protección del medio ambiente, la preservación de la naturaleza y la conservación del patrimonio ambiental se regularán por las disposiciones de esta ley, sin perjuicio de lo que otras normas legales establezcan sobre la materia”.*

El artículo 2.° de la ley en comento contiene numerosas definiciones legales para entender el sentido y alcance de esta ley. Entre ellas, resultan relevantes para este trabajo, las definiciones de “contaminante”, “daño ambiental” e “impacto ambiental”, pues permiten concluir que las actividades de exploración o explotación de “energía geotérmica” pueden provocar impactos o daños ambientales que es preciso prevenir y controlar, a través de los instrumentos de gestión ambiental establecidos en la ley.

La letra d) del artículo 2.° de la ley define “**Contaminante**” como: “*todo elemento, compuesto, sustancia, derivado químico o biológico, energía, radiación, vibración, ruido, o una combinación de ellos, cuya presencia en el ambiente, en ciertos niveles,*



concentraciones o períodos de tiempo, pueda constituir un riesgo a la salud de las personas, a la calidad de vida de la población, a la preservación de la naturaleza o a la conservación del patrimonio ambiental”. De esta definición se colige que la **“energía”** puede ser considerada potencialmente un **“contaminante”**, lo que debe ser considerado en los proyectos de explotación de “energía geotérmica”, incluyendo los de baja entalpía.

Por su parte, la letra e) del artículo 2.º de la ley define **“Daño Ambiental”** como: *“toda pérdida, disminución, detrimento o menoscabo significativo inferido al medio ambiente o a uno o más de sus componentes”*. Se trata de una definición muy amplia, aunque exige que el daño ambiental debe ser **significativo**.

Por último, la letra k) del artículo 2.º de la ley define **“Impacto Ambiental”** como: *“la alteración del medio ambiente, provocada directa o indirectamente por un proyecto o actividad en un área determinada”*.

Ahora bien, la ley, con el objeto de prevenir o precaver la contaminación del medio ambiente, el daño ambiental o los impactos ambientales, establece varios instrumentos de gestión ambiental, entre los que se cuentan los siguientes:

- a) Educación e investigación ambiental;
- b) Evaluación ambiental estratégica;
- b) Sistema de evaluación de impacto ambiental;
- c) Participación de la comunidad;
- d) Normas de calidad ambiental y de preservación de la naturaleza y conservación del patrimonio ambiental;
- e) Normas de emisión;
- f) Planes de manejo, prevención o descontaminación; y,
- g) Responsabilidad civil ambiental.

De estos, el instrumento más importante que se creó con su aprobación es el Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental (SEIA), que está constituido, a su vez, por dos instrumentos: las Declaraciones de Impacto Ambiental (DIA) y los Estudios de Impacto Ambiental (DIA). Estos son, en términos generales, instrumentos de evaluación y de carácter preventivo que tienen por objeto primordial predecir o anticipar los efectos negativos o adversos que generará un determinado proyecto o actividad sobre el medio ambiente, a fin de adoptar las medidas necesarias para su mitigación, compensación o



reparación; lo que es particularmente aplicable a la “energía geotérmica” en cuanto bien jurídico tutelado.

En esta materia, la ley es complementada por el Decreto Supremo N° 40, de 12 de agosto de 2013, del Ministerio de Medio Ambiente, que aprueba el “Reglamento del Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental”.

En cuanto a las causales de ingreso al SEIA, el artículo 10 de la ley señala que los proyectos o actividades que enumera y que son susceptibles de causar impacto ambiental, en cualquiera de sus fases, deberán someterse al *Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental* (SEIA). Este artículo entrega un listado de los proyectos o actividades que deben someterse a un *Estudio o Declaración de Impacto Ambiental*, según corresponda, listado que es complementado por el artículo 3.° del reglamento del SEIA.

Además, si estos proyectos o actividades presentan alguno de los efectos, características o circunstancias que señala el artículo 11 de la ley, deberán ingresar al SEIA a través de un Estudio de Impacto Ambiental (EIA).

Los proyectos o actividades de aprovechamiento de “energía geotérmica” propiamente tal, como los de baja entalpía, no se encuentran enumerados dentro del artículo 10 de la ley, por lo que se encuentran excluidos de su ingreso al SEIA. Sin embargo, existen algunos literales que, bajo ciertas condiciones, podrían obligar a ingresar al SEIA a ciertos proyectos o actividades que utilicen dicha energía, cuando se trata de:

*“c) Centrales generadoras de energía mayores a 3 MW”; y,*

*“p) Ejecución de obras, programas o actividades en parques nacionales, reservas nacionales, monumentos naturales, reservas de zonas vírgenes, santuarios de la naturaleza, parques marinos, reservas marinas o en cualesquiera otras áreas colocadas bajo protección oficial, en los casos en que la legislación respectiva lo permita”.*

En los demás casos, estos proyectos o actividades de uso de “energía geotérmica” de baja entalpía no están obligados a ingresar al SEIA, lo que no significa que el titular deba tomar resguardos ambientales en materias susceptibles de causar impacto o, eventualmente, daño ambiental, como el uso o explotación excesiva de los recursos hídricos provenientes de aguas subterráneas, sin que se recargue el acuífero; y/o los saltos térmicos entre la temperatura natural del acuífero y de las aguas que se restituyan una vez utilizadas al mismo, a mayor o menor temperatura de la que fue extraída.



### 9.2.6 PROPUESTAS REGULATORIAS.

En el contexto anterior, atendido el vacío legal que presenta la Ley N° 19.657 sobre Concesiones Geotérmicas, que establece un régimen de concesiones de exploración y explotación de gran extensión territorial -como dijimos más atrás, de cien hectáreas, en el caso de la concesión de exploración; y de una hectárea, en el caso de la concesión de explotación, respectivamente- se hace necesario introducir una reforma legal que permita y promueva el uso de “energía geotérmica” de baja entalpía, siguiendo el modelo español y las nuevas regulaciones europeas, bajo las siguientes consideraciones:

- a) Establecer un régimen de exclusión de las disposiciones de la Ley N° 19.657 sobre Concesiones Geotérmicas, mediante la reforma del artículo 2.° de la ley, estableciendo la libre apropiabilidad o uso de la energía geotérmica, cuando:
  - a.1. Se trate de una extracción ocasional y de escasa importancia de “recursos geotérmicos”, para usos urbanos, domiciliarios, comerciales, industriales u otros. La escasa importancia se refiere a una extensión territorial inferior a la establecida en el artículo 7 de la ley para las concesiones de exploración y explotación y dentro de un terreno específico.
  - a.2. Se lleve a cabo por el propietario de un terreno –persona natural o jurídica- para su uso exclusivo y/o de sus instalaciones; y,
  - a.3. No genere emisiones, residuos o energías que puedan contaminar el acuífero.
  
- b) Modificar el Código de Aguas, estableciendo que:
  - b.1. El titular de un proyecto que reúna las condiciones señaladas en la letra anterior tiene, por el solo ministerio de la ley, y en la medida necesaria para el aprovechamiento de la energía geotérmica, el derecho de aprovechamiento no consuntivo, de ejercicio continuo, de las aguas subterráneas existentes en su predio. En los demás casos, deberá solicitarse los derechos de aprovechamiento de conformidad a la legislación general.
  - b.2. El derecho a que se refiere la letra anterior, sólo obligará a su titular a no afectar el volumen del acuífero o fuente de agua, restituyendo toda el agua que



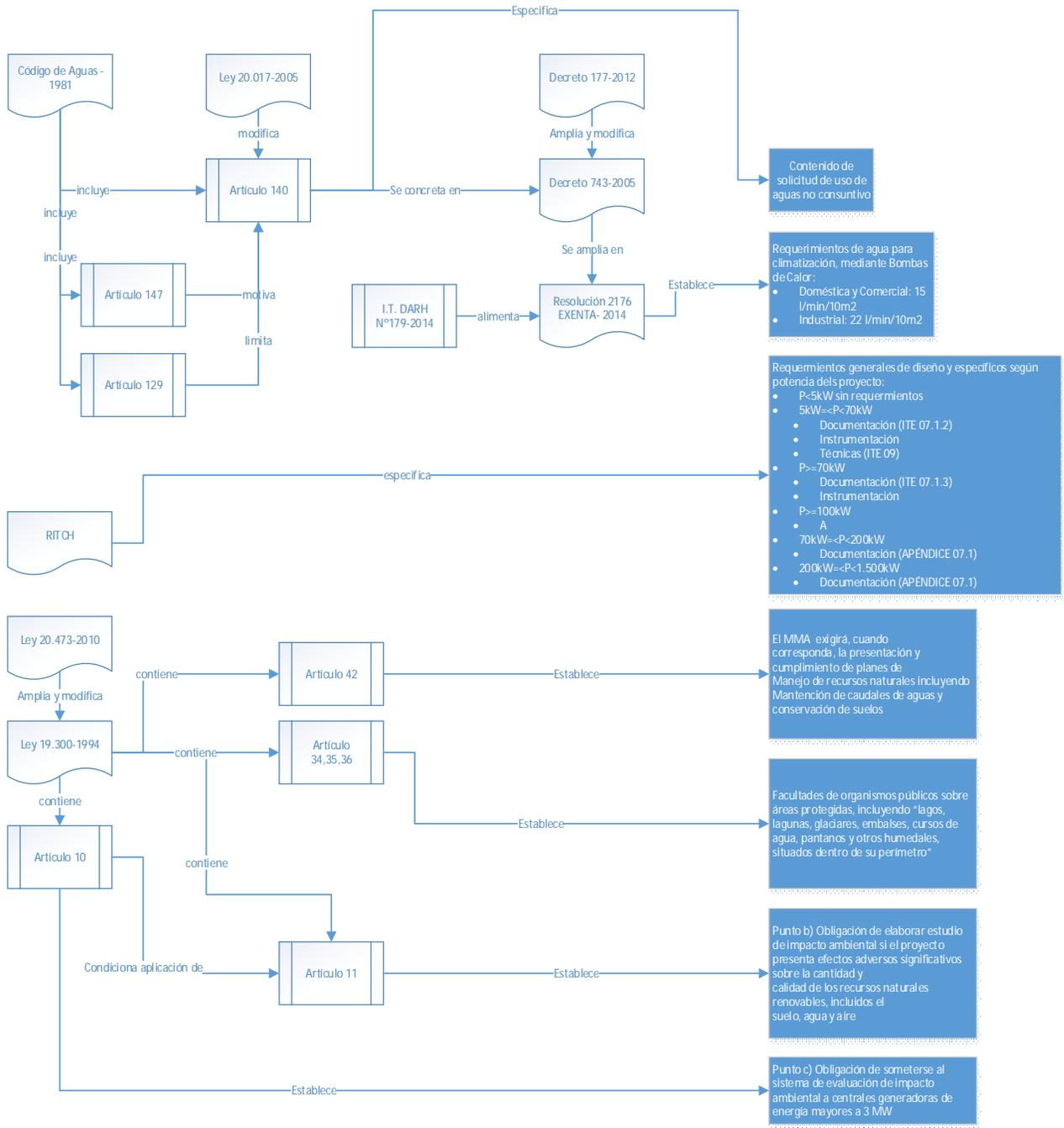
use; y a evitar los saltos térmicos excesivos, entre el agua extraída del acuífero y la que se devuelve a su fuente natural.

- c) Modificar la Resolución Exenta N° 2176/2014, de modo tal que las unidades de medición y los valores que se establecen en ella, correspondan a estándares técnicos científica e internacionalmente validados, y no sólo a los que corresponden a determinados equipos y/o tecnologías, asociados a un proyecto particular.

### 9.3 AGREGADO AL INFORME JURÍDICO

Paralelamente al análisis anterior, se generó un diagrama de aspectos legales que influyen en las consideraciones necesarias a tomar en cuenta para poder ejecutar un proyecto de este tipo, dependiendo de si se pretende o no usar agua freática, aun en régimen no consuntivo. Más allá de lo estipulado anteriormente, se incluye acá el RITCH que introduce algunos otros requerimientos.

Por otra parte, más partiendo de las propuestas regulatorias expuestas, consideramos importante recalcar que para el uso aguas subterráneas se debería establecer un impacto térmico límite en base criterios de mantenimiento de condiciones de vida de los ecosistemas relacionados, para lo cual debería hacerse un trabajo específico integrando requerimientos ambientales con requerimientos técnicos y viabilidad.



**Figura 4. Diagrama de afectaciones legales para proyectos GSHP**



# 10 BARRERAS, BRECHAS, PROBLEMAS Y OPORTUNIDADES DE MERCADO Y RECOMENDACIONES

---

## 10.1 BARRERAS

### **Tecnológicas**

En términos tecnológicos, las barreras que enfrenta el desarrollo de los proyectos de geotermia de baja entalpía son:

- Las tecnologías implicadas en el desarrollo de proyectos de geotermia pueden ser económicamente poco competitivas en función de las características de la operación en que se inserten.
- El desconocimiento generalizado por parte de la industria con respecto de la tecnología y la resistencia organizacional al cambio pueden desincentivar el uso de la geotermia como una tecnología nueva y riesgosa.
- Las fuentes convencionales de energía ya están muy enraizadas en los procesos productivos y el diseño de los mismos está usualmente basado en las soluciones más ampliamente probadas.
- Los sistemas de climatización tradicionales y muchos procesos con requerimientos térmicos tienen temperaturas de retorno demasiado altas, lo que hace que la introducción de GSHP en los mismos no obtenga los mejores resultados deseables.

### **Económicas**

En términos económicos, las barreras que enfrenta el desarrollo de los proyectos de geotermia de baja entalpía son:

- Tamaño muy pequeño del mercado como para incentivar la entrada de nuevos actores.
- Economías de escala no aplicables a las perforaciones.
- Dificultad de financiación de la alta inversión de los sistemas

### **Logísticas**



En términos logísticos, las barreras que enfrenta el desarrollo de los proyectos de geotermia de baja entalpía son:

- Centralismo excesivo de la economía nacional eleva los costes de la logística regional.
- Puesto que la mayoría de los productos provienen del extranjero los tiempos de importación pueden retrasar notoriamente los proyectos.

### **Normativas**

En términos normativos, la legislación chilena prácticamente no contempla la existencia singular de los sistemas de climatización mediante el uso de bombas de calor aprovechando energía geotérmica, lo que representa a su vez una oportunidad para el desarrollo, pero a su vez un riesgo, pues se ubica en un entorno legislativo gris que supone inseguridad jurídica y puede conllevar situaciones no deseadas si en algún momento se activaran acciones contrarias basadas en legislación aplicable, como la propia Ley N° 19.657. Igualmente, lo poco que sea legislado específicamente, en lo referente a uso de aguas subterráneas, se ha hecho de forma discrecional, lo que podría perjudicar al desarrollo de proyectos por restrictiva o permitir impactos negativos en el medio ambiente por tolerante.

## **10.2 BRECHAS**

### **Tecnológicas**

En términos tecnológicos, las brechas que dificultan el desarrollo de los proyectos de geotermia de baja entalpía son:

- Falta de distribuidores especializados para un mayor grado de competencia y precios más bajos.
- Falta de conocimiento en cuanto a los campos de aplicación y los niveles de competencia técnica económica, para aumentar niveles de confianza e interés del mercado.
- Falta de canales para expandir el conocimiento técnico
- Falta de herramientas que ayuden a la definición de la conveniencia de la geotermia de baja entalpía sobre las tecnologías convencionales.
- Falta capacidad de diseñar los sistemas HVAC con mentalidad de eficiencia e integrando fuentes por niveles térmicos, para obtener el mejor rendimiento de cada tecnología.

### **Económicas**



En términos económicos, las brechas que dificultan el desarrollo de los proyectos de geotermia de baja entalpía son:

- Falta de instrumentos de financiamiento a raíz de la desconfianza en tecnologías “nuevas” o con poca aplicación en el país
- Falta una estructura real de financiación de proyectos por terceros, tipo ESCO

### **Logística**

En términos logísticos, las brechas que dificultan el desarrollo de los proyectos de geotermia de baja entalpía son:

- Incrementar estocaje para mejorar tiempos de suministro

### **Normativos**

En términos normativos, existe pues una brecha entre el estadio actual y la normalidad de la que debería gozar esta tecnología que podría ser subsanada de forma no excesivamente complicada legislando según lo indicado en las recomendaciones legales del presente informe.

## **10.3 OPORTUNIDADES**

### **Tecnológicas**

En términos tecnológicos, las oportunidades de mercado que pueden facilitar el desarrollo de los proyectos de geotermia de baja entalpía son:

- Desarrollo de nuevas tecnologías locales definidas para condiciones de contorno y operación locales.
- Aplicación de soluciones para mitigación de gases de efecto invernadero en la zona austral del país
- La similitud con otros sistemas de bombas de calor y su extensa aplicación internacional hace que esta tecnología sea menos difícil de comprender por parte de la industria.

### **Económicas**

En términos económicos, las oportunidades de mercado que pueden facilitar el desarrollo de los proyectos de geotermia de baja entalpía son:

- Se han identificado múltiples mercados en los que la viabilidad de los sistemas puede ser muy alta y por lo tanto la capacidad de penetración será importante
- Aprovechamiento de los modelos ESCO para la explotación del recurso en las diferentes industrias productivas del país



### **Logística**

En términos logísticos, las oportunidades de mercado que pueden facilitar el desarrollo de los proyectos de geotermia de baja entalpía son:

- Potenciamiento de los actores regionales y la industria productiva no metropolitana, debido al potencial elevado en la zona austral del país

### **Normativos**

En términos normativos, las oportunidades de mercado que pueden facilitar el desarrollo de los proyectos de geotermia de baja entalpía son:

- Creación de estándares en la manufactura e instalación de sistemas conceptualizados en Chile.



# 11 CONCLUSIONES

---

## 11.1 DE LA TECNOLOGÍA

Según se ha podido observar a nivel de referencias y publicaciones internacionales, así como en base a la experiencia local y propia, podemos concluir que la geotermia, gracias a su conexión directa con la gran industria de las bombas de calor, es una tecnología madura y fiable, que presenta sus únicos riesgos en el dimensionado y ejecución de los elementos de conexión y disipación, no así en los elementos centrales, como la bomba de calor y el sistema de control, que llegan al mercado bien “empaquetados” técnicamente.

Por otra parte cabe destacar que la tecnología se encuentra todavía en un punto medio de su curva de experiencia y dispone de potencial tanto en lo que a reducción de costos como a mejora de rendimientos se refiere.

## 11.2 DEL MERCADO

A pesar que no se ha llevado a cabo un estudio de potencial de la tecnología que hubiera permitido evaluar el tamaño del mercado en base a la capacidad de penetración de la tecnología no tanto a nivel técnico como económico, los análisis llevados a cabo para casos tipo en las distintas zonas climáticas indican que existe potencial de rentabilidad en la industria vitivinícola, en piscifactorías, en granjas de cerdos, en Hoteles, en Redes de Distrito de calefacción y en Hospitales, con períodos de retorno respecto a soluciones convencionales que van desde menos de dos años para un Hospital en el norte, a los cerca de 10 de las piscifactorías.

Estos resultados indican que esta tecnología tiene un mercado potencial al que puede ofrecer soluciones competitivas en costo a medio plazo y por lo tanto, más allá de las ayudas que pueda requerir para su desarrollo como mercado y/o para superar las distintas barreras técnicas o sociales, la viabilidad económica no es una barrera, lo que no significa que sí que lo sean los mayores niveles de inversión requeridos y los períodos de retorno, a menudo no asumible por los clientes finales.

## 11.3 DE LA INDUSTRIA

Se ha constatado que existe una industria chilena de la geotermia con cierto tamaño (38 empresas), con cierta experiencia (al menos 29 proyectos implementados) en muy



distintos sectores y para muy distintos tamaños, y que cubre toda la cadena de valor, exceptuando la fabricación de equipos que en todos los casos son de importación.

Aun así esta conclusión general no es aplicable a un análisis por regiones, pues sólo 5 regiones cuentan con todos los servicios requeridos para el desarrollo de un proyecto gshp y sólo dos de ellas tienen más de una empresa para ello, concentrando Santiago una gran parte de la industria y siendo este, el de la Región Metropolitana, el único mercado que podemos considerar completo y diverso y, por lo tanto, con visos de madurez y de ofrecer garantías a los posibles clientes.

## 11.4 DEL MARCO LEGAL

Se concluye también que no existe una legislación específica que afecte a los sistemas gshp ni a los derechos asociados al uso térmico del subsuelo o no consumptivo de las aguas subterráneas, siendo lo existente tangencial o generado ad-hoc para salir adelante sobre casos reales que superaron el marco legislativo.

Además, el hecho de no haberse legislado, no solo genera inseguridad jurídica, si no que no promueve en manera alguna el desarrollo de proyectos y por lo tanto del mercado.

Se concluye con la necesidad de desarrollar una legislación adecuada y moderna que garantice los derechos de las partes y a su vez facilite el desarrollo de los proyectos y el mercado.

## 11.5 DE LOS MECANISMOS

A día de hoy no existe mecanismo alguno de promoción de esta tecnología, más allá de líneas de subvenciones genéricas para la implementación de ERNC o medidas de eficiencia energética en ciertos sectores como por ejemplo la industria.

El hecho que pese a la viabilidad económica de estos sistemas en algunos sectores y regiones, la tecnología no se esté desarrollando a mejor ritmo, indica que existen barreras de otro tipo que requieren nuevos mecanismos.



## 12 RECOMENDACIONES

---

A raíz del estudio se verifica que existe un potencial teórico real para distintos tipos de aplicaciones a lo largo de todo el país.

En este sentido la geotermia se enfrenta a las barreras y brechas típicas de las otras energías alternativas, con la diferencia que es una tecnología con un recorrido bastante más antiguo y una curva de aprendizaje bastante más madura.

La idea de que la industria se centra más en el crecimiento productivo que en maneras de hacer las cosas de forma más eficiente es un hecho real que propone un desafío sumamente difícil de afrontar.

Sin embargo, cuando la industria crece, la demanda energética también lo hace en la misma medida y es en ese punto en que las tecnologías alternativas tienen una oportunidad efectiva de entrar a competir, pues cuando la industria decide ampliar su capacidad productiva, también tiene que elegir con qué tipo de sistemas tiene que alimentar su nueva producción.

En base a lo analizado y a las conclusiones anteriores, se elaboran las siguientes propuestas de actuación:

### **A nivel normativo y legislativo:**

- d) Establecer un régimen de exclusión de las disposiciones de la Ley N° 19.657 sobre Concesiones Geotérmicas, estableciendo la libre apropiabilidad o uso de la energía geotérmica, pequeñas aplicaciones de bajo impacto en propiedad privada para usos indirectos, esto es no con acuífero
- e) Modificar el Código de Aguas, para regular el uso de las mismas como foco térmico, facilitando su autorización en casos de bajo impacto y regulando el impacto ambiental en general
- f) Modificar la Resolución Exenta N° 2176/2014, de modo tal que las unidades de medición y los valores que se establecen en ella, correspondan a estándares técnicos científica e internacionalmente validados.

### **A nivel de mecanismos de apoyo:**

- m) Incentivar la intervención de ESCOs como intermediarios entre las necesidades energéticas del mercado y la capacidad de financiamiento a medio plazo, evitando



que las prioridades de inversión de los clientes frenen el desarrollo de proyectos rentables.

- n) Facilitar a dichas ESCOs mecanismos financieros que les permitan acometer los proyectos sin necesidad de fondos propios, incluyendo subvenciones, créditos blandos y avales públicos.
- o) Subvencionar los estudios de caso para la elaboración de las ofertas

#### **A nivel de desarrollo de mercado**

- p) Dar a conocer las ventajas de la tecnología entre los clientes potenciales con campañas institucionales y seminarios con colaboración del sector

#### **A nivel de desarrollo de la industria**

- q) Promover la creación de mecanismos de capacitación y transferencia tecnológica
- r) Promover, mediante campañas y ayudas, la incorporación de nuevas empresas a la cadena de suministros, especialmente en regiones fuera de la RM, con potencial pero sin un desarrollo real.



ESTADO DE DESARROLLO DE PROYECTOS DE BOMBAS DE CALOR  
GEOTÉRMICAS INSTALADOS EN CHILE

# ANEXOS



# 13 ANEXO 1. LA TECNOLOGÍA

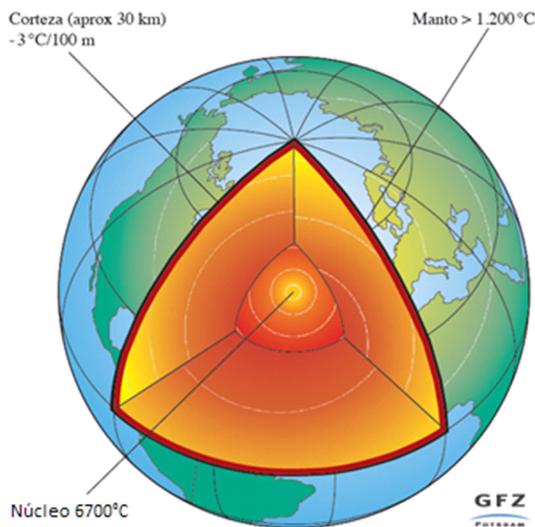
---

## 13.1 ENERGÍA GEOTÉRMICA

### 13.1.1 GENERALIDADES

La energía geotérmica es la energía térmica creada y/o almacenada por la tierra, su nombre proviene del griego *geo* y *thermos*, que significan tierra y calor respectivamente, o "calor de la tierra".

Dicho lo anterior, es sabido que la temperatura interna de la tierra se remonta la formación y el origen de esta. Sin embargo, la temperatura propia de la tierra actualmente se puede atribuir a la desintegración radiactiva de componentes del núcleo. Esta magnitud física se puede caracterizar por un gradiente desde el núcleo, que bordea los 6700°Celsius, pasando por el manto y llegando hasta la corteza terrestre.<sup>34</sup>



**Figura 5: Representación de la tierra y sus capas.**<sup>35</sup>

Para comprender las características de la tierra se presenta la Figura 5: Representación de la tierra y sus capas., en la que se observa que: la capa externa llamada corteza, tiene aproximadamente 30 km y tiene un gradiente de 3°Celsius por cada 100 metros de

---

<sup>34</sup> Tarbuck, E. J. & Lutgens, F. K. 2005. *Ciencias de la Tierra*, 8ª edición. Pearson Educación S. A., Madrid. ISBN 84-205-4400-0.

<sup>35</sup> Imagen: GFZ (Deutsches GeoForschungsZentrum)



profundidad; la capa intermedia, llamada manto, supera los 1200°Celsius; y finalmente el núcleo, se puede considerar con temperatura de 6700°Celsius. Con los datos vistos se puede considerar que el potencial energético es infinito a escala humana, ya que a una muy reducida profundidad de la tierra se logra obtener energía útil.

Acorde a las capas de la tierra y las diferenciales de temperatura que estas pueden presentar, es que se pueden dividir las aplicaciones que se pueden conseguir con estas; es así como se puede hablar de geotermia de gran profundidad y geotermia superficial, además se puede dividir como geotermia de alta, media o baja entalpía.

Sin embargo, y respecto a los últimos metros de la corteza terrestre se presenta un componente estacional, es decir, se produce una diferenciación considerable entre invierno y verano. Este comportamiento se puede observar en la Figura 6 que corresponde a un muestreo realizado en Alemania, en él se ve que a partir de los 10 metros de profundidad se anulan las características estacionales y prevalece la temperatura media anual del lugar.

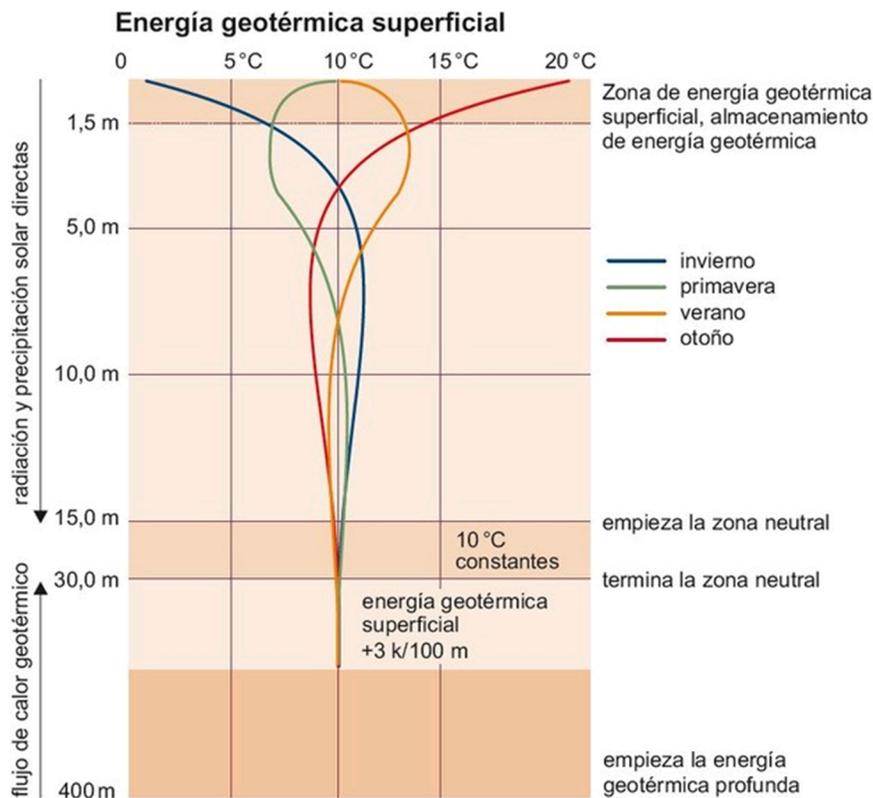


Figura 6: Comportamiento estacional de la tierra.<sup>36</sup>

La energía geotermal es flexible ya que puede operar con distintos propósitos; ya sea para calentar o enfriar, y en distintos rangos de temperaturas, siendo altas o bajas; a distintas cargas (ya sea una carga base o carga flexible) y en distintos tipos de demandas (calor o frío, desde menos de 10kW hasta decenas de MW). Además es una fuente de energía local renovable y administrable.

No está demás recalcar que la energía geotérmica es una energía limpia, que estará presente acompañando a la tierra y que depende de nosotros de su utilización. Esta puede jugar un rol importante en el medio ambiente reduciendo el CO<sub>2</sub>, y además puede llegar a ser una ventaja económica al reducir los costos de consumo energético.

### 13.1.2 CATEGORIZACIÓN DE TIPOS DE GEOTERMIA

Respecto a la variabilidad de usos de la geotermia, también podemos catalogarla de dos formas generales: por nivel térmico o por profundidad. A continuación se nombran ambas.

<sup>36</sup> <http://www.renewables-made-in-germany.com/es/renewables-made-in-germany/tecnologias/geotermia/geotermia/tecnologias-y-aplicaciones.html>



#### 13.1.2.1 POR NIVEL TÉRMICO.

Según la Plataforma Tecnológica Española de Geotermia (GEOPLAT), se puede clasificar las fuentes de energía geotérmica según su nivel de temperatura en los siguientes rangos:

- Alta entalpía: Opera a temperatura mayor que 150°C.
- Media entalpía: Opera a temperatura entre 100°C y 150°C
- Baja entalpía: Opera a temperatura entre 30°C y 100°C.
- Muy baja entalpía: Opera a temperatura menor a 30°C.

#### 13.1.2.2 POR PROFUNDIDAD.

La geotermia está disponible en cualquier momento e independientemente de las estaciones, el clima y las condiciones climatológicas.

En todo el mundo, muchos países ya emplean la geotermia para producir electricidad, o se utiliza directamente en las redes de distribución. Especialmente en regiones con condiciones geológicas favorables (por ejemplo, regiones con actividad volcánica, temperatura > 200 °C), la geotermia constituye una base sólida para la obtención de una energía económica respetuosa con el medio ambiente. La geotermia disponible en la corteza terrestre proviene principalmente del calor residual que se originó en la creación del planeta y de los procesos radioactivos de desintegración. Además, las capas superiores (hasta 2 m de profundidad) acumulan el calor también de la radiación solar.

##### 13.1.2.2.1 Geotermia profunda

La geotermia profunda permite que se pueda generar electricidad en las centrales así como calor en las grandes redes de distribución para la producción industrial o para la calefacción de edificios. En la geotermia profunda se distingue entre geotermia hidrotermal, geotermia petrotermal (Hot Dry Rock systems) y sondas geotérmicas profundas. Para la geotermia hidrotermal se utilizan directamente capas conductoras de agua caliente a grandes profundidades.

La geotermia hidrotermal puede emplearse, según temperatura, en la producción de calor o de electricidad.

El uso de la geotermia forma parte del concepto energético desde hace ya muchos años en países como Alemania, Italia, Indonesia, México y Estados Unidos. En Alemania, aparte del uso eficaz de yacimientos de altas temperaturas, también se da mucha importancia al desarrollo de tecnologías para el uso de yacimientos de bajas temperaturas de aproximadamente 120–200 °C. En la denominada geotermia petrotermal (Hot-Dry-Rock) se utiliza el calor de los estratos profundos (entre 3.000 y 7.000 m), en los que se encuentran pocos o casi ningún recurso acuífero natural. Para ello, gracias a perforaciones



profundas, el agua circula por un sistema de grietas y fisuras creado de forma controlada. El agua caliente se transporta a la superficie a través de una perforación de toma y, como vapor, acciona una turbina para la producción de electricidad o alimenta la red eléctrica. Para poder utilizar también los niveles de temperatura bajos, las empresas alemanas ofrecen distintas soluciones. Los procesos “Kalina Cycle” y “Organic Rankine Cycle” (ORC) son idóneos para el uso de niveles de temperatura bajos de 120–200 °C en la producción de electricidad. El uso secundario de este tipo de instalaciones puede aumentar significativamente el rendimiento de lugares de almacenamiento con alta entalpía.

#### 13.1.2.2.2 Geotermia próxima a la superficie

La geotermia próxima a la superficie precisa perforaciones de hasta unos 400 metros de profundidad y unas temperaturas de hasta 25 °C para calentar y refrigerar edificios, instalaciones técnicas o infraestructuras, así como para la producción de agua caliente. Este tipo de energía se puede emplear en múltiples regiones del mundo y es especialmente recomendable para casas uni o plurifamiliares, bloques de viviendas, edificios públicos, administraciones, hospitales, escuelas o edificios empresariales, así como para la calefacción radiante de las vías públicas con miras a evitar la formación de hielo e incrementar la seguridad de la circulación.

El calor se obtiene del subsuelo más próximo a la superficie (capa de tierra superior o aguas freáticas). La energía que contienen estas capas resulta de la radiación solar y del flujo calorífico que va del interior a la superficie de la Tierra. Hasta 20 m de profundidad o, dependiendo de las particularidades geológicas hasta 40 m, la temperatura de las capas de la Tierra más superiores está sujeta a oscilaciones en función de la época del año. Más abajo, la temperatura no depende de las oscilaciones de la temperatura estacionales del aire exterior. La temperatura media anual varía en función del lugar. En Alemania, la temperatura a una profundidad de entre 10 y 20 es de unos 8-12 °C. A medida que la profundidad aumenta en franjas de 100 m, la temperatura aumenta en unos 3 °C de promedio. A 400 m de profundidad se alcanzan los 20-25 °C. El calor que se puede extraer del suelo también depende, además, de la accesibilidad del suelo y de la roca.

## 13.2 SISTEMAS DE BOMBA DE CALOR GEOTÉRMICOS

### 13.2.1 DEFINICIÓN

El aprovechamiento de la energía geotérmica mediante el uso de bombas de calor es una tecnología muy extendida a nivel mundial en los últimos años gracias a la mejora de rendimiento de las bombas de calor y a la reducción de sus costos. Un sistema de estas características está compuesto de 3 subsistemas:



1. Un colector, que es el que estará en contacto directo con la tierra.
2. La bomba de calor geotérmica, que se encargará de transferir el calor en la dirección deseada.
3. Un sistema de distribución o intercambio de calor con la vivienda.

Con este sistema se pretende calentar o enfriar (dependiendo de la estación del año) una corriente de fluido caloportador o directamente el aire, favoreciéndose de la gran inercia térmica con que cuenta la corteza terrestre. En verano se demanda refrigeración por lo que se procede a enfriar el fluido haciéndolo pasar a través del terreno, calentando éste último, justamente lo contrario a lo que sucede en invierno, cuando se enfría el terreno para calentar el fluido

En climatización, los intercambiadores tierra-agua abarcan múltiples configuraciones encaminadas a favorecer el rendimiento de la transferencia o motivadas por necesidades físicas. Todas ellas cuentan con aspectos positivos e inconvenientes, que conducen a una utilización u otra dependiendo de cada caso en particular.

## 13.2.2 TIPOS DE SISTEMAS INSTALACIONES

### 13.2.2.1 GENERALIDADES

Teniendo en cuenta la disposición de las tuberías enterradas, se pueden clasificar las instalaciones como:

- Red Horizontal
  - o En función de la cantidad de tubos
    - Simple
    - Doble o múltiple
  - o En función de la trayectoria del fluido
    - Conexión en serie
    - Retorno directo
    - Retorno inverso
    - Almacenamiento central
- Red Vertical
  - o Configuración Serie
  - o Configuración Paralelo
- Intercambiadores Sumergidos
- Intercambiadores "Slinky"
- Sistemas híbridos
  - Circuito cerrado con estanque de enfriamiento suplementario.
  - Circuito cerrado apoyado por colector solar



- Lazo cerrado conectado con torre de enfriamiento
- Circuito Abierto

Se describe cada caso a continuación

### 13.2.2.2 RED HORIZONTAL.

Constituyen los sistemas cerrados más sencillos, y se emplean en instalaciones de baja potencia que cuentan con grandes superficies de terreno disponible. Aproximadamente de extensión entre 1.5 y 2 veces la superficie a climatizar. Según los distintos instaladores, la profundidad del circuito oscila entre los 60 centímetros y los 5 metros, aunque lo habitual es que se entierren aproximadamente a un metro de profundidad<sup>37</sup>. Esta instalación es menos eficiente, ya que a ésta profundidad, el terreno se ve afectado por la climatología en mayor grado, pero en cambio, el coste de instalación es menor, lo que la hace más atractiva desde el punto de vista económico. Para su diseño se ha de tener en cuenta:

- Profundidad de zanja.
- N° de zanjas.
- Espacio entre las sondas en cada zanja.

Según el número de tubos empleados en la red horizontal, se puede clasificar en:

#### 13.2.2.2.1 Simple

Características:

- Tubería enterrada de forma horizontal (Figura 7)

Ventajas:

- Muy sencillo.
- Fácil de instalar.
- Requiere poca profundidad.

Desventaja:

- Requiere gran cantidad de terreno.

---

<sup>37</sup> Asociación Técnica Española de Climatización y Refrigeración (ATECYR). "Diseño de sistemas de bomba de calor geotérmica." [Guía técnica]. - Madrid, 2010.

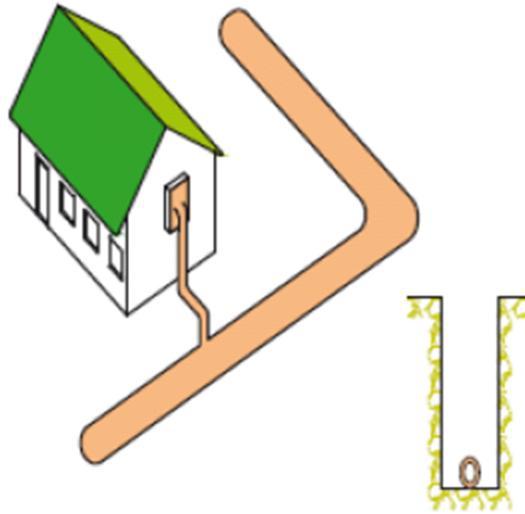


Figura 7: Red horizontal simple.

#### 13.2.2.2.2 Doble o múltiple.

Características:

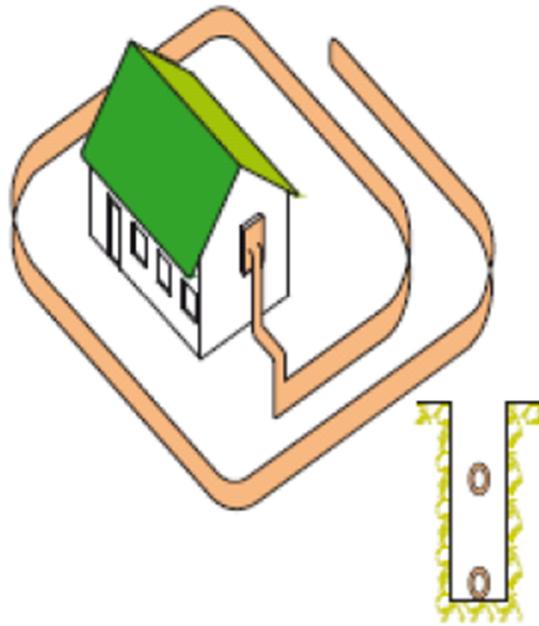
- Tuberías enterradas de forma horizontal y paralela (Figura 8)

Ventajas:

- Muy sencillo.
- Fácil de instalar.
- Requiere poca profundidad, aunque mayor que en la instalación simple debido a la influencia térmica entre tubos. Ambos tubos deberían contar de una separación intermedia.

Desventaja:

- Requiere gran cantidad de terreno, aunque se obtiene mejor resultado que en la configuración simple.



**Figura 8: Red horizontal doble.**

Además, en función de la trayectoria seguida por el fluido, se pueden catalogar las siguientes:

#### 13.2.2.2.3 Conexión en serie.

Características:

- Los tubos se conectan uno a continuación de otro. (Figura 9 y Figura 10)

Ventajas:

- Sencillo.
- Fácil de instalar.
- Requiere poca profundidad.

Desventaja:

- Requiere gran cantidad de terreno.
- Mayor pérdida de carga

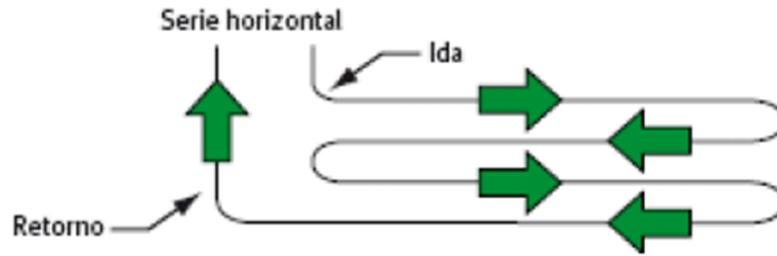


Figura 9: Conexión horizontal en serie.



Figura 10: Red horizontal en serie.

#### 13.2.2.2.4 Retorno Directo.

Características:

- Se introduce el fluido caloportador por un extremo del colector de entrada y se recoge por el mismo extremo del colector de salida (Figura 11).
- Existen presiones desiguales en los tubos con lo que se requiere mayor potencia de bombeo para distribuir proporcionalmente el fluido por ellos.
- Los tubos suelen estar fabricados en polipropileno reticulado, polietileno rígido, o polietileno de baja densidad.

Desventaja:

- Disminución de la eficiencia en la transferencia de calor ya que el fluido no se reparte proporcionalmente por todos los conductos.

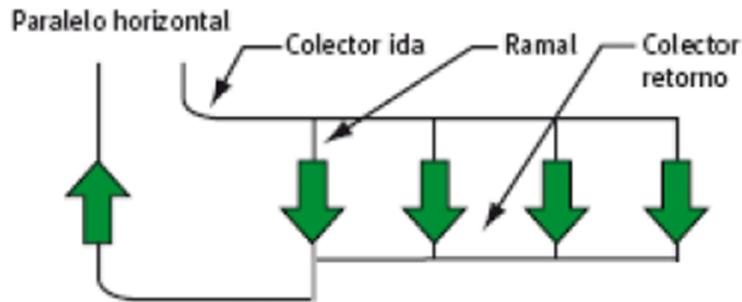


Figura 11: Red horizontal con retorno directo.

#### 13.2.2.2.5 Retorno inverso.

Características:

- Configuración similar a retorno directo.
- El agua se impulsa por un extremo del colector de entrada en dirección a la batería de tubos y es retornada a la instalación desde el extremo opuesto, a través del colector de salida (Figura 12)
- Las presiones en cada tubería son similares.

Ventajas:

- Se necesita emplear menor potencia en el bombeo que en el caso de retorno directo, ya que el fluido se distribuye proporcionalmente por cada tubería.
- Mejor transferencia de calor con el terreno.

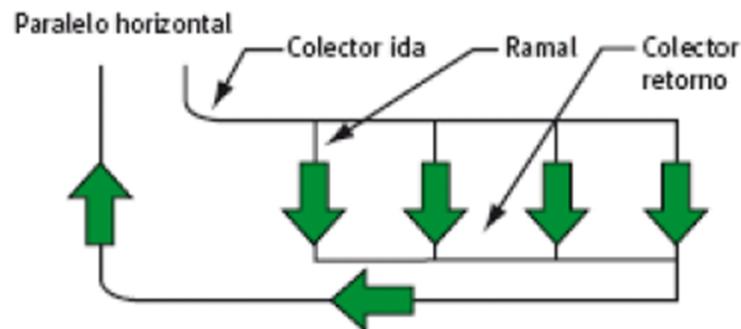


Figura 12: Red horizontal con retorno inverso.

#### 13.2.2.2.6 Alimentación central.

Características:

- Se introduce el líquido por el centro de la batería de tubos (Figura 13).
- El fluido circula por los tubos dispuestos en "U", desde el colector de entrada (rojo) hacia el colector de salida (azul).

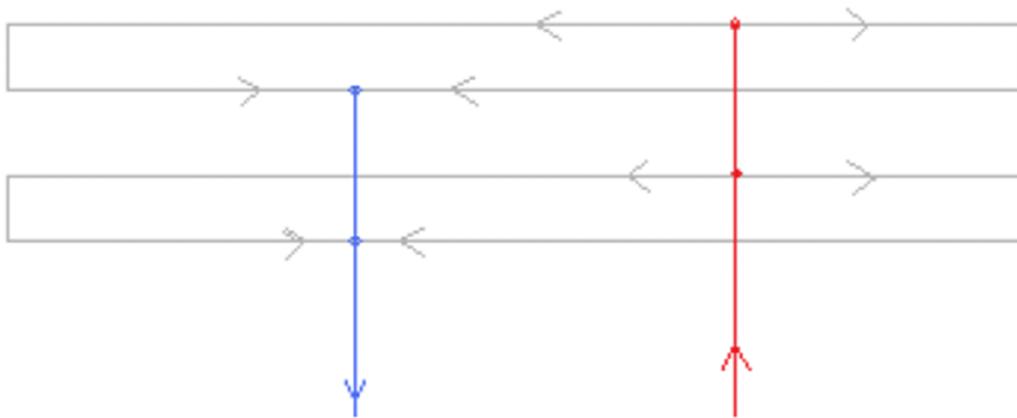


#### Ventajas:

- Es necesaria una menor longitud de tuberías para transferir la misma cantidad de energía que en los casos anteriores, puesto que el fluido recorre mayor distancia en los tubos.
- Se facilita el acceso de los colectores al emparrillado de tubos.

#### Desventajas:

- Desigualdad de presiones, lo que origina una disminución de la eficiencia en la transferencia térmica.
- Distancia entre ramales de tuberías en lo que a interacción térmica entre ellos se refiere.



**Figura 13: Red horizontal con alimentación central.**

#### 13.2.2.3 RED VERTICAL.

##### 13.2.2.3.1 Generalidades

#### Características:

- Perforaciones verticales, de gran profundidad, en las que se instalan tuberías.
- Las tuberías se encargan de llevar y devolver un fluido portador de calor.
- Se suelen utilizar tuberías de polietileno
- Para la instalación y diseño se deben tener en cuenta los siguientes aspectos:
  - Profundidad de cada perforación.
  - N° de perforaciones.
  - Distancia entre perforaciones (se recomienda que esta distancia no sea inferior a los 6 metros para evitar interferencias térmicas entre las perforaciones, distancia que deberá aumentarse cuando la conductividad del terreno sea elevada).



Ventajas:

- Se utiliza un área reducida para la instalación.
- Mejor aprovechamiento de la inercia térmica terrestre.
- A mayor profundidad, mejor rendimiento de la bomba de calor geotérmica.

Desventaja:

- Instalación costosa, se necesitan perforaciones desde 30 hasta 150 metros



**Figura 14: Red vertical.**

Las configuraciones más destacadas de tubos en vertical según la trayectoria del fluido son las siguientes:

#### 13.2.2.3.2 Configuración en serie.

Características:

- Al igual que en la instalación serie horizontal, el fluido de trabajo recorre la tubería desde la entrada hasta la salida. (Figura 16)

Ventajas:

- La trayectoria del fluido, entre tuberías, está perfectamente definida.
- El aire atrapado puede ser eliminado con gran facilidad (purga).



- Funcionamiento térmico más alto por metro lineal de tubo, puesto que se requiere de un diámetro superior.

Desventajas:

- Se necesita un diámetro superior para el tubo, lo que implica mayor cantidad de fluido y anticongelante (en su caso), es decir, aumenta el coste de la instalación.
- Longitud limitada debido a la caída de presión del fluido.
- La posible obstrucción de algún tramo del tubo dejaría fuera de servicio el intercambiador completo.

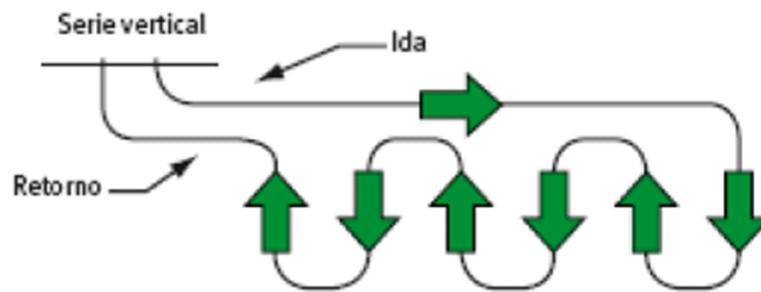


Figura 73: Configuración serie vertical.

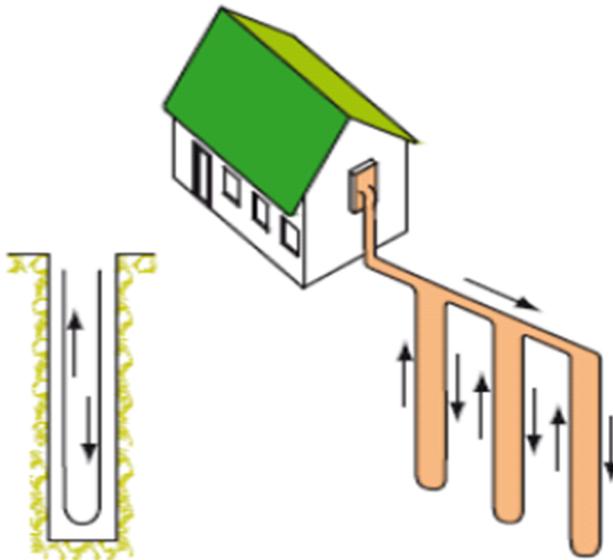


Figura 16: Red vertical en serie.

### 13.2.2.3.3 Configuración en paralelo.

Características:



- El tubo de salida del sistema de climatización se divide en diferentes ramales, que posteriormente se vuelven a unir para retornar al sistema de climatización en un único tubo.
- El caudal de fluido portador de calor se divide por las diferentes tuberías para intercambiar calor con el terreno. (Figura 75 y Figura 76)

#### Ventajas:

- Coste de instalación menor respecto de la configuración en serie, al disminuir los diámetros necesarios y la cantidad de fluido de intercambio. Esto es debido a que se puede introducir mayor número de tubos, al no tener restricciones de volumen.

#### Desventajas:

- Hay que prestar especial atención a la eliminación del aire que pueda resultar atrapado, ya que éste hace que disminuya la efectividad de la transferencia de calor al aumentar la resistencia térmica equivalente (ya que la conductividad del aire es muy reducida).
- Problemas para equilibrar el flujo en los distintos bucles, lo que origina una disminución del rendimiento de la transmisión.

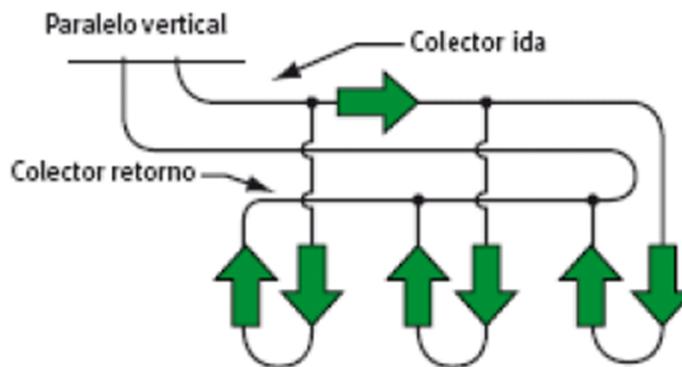


Figura 75: Red vertical en paralelo.

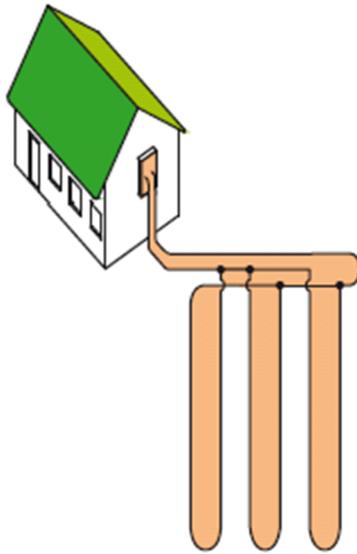


Figura 76: Red vertical en paralelo.

Para terminar con la descripción general de las instalaciones verticales, se describen los tipos de conexiones utilizados en las tuberías:

#### 13.2.2.3.4 Tipos de conexiones: Simple U

Consiste en un par de tubos rectos de diámetros comprendidos entre  $\frac{3}{4}$ " y  $1 \frac{1}{2}$ ", conectados con un cambio de sentido en forma de U en la parte inferior.

Single U-pipe  
Pipe diameter = 25-32 mm  
Width = 50-70 mm

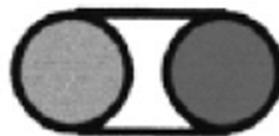


Figura 77: Conexión simple U.



### 13.2.2.3.5 Tipos de conexiones: Doble U.

Esta construcción es similar a la anterior pero con la diferencia de que en una misma perforación se instalan dos o más tubos en U, separados adecuadamente para evitar la incidencia térmica entre ramales.

En la Figura 78 aparecen sombreados los conductos por los que el fluido discurre en el mismo sentido.

Double U-pipe  
Pipe diameter = 25-32 mm  
Max. Width = 70-80 mm

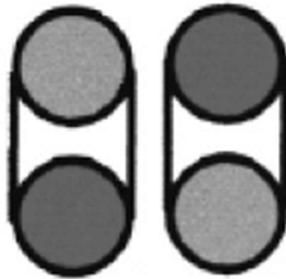


Figura 78: Conexión doble U

### 13.2.2.3.6 Tipos de conexiones: Coaxial.

En los tubos verticales coaxiales, el fluido entra por el tubo central y recorre toda la longitud hasta alcanzar la zona de mayor profundidad, y retorna por el tubo exterior que tiene sección en forma de corona circular, en el caso de tubo coaxial simple o de varios tubos exteriores más pequeños, en el caso de tubo coaxial compuesto.

En la Figura 79 aparecen sombreadas las secciones por las que el fluido discurre en el mismo sentido.



Simple Coaxial  
External diameter = 40-60 mm



Complex Coaxial  
Max. width = 70-90 mm

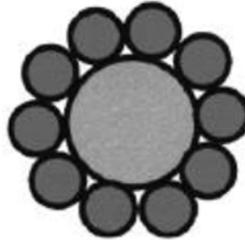
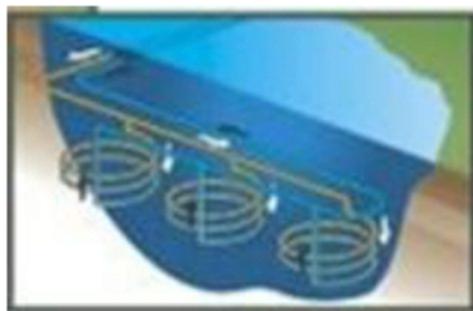


Figura 79: Coaxial simple y complejo.

#### 13.2.2.4 INTERCAMBIADORES SUMERGIDOS.

Si se dispone de una gran masa de agua como: un río, un lago o un estanque, se pueden sumergir los tubos para mejorar el rendimiento de la transferencia térmica.

Esta opción resulta ser más barata que las instalaciones de red verticales, debido a que la transferencia de energía térmica se produce contra agua que puede ser considerada subterránea.



Circuito en estanque

Figura 80: Intercambiador sumergido.

#### 13.2.2.5 INTERCAMBIADORES "SLINKY".

Si no se dispone de demasiado terreno, se puede colocar el tubo en espiral, en una disposición llamada "Slinky" o "rizada". Con ello, se instala la mayor cantidad de tubería con la menor excavación posible (Figura 81).

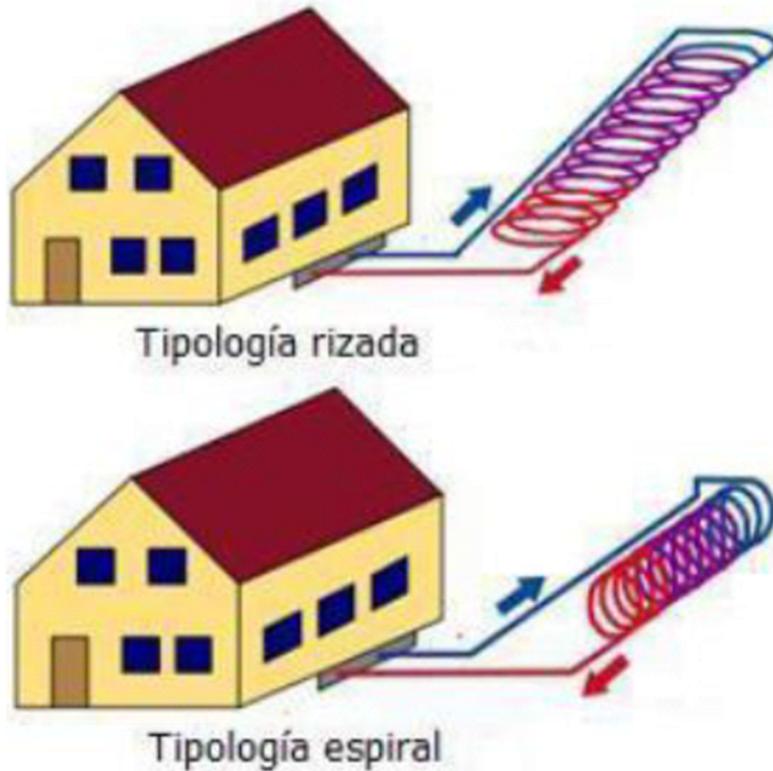


Figura 81: Intercambiadores slinky.

Existen dos configuraciones posibles:

- Tubería rizada en dirección horizontal.
- Tubería rizada en dirección vertical.

Con esta última disposición se consigue el mayor intercambio energético posible para la mínima área en planta de terreno, mientras que el coste de realización aumenta con la profundidad de trabajo.

#### 13.2.2.6 SISTEMAS HÍBRIDOS.

Existen sistemas que combinan configuraciones, estos sistemas son llamados "híbridos". Así se puede adaptar a las oportunidades existentes y lograr optimizar la transferencia de calor.

##### 13.2.2.6.1 Circuito cerrado con estanque de enfriamiento suplementario.

En situaciones en las que se disponga de acumulaciones de agua, el sistema principal de intercambio, en configuración vertical, se puede apoyar con un intercambiador sumergido. De esta forma, se evita que el sobrecalentamiento del terreno provoque una disminución de la eficiencia del sistema de climatización.

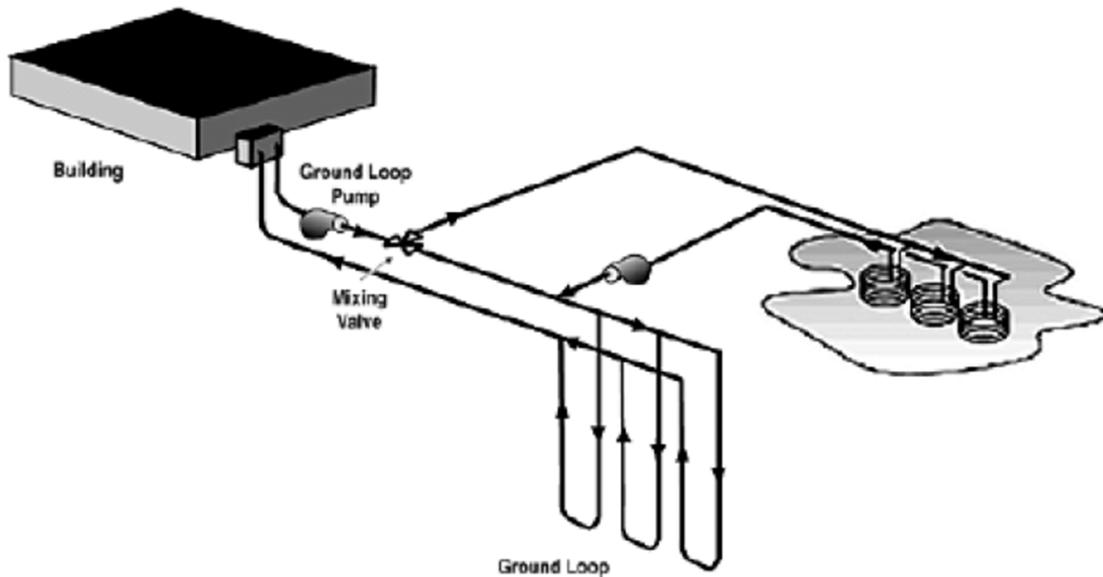


Figura 82: Híbrido, configuración vertical unido a intercambiador sumergido.

#### 13.2.2.6.2 Circuito cerrado apoyado por colector solar.

En zonas climáticas frías, al sistema de tubos enterrados se puede introducir un colector solar térmico, de manera que se reduce el área de transferencia requerida e incrementa la eficiencia de la bomba de calor. En la mayoría de los casos, el colector solar térmico puede ser conectado directamente al lazo de tuberías enterradas, como muestra la Figura 83.

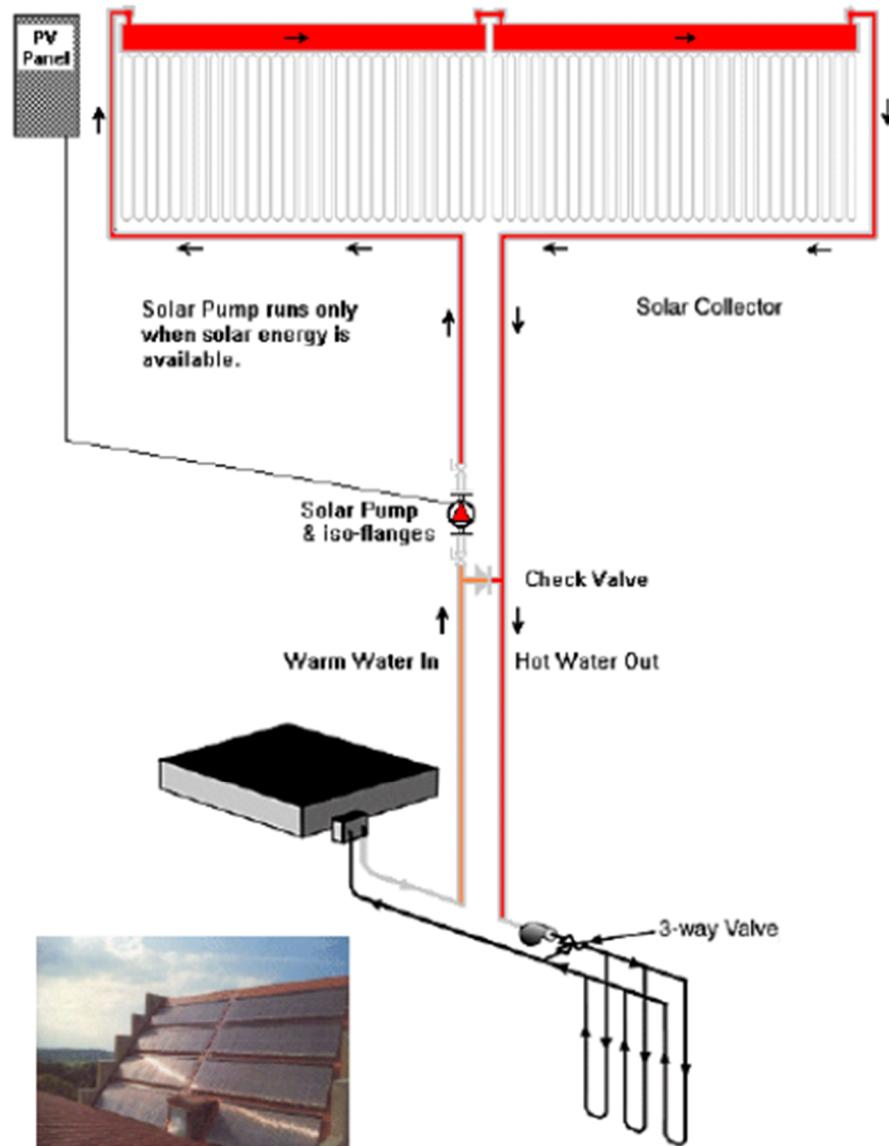


Figura 83: Híbrido. Configuración vertical unida a colector solar térmico.

### 13.2.2.6.3 Lazo cerrado conectado con torre de enfriamiento.

La torre de refrigeración integrada en el sistema geotérmico es una alternativa a considerar en el caso de no disponer de agua embalsada. En esta configuración, la torre de enfriamiento puede ser conectada directamente al circuito cerrado vertical o mediante un intercambiador intermedio, como muestra la Figura 84.

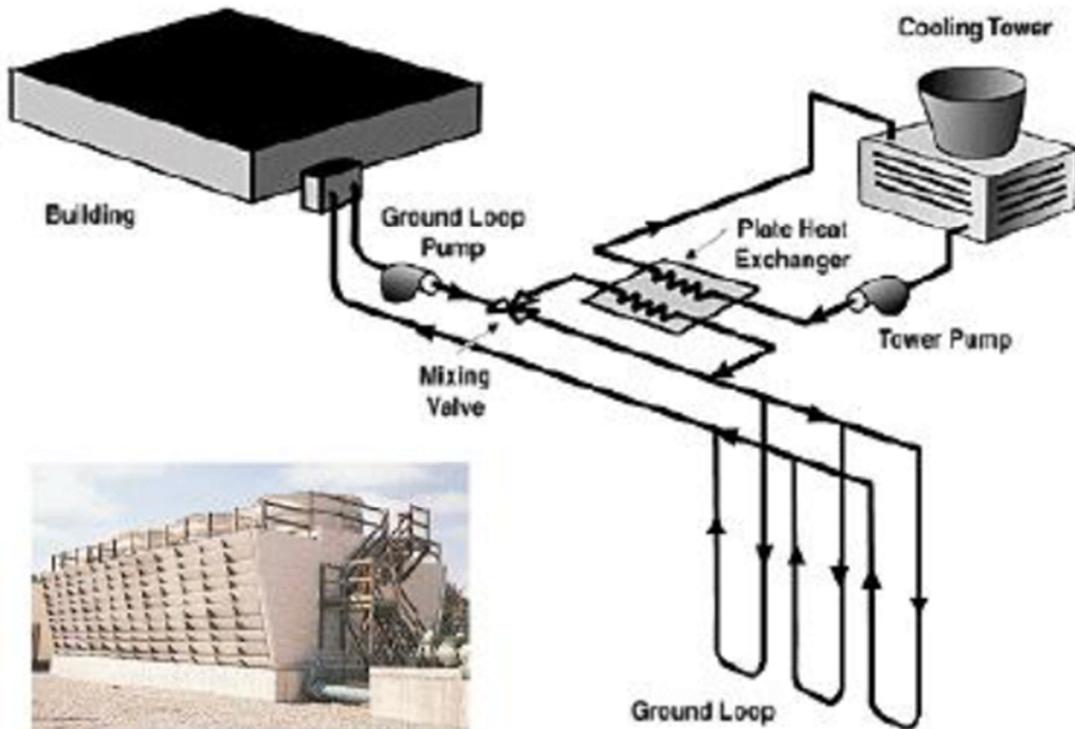


Figura 84: Híbrido, configuración vertical unida a torre de enfriamiento.

El modo de operación seguido es impulsar agua hacia los conductos enterrados cuando la temperatura del terreno sea inferior a la temperatura húmeda del aire que circunda la torre de refrigeración (periodo central del día), mientras que se hace pasar por la torre de refrigeración en la situación inversa (periodo nocturno). Con ello se consigue un aumento de la eficiencia diaria y por tanto anual, del sistema de climatización.

### 13.2.2.7 CIRCUITO ABIERTO

En la configuración de circuito abierto se aprovecha la existencia de agua subterránea. Es así como se necesitan 2 pozos, uno de producción y el otro de inyección de agua (Figura 85). Para un mejor aprovechamiento de la energía térmica de la tierra, ambos pozos deben mantener una cierta distancia. Esta configuración resulta interesante desde un punto de vista económico e idóneo cuando existen flujos de agua en el subsuelo o acuíferos en la zona estudiada.

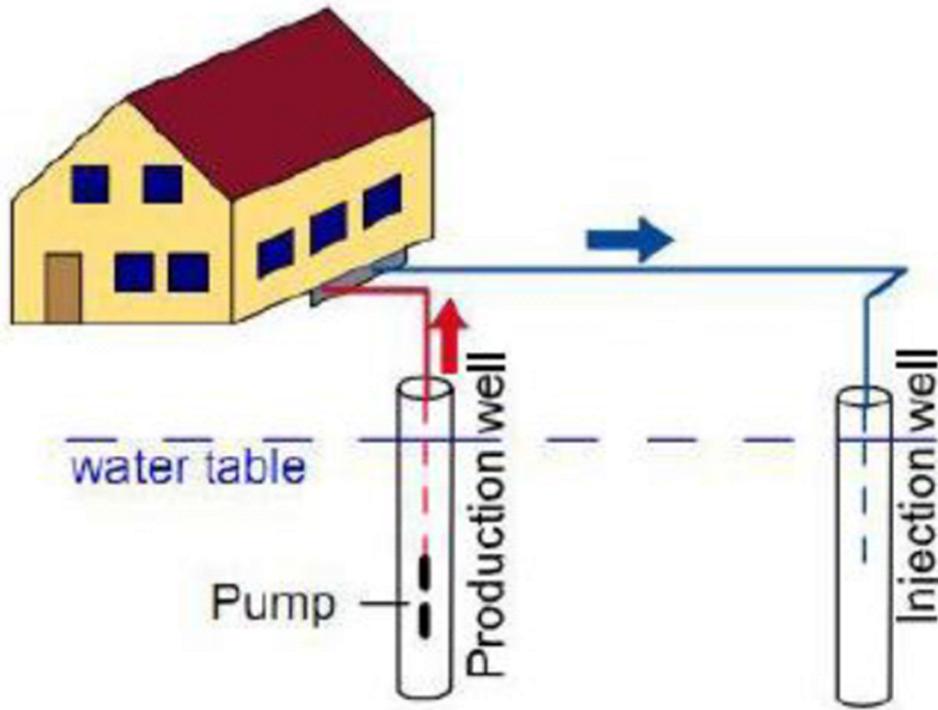


Figura 85: Circuito abierto.

La principal aplicación de ésta configuración son las bombas de calor condensadas por agua subterránea. En ellas, la diferencia entre las temperaturas que limitan el proceso de calefacción, es decir, la temperatura de evaporación y condensación se reduce debido al decremento de la temperatura del medio contra el que cedemos la energía térmica. Con ello, aumentamos la eficiencia de la bomba de calor, y en consecuencia, el coste energético se reduce.

### 13.2.3 CONCLUSIÓN

La elección de un intercambiador de calor en particular, ya sea: horizontal, vertical, circuito abierto, "Slinky", etc. dependerá de algunos factores como pueden ser: la superficie de terreno disponible, la potencia a disipar, los costes de instalación o variables que podríamos atribuir al sistema como la existencia de acuíferos, ríos o lagos.

Por lo general, los sistemas horizontales se emplean para instalaciones de baja potencia (viviendas) con grandes superficies disponibles, mientras que los sistemas verticales



permiten la ejecución de grandes instalaciones con una perfecta integración en la edificación y sin la necesidad de emplear grandes superficies de terreno<sup>38</sup>.

En el caso de los sistemas que utilicen acuíferos, se debe tener en el nivel freático para la instalación de la bomba. Dado que si el nivel freático es demasiado bajo, el coste de construcción de los pozos de succión e inyección de agua, podría ser prohibitivo para el proyecto. Además de esto, se ha de considerar la normativa existente en cada país respecto a la inyección/extracción de agua en el subsuelo.

## 13.3 BOMBAS DE CALOR

### 13.3.1 CARACTERÍSTICAS GENERALES DE UNA BOMBA DE CALOR

Existen varios tipos de bombas de calor disponibles para el uso de ACS, las dos más comunes son las del tipo geotérmico, que aprovecha la inercia térmica del suelo como fuente de calor y las que funcionan con aire ambiente, típicamente del exterior de la vivienda<sup>39</sup>. Cabe notar que la máquina en sí misma es del mismo tipo en ambos casos, cambiando la fuente y la optimización de las temperaturas de operación esperadas en cada caso.

Las bombas de calor consumen energía para el trabajo del compresor generalmente por motores eléctricos, sin embargo existen algunos casos de uso de motores de combustión (GN o GLP) para generar el trabajo del ciclo termodinámico.

Los sistemas se componen comúnmente de equipos de acumulación de ACS y un equipo auxiliar de generación de calor.

### 13.3.2 COMPONENTES

La bomba de calor es una máquina termodinámica que está formada por un circuito de refrigeración clásico (compresor, condensador, sistema de expansión y evaporador) por el cual circula un fluido refrigerante. La particularidad de este sistema radica en su válvula inversora de ciclo, la cual puede invertir el sentido del flujo de refrigeración transformando el condensador en evaporador y viceversa, pudiendo conseguir así tanto frío en verano como calor en invierno.

---

<sup>38</sup> Optieva. Actividad 2.- Estado del arte. "Optimización de sistemas de disipación térmica en instalaciones de climatización de alta eficiencia. Soluciones geoambientales". (Versión 1). [Informe].- Sevilla, 2011.

<sup>39</sup> The future role of heat pumps in the domestic sector, 2010, University of Oxford, Tina Fawcett



A continuación, se introducen los principales componentes que forman parte de un ciclo Frigorífico, componentes que se montan en las máquinas que hasta hoy se comercializan o se ensayan. La forma de actuar de cada componente, por su dimensionamiento y su diseño, influye en la actuación de la máquina en su conjunto, hecho importante porque las limitaciones de su funcionamiento marcan las potencias intercambiadas y la eficiencia obtenida.

- 1) Evaporador: El 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, en donde el refrigerante, después de la expansión, absorbe el calor del medio, que en nuestro caso es agua, para cambiar de estado hasta que todo se encuentre como gas.
- 2) Condensador: Un condensador es un intercambiador de calor en el que el refrigerante que proviene del compresor en estado de vapor sobrecalentado, a temperatura elevada, cede calor a un medio que puede ser aire o agua. Este enfriamiento produce la condensación del fluido refrigerante. El condensador disipa la energía que recoge el evaporador, y además la componente térmica del trabajo del compresor.
- 3) Compresor: Es el elemento mecánico más complicado y delicado de la instalación, siendo objeto de inspecciones y verificaciones sistemáticas. Además, el compresor es el único elemento de la máquina que necesita para su funcionamiento consumir energía mecánica. Este dispositivo permite aumentar la presión del refrigerante en estado gaseoso y normalmente sobrecalentado, procedente del evaporador, hasta una presión que favorece el paso de estado de gas a líquido en el condensador, cediendo calor al entorno. Hay que tener en cuenta que no se puede aumentar la presión sin que además aumente la temperatura.
- 4) Válvula de expansión: Es el elemento que separa el lado de alta presión del de baja presión. Su finalidad es doble: regular el flujo de refrigerante hacia el evaporador y reducir la presión del líquido refrigerante.

### 13.3.3 CONFIGURACIONES DE BOMBAS DE CALOR

La Figura 86 muestra la operación típica de una bomba de calor geotermal en modo de calentar.

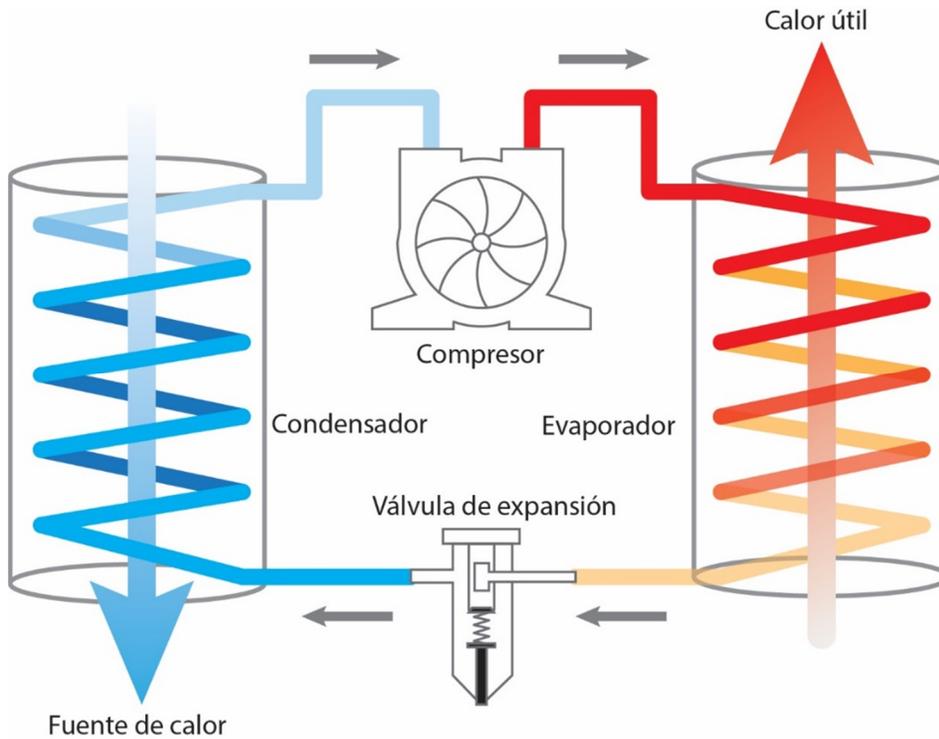


Figura 86: Esquema de una bomba de calor, en configuración para calentar.

### 13.3.4 RENDIMIENTO DE BOMBAS DE CALOR (COP)

Las bombas de calor proporcionan calefacción, refrigeración y agua caliente para aplicaciones residenciales, comerciales e industriales aprovechando una de las tres fuentes principales: el suelo, el aire ambiente, o cuerpos de agua como lagos, ríos o el mar. Las bombas de calor se pueden emplear también de manera eficiente utilizando el calor residual de los procesos industriales, aguas residuales, y edificios. La producción de energía de las bombas de calor es al menos parcialmente renovable sobre una base de energía final.

Como el término lo indica, las bombas de calor transfieren el calor de un área (fuente) a otro (sumidero) con un ciclo de refrigeración impulsados por energía externa, ya sea de energía eléctrica o térmica. Dependiendo de la eficiencia inherente de la bomba de calor en sí y sus condiciones de operación externos, es capaz de suministrar significativamente más energía que la utilizada para accionar la bomba de calor. Una relación típica entrada: salida de una bomba de calor, moderna, accionada eléctricamente es 4:1, lo que significa que la bomba de calor proporciona cuatro unidades de energía final por cada unidad de energía que consume, lo que también se conoce como un coeficiente de



rendimiento (COP por sus iniciales en inglés) de 4. Esa energía adicional entregada se considera la parte renovable de la salida de la bomba de calor.

Para una bomba de calor que funciona a una COP estacional de 4, el componente renovable es al menos 75% (3 de cada 4 unidades) sobre una base de energía final. Sin embargo, la cuota de renovables sobre una base de energía primaria puede ser mucho menor. El porcentaje total de energía renovable suministrada por una bomba de calor sobre una base de energía primaria no sólo depende de la eficiencia de la bomba de calor y sus condiciones de funcionamiento, sino también en la composición de la energía utilizada para accionar la bomba de calor. Además, para las bombas de calor accionadas eléctricamente, la eficiencia global y el componente renovable depende tanto de la eficiencia de la generación y la fuente de energía primaria de la electricidad (renovable, combustibles fósiles, o nuclear). Cuando la fuente de energía es 100% renovable, también lo es la salida de la bomba de calor<sup>40</sup>.

---

<sup>40</sup> REN21, RENEWABLES 2014, GLOBAL STATUS REPORT



## 14 ANEXO 2. TABLAS

**Tabla 48. Distribución mundial de la potencia geotérmica de baja entalpía instalada a 2015 (incluye un 29% de uso directo) [1]**

Continentes	Países	MWt	TJ/yr	GWh/yr	Load Factor
Asia	China	17.870,00	174.352,00	48.434,99	0,31
América	Estados Unidos	17.415,91	75.862,20	21.074,52	0,14
Europa	Suecia	5.600,00	51.920,00	14.423,38	0,29
Europa	Turquía	2.886,30	45.126,00	12.536,00	0,5
Europa	Alemania	2.848,60	19.531,30	5.425,80	0,22
Europa	Francia	2.346,90	15.867,00	4.407,85	0,21
Asia	Japón	2.186,17	26.130,08	7.258,94	0,38
Europa	Islandia	2.040,00	26.717,00	7.422	0,42
Europa	Suiza	1.733,08	11.836,80	3.288,26	0,22
Europa	Finlandia	1.560,00	18.000,00	5.000,40	0,37
América	Canadá	1.466,78	11.615,00	3.226,65	0,25
Europa	Noruega	1.300,00	8.260,00	2.294,63	0,2
Europa	Italia	1.014,00	8.682,00	2411,9	0,27
Asia	India	986	4.302,00	1.195,10	0,14
Europa	Hungría	905,58	10.268,06	2.852,47	0,36
Europa	Austria	903,4	6.538,00	1.816,26	0,23
Asia	Corea del Sur	835,8	2.682,65	745,24	0,1
Europa	Países Bajos	790	6.426,00	1.785,14	0,26
Europa	Polonia	488,84	2.742,60	761,89	0,18
Oceanía	Nueva Zelanda	487,45	8.621,00	2.394,91	0,56
América	Brasil	360,1	6.622,40	1.839,70	0,58
Europa	Dinamarca	353	3.755,00	1.043,14	0,34
Europa	Rusia	308,2	6.143,50	1.706,66	0,63
Europa	República Checa	304,5	1.790,00	497,26	0,19
Europa	Reino Unido	283,76	1.906,50	529,63	0,21
Europa	Irlanda	265,54	1.240,54	344,62	0,15
Europa	Rumania	245,13	1.905,32	529,3	0,25
Europa	Grecia	221,88	1.326,45	368,49	0,19
Europa	Bélgica	206,08	864,4	24,01	0,13
América	Argentina	163,6	1.000,03	277,81	0,19
América	México	155,82	4.171,00	1.158,70	0,85
Asia	Jordán	153,3	1.540,00	427,81	0,32
Europa	Eslovenia	152,75	1.137,23	315,93	0,24
Europa	República Eslovaca	149,4	2.469,60	686,05	0,52



Asia	Tailandia	128,51	1.181,20	328,14	0,29
Europa	Serbia	115,64	1.802,48	500,73	0,49
Europa	Lituania	94,6	712,9	198,04	0,24
Europa	Bulgaria	93,11	1.224,42	340,14	0,42
Asia	Israel	82,4	2.193,00	609,22	0,84
Asia	Irán	81,5	1.103,12	306,45	0,43
Europa	Croacia	79,94	684,49	190,15	0,27
Europa	Georgia	73,42	695,16	193,12	0,3
Europa	España	64,13	344,85	95,8	0,17
Europa	Estonia	63	356	98,9	0,18
África	Argelia	54,64	1699,65	472,25	0,99
Europa	Macedonia	48,68	601,11	166,99	0,39
Asia	Arabia Saudita	44	152,89	42,47	0,11
África	Túnez	43,8	364	101,12	0,26
Europa	Portugal	35,2	478,2	132,84	0,43
Asia	Vietnam	31,2	92,33	25,65	0,09
Europa	Bosnia-Herzegovina	23,92	252,33	70,1	0,33
África	Kenia	22,4	182,62	50,73	0,26
Asia	Mongolia	20,16	340,46	94,58	0,54
América	Chile	19,91	186,12	51,7	0,3
América	Colombia	18	289,88	80,5	0,51
Europa	Albania	16,23	107,59	29,89	0,21
Oceanía	Australia	16,09	194,36	53,99	0,38
Europa	Ucrania	10,9	118,8	33	0,35
África	Egipto	6,8	88	24,45	0,41
América	Ecuador	5,16	102,4	28,45	0,63
África	Marruecos	5	50	13,89	0,32
Europa	Bielorrusia	4,73	113,53	31,54	0,76
América	El Salvador	3,36	56	15,56	0,53
Asia	Nepal	3,32	81,11	22,53	0,78
Asia	Filipinas	3,3	39,58	11	0,38
América	Perú	3	61	16,95	0,64
Asia	Tayikistán	2,93	55,4	15,39	0,6
África	Madagascar	2,81	75,59	21	0,85
América	Guatemala	2,31	56,46	15,68	0,78
África	Sudáfrica	2,3	37	10,28	0,51
Asia	Indonesia	2,3	42,6	11,83	0,59
África	Etiopía	2,2	41,6	11,56	0,6
América	Honduras	1,93	45	12,5	0,74
Europa	Letonia	1,63	31,81	8,84	0,62
Europa	Armenia	1,5	22,5	6,25	0,48
América	Costa Rica	1	21	5,83	0,67



Asia	Yemen	1	15	4,17	0,48
Europa	Groenlandia	1	21	5,83	0,67
América	Venezuela	0,7	14	3,89	0,63
Asia	Pakistán	0,54	2,46	0,68	0,14
América	Islas del Caribe	0,1	2,78	0,77	0,85
Oceanía	Papúa Nueva Guinea	0,1	1	0,28	0,32



# 15 ANEXO 3. DIRECTORIO DE PROVEEDORES Y PROYECTOS

## 15.1 LISTA INTERNACIONAL

Empresa	Website	Email	Teléfono	País
1A HEIZEN STROBL UG	<a href="http://et-ct.de/">http://et-ct.de/</a>	info@1A-heizen-strobl.de	.+49 (0)9187- 410940	Alemania
AERMEC GmbH	<a href="http://www.aermec.de/">http://www.aermec.de/</a>	info@aermec.de	.+49 (0) 83 62 / 300 60-0	Alemania
Alpha-InnoTec (ait-deutschland GmbH)	<a href="http://www.alpha-innotec.de/endkunde/home.html">http://www.alpha-innotec.de/endkunde/home.html</a>	service@alpha-innotec.de	.+49 9228 / 9906-190	Alemania
AWE Wärmepumpen	<a href="http://awe.bayern/home.html">http://awe.bayern/home.html</a>	service@awe-waermepumpen.de	.08721	Alemania
Bartl Wärmepumpen	<a href="http://www.bartlwp.de/">http://www.bartlwp.de/</a>	info@bartlwp.de	9999 914 .0711	Alemania
BES	<a href="http://www.bes-eu.com/index.php/de/">http://www.bes-eu.com/index.php/de/</a>	info@bes-eu.com	138125-0 .+49 (0) 6131 25 06 17-0	Alemania
BioEnergieTeam GmbH	<a href="http://www.bioenergieteam.eu/">http://www.bioenergieteam.eu/</a>	info@bioenergieteam.eu	.+49 (0)8061/ 49599 - 60 central	Alemania
Brötje - August Brötje GmbH	<a href="https://www.broetje.de/en/">https://www.broetje.de/en/</a>	info@broetje.de	.+49 (0) 4402 80- 0	Alemania
Buderus Bosch Thermotechnik GmbH	<a href="http://www.bosch-thermotechnology.com">http://www.bosch-thermotechnology.com</a>	info.thermotechnik@de.bosch.com	.+49 6441/41 8-0	Alemania
CTA AG	<a href="http://www.cta.ch/de-ch/firma/825/?oid=1289&amp;lang=de">http://www.cta.ch/de-ch/firma/825/?oid=1289&amp;lang=de</a>	novagal@novagal.es	.+34 981 531 649	España
CTC	<a href="http://www.ctc-giersch.ch/home.html">http://www.ctc-giersch.ch/home.html</a>	INFO@CTC-GIERSCH.CH	0848 838 838	Alemania
Danfoss AG Wärmepumpen	<a href="http://www.danfoss.ch">www.danfoss.ch</a>	info@danfoss.ch	.+41 (0)61 906 11 11	Suiza
Deron	<a href="http://www.deron.com.cn">www.deron.com.cn</a>	info@deron.com.cn	.+0086- 20- 2868565 1	China
Dimplex - Glen Dimplex Deutschland GmbH	<a href="http://www.glendimplex.de/en/">http://www.glendimplex.de/en/</a>	sales@glendimplex.de	.+49 (0) 911 65719-90	Alemania



Empresa	Website	Email	Teléfono	País
Ecoforest	<a href="http://ecoforest.es/">http://ecoforest.es/</a>	info@ecoforest.es	.+34 986 262 184	España
ELCO GmbH	<a href="http://elco.de/">http://elco.de/</a>	info@de.elco.net	.+49 (0) 7471/18 7-0	Alemania
emcal Wärmesysteme GmbH	<a href="http://www.emcal.de/">http://www.emcal.de/</a>	info@emcal.de	. 0 25 72 / 924-0	Alemania
Enertech GmbH - Division Giersch	<a href="http://www.giersch.de/de/">http://www.giersch.de/de/</a>	info@giersch.de	. (02372) 965-0	Alemania
EQtherm GmbH	<a href="http://www.eqtherm.de/">http://www.eqtherm.de/</a>	info@eqtherm.de	.+49 (0) 2684/ 956320	Alemania
Euronom AB	<a href="http://www.euronom.se/">http://www.euronom.se/</a>	info@euronom.se	.(+46) 0480 22120	Suecia
EU-Therm	<a href="http://www.eu-therm.eu/">http://www.eu-therm.eu/</a>	info@eu-therm.de	. +49 8272 3938	Alemania
Foshan Sero Electrical Appliances CO., Ltd.	<a href="http://www.sero.com.cn/">http://www.sero.com.cn/</a>	sero@sero.com.cn	.86-757- 2262220 2	China
FRIAP Holding AG	<a href="http://www.friapfeuron.ch/de/home.html">http://www.friapfeuron.ch/de/home.html</a>	ittigen.klima@waltermeier.com	.+41 31 917 51 11	Suiza
Frigopol k.s.	<a href="http://www.frigopol.com/en/">http://www.frigopol.com/en/</a>	office@frigopol.com	.+43 (0) 3462 70 000	Austria
GDH Energy International Ltd.	<a href="http://www.gdh-energy.de/">http://www.gdh-energy.de/</a>		.0231- 4274067	Alemania
Giordano	<a href="http://www.giordano.fr/">http://www.giordano.fr/</a>	contact@giordano.fr		Francia
Gorenje, d.d.	<a href="http://www.gorenje.com/">http://www.gorenje.com/</a>	info@gorenje.com	.+386 3 899 7293	Eslovenia
Hagleitner GmbH & Co KG	<a href="http://www.gdh-energy.de/">http://www.gdh-energy.de/</a>		.0231- 4274067	Alemania
Harreither GmbH	<a href="http://www.harreither.com/">http://www.harreither.com/</a>	office(at)harreither(dot)com	.+43 (0) 7353 666-0	Austria
Hautec GmbH	<a href="http://www.hautec.eu/">http://www.hautec.eu/</a>	info@hautec.net	.+49 (0) 28 21 / 7 61 23	Alemania
Heliotherm Wärmepumpentechnik Ges.m.b.H	<a href="http://www.heliotherm.com/es/">http://www.heliotherm.com/es/</a>	info@heliotherm.com	.+43 5332 87496-0	Austria
Herz Energietechnik GmbH	<a href="http://www.herz-energie.at/">http://www.herz-energie.at/</a>	office-energie@herz.eu	.+43 (0)3357 / 42840-0	Austria
Hiseer Guangzhou Hiseer Air conditioning Co., Ltd.	<a href="http://www.hiseer-heat-pump.com/">http://www.hiseer-heat-pump.com/</a>		.86-20- 6117140 0	China
HOTJET CZ s.r.o.	<a href="http://www.hotjet.eu/en/firma/">http://www.hotjet.eu/en/firma/</a>	info@hotjet.cz	.+420 777 427 427	República checa
Hoval Aktiengesellschaft	<a href="http://www.hoval.com/">http://www.hoval.com/</a>	info@hoval.com	.+423 399 2400	Liechtenstein



Empresa	Website	Email	Teléfono	País
IDM Energiesysteme GmbH	<a href="http://www.idm-energie.at/">http://www.idm-energie.at/</a>	alois.duregger@idm-energie.at	.0043 4875 6172	Austria
IWS GmbH	<a href="http://www.iwsgmbh.com/">http://www.iwsgmbh.com/</a>	info[at]iwsgmbh.com	.+49 3765 38777-10	Alemania
Junkers Bosch Thermotechnik GmbH	<a href="http://www.junkers.cl/">http://www.junkers.cl/</a>	junkers.info@cl.bosch.com	6007976 464	Chile
KNV Energietechnik GmbH	<a href="http://www.knv.at/">http://www.knv.at/</a>	mail@knv.at	.+43 (0)7662 8963	Austria
KÖNIG-Wärmepumpen GmbH	<a href="http://www.koenig-diewaermepumpe.de/">http://www.koenig-diewaermepumpe.de/</a>	info@koenig-diewaermepumpe.de	.+49 (0) 3533 - 16 18 66	Alemania
KWE GmbH	<a href="http://www.kaelte-technik-kwe.de/">http://www.kaelte-technik-kwe.de/</a>	info@kaelte-technik-kwe.de	0 79 59 / 20 14 u. 20 15	Alemania
LüBaG - Lüftungsgeräte Band GmbH	<a href="http://www.bandgmbh.de/">http://www.bandgmbh.de/</a>	info@bandgmbh.de	. 03735 / 6 29 04	Alemania
MasterTherm Deutschland	<a href="http://www.mastertherm.de/">http://www.mastertherm.de/</a>	info@mastertherm.de	.+49 (0) 351 - 89 51 688	Alemania
MHG Heiztechnik GmbH	<a href="http://mhg.de/">http://mhg.de/</a>	kontakt@mhg.de	.04181 23 55-0	Suiza
Midea	<a href="http://www.midea.cl/">http://www.midea.cl/</a>	info@midea.cl	(+56 2) 2377 8110	Chile
NawaRoTech GmbH	<a href="http://90010726.clevertrc.de/">http://90010726.clevertrc.de/</a>		.08135 - 30 28 00	Alemania
NEURA GmbH	<a href="http://www.neura.at/">http://www.neura.at/</a>	office@neura.at	.+43 7672 25423	Austria
NEWI-SOLAR GmbH	<a href="http://newi-solar.de/">http://newi-solar.de/</a>	info@newi-solar.de	.+49 (0) 75 64 / 9 48 66 - 0	Alemania
NIBE Systemtechnik GmbH	<a href="http://www.nibe.de/">http://www.nibe.de/</a>	info@nibe.de	.05141- 75460	Alemania
Novelan (ait-deutschland GmbH)	<a href="http://www.novelan.com/">http://www.novelan.com/</a>	info@novelan.com	. +49 9228 / 99 607 - 0	Alemania
ochsner	<a href="http://www.ochsner.com/">http://www.ochsner.com/</a>	helpdesk(at)ochsner.de	.+49 (0)1805 832 84 0	Alemania
OCHSNER Wärmepumpen GmbH	<a href="http://www.ochsner.com/">http://www.ochsner.com/</a>	kontakt(at)ochsner.at	.+43 (0)732 61 09 20	Austria
OERTLI-ROHLER Wärmetechnik GmbH	<a href="http://www.oertli.de/">http://www.oertli.de/</a>	info@Oertli.de	.+49 7141 2454-0	Alemania
Orange Energy GmbH & Co. KG	<a href="http://www.orange-energy.de/">http://www.orange-energy.de/</a>	info@orange-energy.de	.(0 84 44) 92 744 - 0	Alemania
PZP HEATING a.s.	<a href="http://www.pzpheating.cz/">http://www.pzpheating.cz/</a>	info@pzpheating.cz	. +420 494 664 203	República Checa



Empresa	Website	Email	Teléfono	País
Ratiotherm Heizung + Solartechnik GmbH & Co. KG	<a href="http://www.ratiotherm.de/">http://www.ratiotherm.de/</a>	info@soliaigua.com	.0034 / 93 / 76 13 49 2	España
REHAU AG + Co	<a href="http://www.rehau.com/">http://www.rehau.com/</a>	ventaschile@rehau.com	+.56 2 2 496-1900	Chile
Robur GmbH	<a href="http://www.robur-gmbh.de/">http://www.robur-gmbh.de/</a>	info@robur-gmbh.de	+.49 7541603 391-0	Alemania
Roth Werke GmbH	<a href="http://www.roth-werke.de/">http://www.roth-werke.de/</a>	service@roth-werke.de	+.49 (0) 6466/92 2-0	Alemania
Schüco International KG	<a href="http://www.schueco.com/web2/com">http://www.schueco.com/web2/com</a>	jose.priego@anodite.cl	+.56 22 55 44 00 5	Chile
SHPSystems GmbH	<a href="http://www.shpsystems.com/">http://www.shpsystems.com/</a>	info@shpsystems.com	+.49 6021 56929	Alemania
SIMAKA GmbH	<a href="http://www.simaka.de/">http://www.simaka.de/</a>	info@simaka.de	. 07566 940 99 -0	Alemania
SmartHeat Deutschland GmbH	<a href="http://www.smartheat.de/">http://www.smartheat.de/</a>	info@smartheat.de	+.49 3843 2279 0	Alemania
SOLVIS GmbH & Co KG	<a href="http://www.solvis.de/">http://www.solvis.de/</a>	info@solvis.de	0531 28904-0	Alemania
Stiebel Eltron GmbH & Co. KG	<a href="http://www.stiebel-eltron-latino.com/">http://www.stiebel-eltron-latino.com/</a>	info@stiebel-eltron-latino.com	.413-268-6902	Estados Unidos
SUNEX S.A.	<a href="https://www.sunex.pl/">https://www.sunex.pl/</a>	info@sunex.pl	+.48 32 414 92 12	Polonia
tecalor GmbH	<a href="http://www.tecalor.de/">http://www.tecalor.de/</a>	info@tecalor.de	05531/9 9068-95082	Alemania
Thermia Värme AB Danfoss AG Wärmepumpen	<a href="http://www.thermia.com/">http://www.thermia.com/</a>	info@thermia.se	+.46 570 - 813 00	Suecia
Thermia Wärmepumpen	<a href="http://www.thermia.com/">http://www.thermia.com/</a>	info@thermia.se	+.46 570 - 813 00	Suecia
Thermic Energy RZ GmbH	<a href="http://www.thermic-energy.com/">http://www.thermic-energy.com/</a>	info@thermic-energy.com	+.49 (0) 9543 / 44371 - 0	Alemania
ThermoSolar AG	<a href="http://www.thermosolar.com/">http://www.thermosolar.com/</a>	info@genersyschile.com	02 2 9749642	Chile
Vaillant Deutschland GmbH & Co. KG	<a href="http://www.vaillant.de/">http://www.vaillant.de/</a>	info@vaillant.de	.0180 6 824 552	Alemania
Viessmann Werke GmbH & Co KG	<a href="http://www.viessmann.de/">http://www.viessmann.de/</a>	info@viessmann.com	.06452 70-0	Alemania
Voß Wärmepumpen GmbH	<a href="http://www.voss-waermepumpen.de/">http://www.voss-waermepumpen.de/</a>	info(at)voss-waermepumpen.de	.0 99 73 / 5 00 52 80	Alemania
WAMAK, s.r.o.	<a href="http://www.wamak.eu/">http://www.wamak.eu/</a>	info@wamak.eu	+.421 918 396 879	Eslovaquia
Wasser & Energie Handelsgesellschaft für technische Produkte mbH	<a href="http://www.weh-gmbh.de/">http://www.weh-gmbh.de/</a>	info@weh-gmbh.de	+.49 (0)8141 / 888 979 -	Alemania



Empresa	Website	Email	Teléfono	País
			0	
WATERKOTTE GmbH	http://www.waterkotte.de/	info(at)waterkotte.de	(+49) 02323-9376-0	Alemania
Weider Wärmepumpen GmbH	http://www.weider.co.at/	office@weider.co.at	.+43(0)55 74 73200	Austria
Weishaupt - Max Weishaupt GmbH	http://www.weishaupt.de/	info@weishaupt.de	07353 83-0	Alemania
WM Feinwerk GmbH	http://www.wm-feinwerk.de/	info@wm-feinwerk.de	09721 / 97 85 510	Alemania
Wolf GmbH	http://www.wolf-heiztechnik.de/	info(at)wolf-heiztechnik.de	.08751/7 4-0	Alemania
WPM Wärmepumpen GmbH	http://www.idm-energie.at/de/	team@idm-energie.at	.+43 4875617 2	Austria

## 15.2 LISTA NACIONAL

#	Empresa	Contacto	Correo	Teléfono	Dirección	Ciudad	Web	Ve nt a	SAT 41	Consu ltoria	Instal ación	Perfor ación	N °
		Rodrigo		22495	Cacique Colin 2003, Parque	Santia							R
1	Complex	Osben	rosben@complex.cl	7790	Industrial Pymes, Lampa	go	http://www.complex.cl/	-	-	X	X	-	M
	Geoestudi	Ana	anamarangunic@geo	22871		Santia	http://www.geoestudios						R
2	os	Marangunic	estudios.cl	1727	Los Aromos 3408, Las Vertientes	go	.cl/esp/	-	-	X	-	-	M
	Terraingnot	John	jmendieta@terraigno	22205		Santia	http://www.terraignota.						R
3	a	Mendieta	ta.cl	0084	Avenida Grecia 1430, Ñuñoa	go	cl/	-	-	X	-	-	M
	Perfomar	Cristian	csbarbaro@perfoma	64223	Trébol sur sin número, parque	Osorn	http://www.perfomaq.cl						
4	q	Sbarbaro	q.cl	8602	industrial	o	/	X	X	-	X	X	X
			sven.harfagar@aigua	22234		Santia							R
5	Aiguasol	Sven Harfagar	sol.cl	2484	Andres de fuenzalida 22 of. 301	go	http://aiguasol.cl/	-	-	X	-	-	M
			victor.peralta@antus	22671		Santia							R
6	Antusolar	Victor Peralta	olar.cl	2017	Huérfanos 1373 - Oficina 1011	go	http://www.antusolar.cl	X	X	X	-	-	M
			sofia.otero.c@gmail.c	22977		Santia	http://www.cega.ing.uc						R
7	CEGA	Sofia Otero	om	1049	Plaza Ercilla 803	go	hile.cl	-	-	X	-	-	M
													V
8	Climatiza	Gustavo		71224									II
	Burgos	gburgos@climatiza.cl		5987	Calle de servicio 20 oriente, N° 45	Talca	http://www.climatiza.cl/	X	X	X	X	X	I
	ECM	Fernando	paula.arancibia@ecm	22655	Avda. Eliodoro Yáñez 1890,	Santia							R
9	Ingeniería	Allendes	.cl	5500	Providencia	go	http://www.ecm.cl/	X	X	X	X	X	M
													V
10	Enalteco	Joan	joansantamaria@ena	41246		Conce							II
	Santamaria	lteco.cl		3109	Barros Arana # 36	pción	http://www.enalteco.cl	X	X	X	X	X	I
	Cristian				Apoquindo 5583 of 51, Las	Santia							R
11	Enativa	Moreno	crmoreno@enativa.cl		Condes	go	http://www.enativa.cl/	X	X	X	X	-	M

<sup>41</sup> Servicio Técnico



#	Empresa	Contacto	Correo	Teléfono	Dirección	Ciudad	Web	Venta	SAT 41	Consumitoria	Instalación	Perforación	Nº
12	Energy-Tracking	Ximena A.	xaz@energy-tracking.com	22226 5625	Primera Transversal 5940, San Miguel	Santiago	www.energy-tracking.com/	-	-	X	X	-	R M
13	Geomarketing	Juan Antonio de Isabel	Juan.isabel@geoter.es	96843 6514	Avda. Ricardo Lyon Nº 222 Oficina 1302 Providencia	Santiago	http://geomarketing-spa.cl/	X	X	X	X	X	R M
14	GTN LA	Gabriel Perez	gperez@gtnla.cl	0673 64224	Parque Antonio Rabat Sur 6165 Avda. Libertador O Higgins 121, local 301	Santiago	http://www.gtnla.cl	-	X	X	-	X	R M
15	Improve	Francesco Ferraro	fxferraro@improve.cl	2512 22377	Carlos valdivinos 440	Santiago	www.improvechile.cl/	-	-	X	X	X	R M
16	Midea Carrier	Piere Dreano	pdreano@mideacarrier.com	8110 22716	E. Castillo Velasco 1295	Santiago	http://www.mideacarrier.cl/	X	X	X	-	-	R M
17	Natclima	Javier Serrat	fjemsb@gmail.com	2559 22581	Ctra. Gen. San Martín 6000	Santiago	http://natclima.cl/	X	X	X	X	-	R M
18	Nueva Energía	Pablo Garasa	info@nuevaenergia.cl	4655 99816	John Kennedy 151, La Florida	Santiago	http://www.nuevaenergia.cl	X	X	-	-	-	R M
19	Oden	Mauricio Escarate	mauricio@oden.cl	6466 99509	Av. del Valle Sur 534, Ciudad Empresarial	Santiago	http://www.odencil.com/	X	X	X	X	X	R M
20	Poch RGS	Luis Hinojosa	luis.hinojosa@pochcl	8662 53262	Dirección pasaje Salala 238, Villa El Ingenio	Santiago	http://www.pochcorp.cl	-	-	X	-	-	R M
21	Energía Roda	Rodrigo Juica	juica666@gmail.com	5978 22717	Diagonal Oriente Interior 1946, Providencia	Santiago	www.rodaenergia.cl/	X	X	X	X	X	R M
22	Energía Serviland	Vazquez Pietra	franciscov@rodaenerg.cl	7141 22655	Avda. Eliodoro Yañez 1890, Providencia	Santiago	http://www.servilandmienergy.com/	-	-	-	-	-	R M
23	minergy Solar del Valle	Salvatori Cristobal	pietra.salvatori@achegeo.cl	5500 22427	Avda. Nueva Tajamar nº 555, piso 6	Santiago	http://www.solardevalle.cl/	X	X	X	X	-	R M
24	Voher	Sanchez Jorge	csanchez@solardevalle.cl	3900 96728	Padre Hurtado Nº 59	Santiago	http://www.voher.cl	X	X	X	X	X	R M
25	EE Chile	Villaruel Jaime Reyes	jvillaruel@voher.cl	0560 63227	Las Lumas 326, Isla Teja	Valdivia	http://www.eechile.cl/	-	-	X	-	-	R M
26	ANWO	Patricio Geni	j.reyes@eechile.cl	1787 22989	Montalva Nº 17.001, Colina	Santiago	http://www.anwo.cl/	-	-	-	-	-	R M
27	Farenhouse	Cristian Ojeda	pgeni@anwo.cl	0000 22582	Avenida Las Tranqueras 1479, Vitacura	Santiago	http://www.farenhouse.cl/	-	-	-	-	-	R M
28	Ferrosur	Luis Duran	cojeda@farenhouse.cl	0500 45265	El retiro, parcela 19 - Camino viejo a cajón	Temuco	http://ferrosur.cl/	-	-	-	X	-	R M
29	Geo-operacion	Manuel Flores	ldurans@ferrosur.cl	8600 52220	Ruta Internacional #1001, Barrio Industrial Paipote	Copiapó	http://www.geo-operaciones.cl/	-	-	-	-	-	R M
30	Geotec Ghm	Alarcon	manuelflores@geo-operaciones.cl	2918 22620	Lo Campino Nº 432, Quilicura	Santiago	http://www.geotec.cl/	-	-	-	-	-	R M
31	Geotec Ghm consultores	Idiaz	geotec@geotec.cl	7901 22631	Padre Mariano 391, oficina 704, Providencia	Santiago	http://www.ghmconsultores.es/	-	-	X	-	-	R M
32	Hildebrandt	Luisa Díaz	ldiaz@ghmconsultores.es	4211 22321	Bucarest 17, Of.81, Providencia	Santiago	http://www.hildebrandt.cl	-	-	-	-	-	R M
33	Hildebrandt	Cecilia Cespedes	planconsult@hildebrandt.cl	22321 8582	Palacio Riesco 4201-A	Santiago	http://www.hildebrandt.cl	-	-	-	-	-	R M
34	Isener	Polett Marti	andtdcl	22247 9741	Avda. Santa María #7940,	Santiago	http://www.isener.com	-	-	-	-	-	R M
35	Kaltemp	Antonio bett	pmarti@isener.com	9741 22862		Santiago	http://www.kaltemp.cl/	-	-	-	-	-	R M



#	Empresa	Contacto	Correo	Teléfono	Dirección	Ciudad	Web	Venta	SAT 41	Consumo	Instalación	Perforación	Nº
			I	1700	Vitacura	go							M
36	Bosch	Juliette Birk	juliette.birk@cl.bosch.com	22405	San Eugenio 40, Ñuñoa	go	http://www.bosch.cl/ https://www.chilectra.cl	-	-	-	-	-	M
37	Chilectra	Valentina Barros	bchv@chilectra.cl	22675	Santa Rosa 76, piso 8	go	/Empresas/Bombas-de-Calor	-	-	-	-	-	M
		Nicolas	nicolas.espinosa@rehau.com	22496		Santia							R
38	Rehau	Espinosa	au.com	1900	Juana de Arco 2100, Providencia	go	www.rehau.com/cl-es	-	-	-	-	-	M



## 15.3 DIRECTORIO DE PROYECTOS, DATOS DE REFERENCIA

Tabla 4. Directorio de Proyectos. Datos de referencia

ID	Nombre Proyecto	Empresa	Ubicación	Inversión estimada	Rubro de la empresa de la Instalación	Contacto	Número
1	Observatorio las campanas	Rgs Energía	Observatorio las campanas	93	Otra industria	Rodrigo Juica	89938272
2	Edificio Costa mar	Rgs Energía	Azotea Edificio Costa Mar - La Herradura, Coquimbo	83	Otra industria	SD <sup>42</sup>	SD
3	Hospital el Salvador	Improve Ltda.	Avda. El Salvador - Santiago, Chile	SD	Otra industria	Francesc Ferraro	956923153
4	Edificio Ezzatti	Improve Ltda.	Edificio Ezzatti, Alonso de Ribera 2850, Campus San Andrés Universidad Católica de la Santísima Concepción - Concepción	50	Otra industria	SD	SD
5	Secador Geotérmico	Improve Ltda.	Santa Juana - Octava región, Chile	20	Industria de la madera	SD	SD
6	Hogar hermanita de los pobres	Enalteco	Manuel Rodríguez - Concepción	130	Otra industria	Joan Santamaría	412463696
7	Hotel Quelen	Enalteco	Lago Lanalhue - Cañete	30	Otra industria	SD	SD
8	Viveros bosques Arauco	Enalteco	Viveros Laraquete - Octava región	45	Industria de la madera	SD	SD
9	Particular	Enalteco	Chillán	7	Otra industria	SD	SD
10	Piscina temperada	Enalteco	Chiguayante - Octava región	7	Otra industria	SD	SD
11	Particular 2	Enalteco	Lomas San Sebastián - Concepción	8	Otra industria	SD	SD
12	Unifrutti San Felipe	Enativa	Michimalongo 220 - San Felipe	20	Otra industria	Cristian Moreno	229810496
13	Invernadero FIA Lampa	Enativa	Camino Lampa 3200	18	Industria de frutas y hortalizas procesadas	SD	SD
14	Casa familia Silva	Enativa	Condominio Las Canteras sitio 9 - Colina	14	Otra industria	SD	SD
15	Casa familia Salazar	Enativa	Condominio Polo de Chicureo II, sitio 46	15	Otra industria	SD	SD

<sup>42</sup> SD Sin Datos



ID	Nombre Proyecto	Empresa	Ubicación	Inversión estimada	Rubro de la empresa de la Instalación	Contacto	Número
16	Geotermia condominio Las Tortolas	Voher	Camino Santa Rita, Condominio Las Tortolas - Pirque, Santiago	15	Otra industria	Jorge Villarroel	951109717
17	Forestal Arauco Vivero Horcones	Voher	Laraquete, ruta 160, Horcones: Al interior del complejo forestal Industrial Horcones	200	Industria de la madera	SD	SD
18	Casas La Reina	ECM S.A.	La Reina - Santiago	15 x 15	Otra industria	Fernando Allendes	226555500
19	Centro Logístico	ECM S.A.	San Miguel - Santiago	75	Otra industria	0	SD
20	Arauco: Horcones	Geomark t SpA	Los Horcones s/n - Arauco, Región del Bio Bio	450	Industria de pastas de madera, papel y cartón	Juan Antonio de Isabel	968436514
21	Casas Habitacionales Los Angeles, Colina	ODEN	SD	SD	Habitacional	Mauricio Escárate	998166466
22	Condominio de los Rios Low	EE Chile	Piedra Roja - Santiago	SD	Habitacional	Jaime Reyes	632271787
23	Edificio cumbres del Sur	EE Chile	Temuco	SD	Habitacional	Jaime Reyes	SD
24	Jardín del Canto	EE Chile	Barrio privado Chamisero	SD	Habitacional	Jaime Reyes	SD
25	Centro Integral del Adulto Mayor	EE Chile	Viña del Mar	SD	Industria de frutas y hortalizas procesadas	Jaime Reyes	SD
26	Centro Integral del Adulto Mayor	EE Chile	Maipú	SD	SD	Jaime Reyes	SD
27	Hotel Playa Grande Suites	Ferrosur	Pucón	SD	SD	Luis Durán	452658600
28	Viña Maquis	CEGA	Palmilla, Valle de Colchagua	SD	Vitivinicultura	SD	SD
29	Parque Titanium	Sencorp	Vitacura	SD	SD	SD	SD



## 15.4 DIRECTORIO DE PROYECTOS, DATOS TÉCNICOS

Tabla 5. Directorio de Proyectos. Datos de referencia (Los datos expuestos son los declarados directamente por la empresa, sin manipulación del consultor ni el Ministerio De Energía. Por lo anterior, la consistencia de los datos es responsabilidad del encuestado).

ID	Nombre Proyecto	Empresa	Potencia térmica instalada	COP Bomba de calor	Marca y modelo	Tipo de campo captador	Tipo de suelo
1	Observatorio las campanas	Rgs Energía	275	5,5	Ochsner	Horizontal	Rocas básicas (basaltos)
2	Edificio Costa mar	Rgs Energía	198	4,5	OCHSNER fuente de calor aire	Horizontal	Gravas y arenas con gran circulación de agua
3	Hospital el Salvador	Improve Ltda.	400000	4	A determinar	Vertical	Gravas y arenas saturadas de agua
4	Edificio Ezzatti	Improve Ltda.	30	2	Aerotermia	Horizontal	Arcilla y margas húmedas
5	Secador Geotérmico	Improve Ltda.	16	4	Neura NDX	Horizontal	Gravas y arenas secas
6	Hogar hermanita de los pobres	Enalteco	400	4	Enalteco	Horizontal	Areniscas
7	Hotel Quelen	Enalteco	200	5	Enalteco	Horizontal	Gravas y arenas saturadas de agua
8	Viveros bosques Arauco	Enalteco	45	4,5	Enalteco	Horizontal	Gravas y arenas saturadas de agua
9	Particular	Enalteco	25	5	Enalteco	Horizontal	Rocas básicas (basaltos)
10	Piscina temperada	Enalteco	32	4	Enalteco	Horizontal	Gravas y arenas con gran circulación de agua
11	Particular 2	Enalteco	20	4	Enalteco	Horizontal	Gravas y arenas con gran circulación de agua
12	Unifrutti San Felipe	Enativa	70	3,5	DERON DE-72WS	Horizontal	0
13	Invernadero FIA Lampa	Enativa	165	3,3	2 x DERON DE-75WS	Horizontal	0
14	Casa familia Silva	Enativa	612	34	DERON DE-52WS	Horizontal	Calizas y dolomías masivas
15	Casa familia Salazar	Enativa	576	36	DERON DE-46WS	Horizontal	0
16	Geotermia condominio Las Tortolas	Voher	55,2	4,6	Ecoforest ecoGEO B2	Horizontal	Otro
17	Forestal Arauco Vivero Horcones	Voher	3220	4,6	EcoGeo HP1 25-100Kw	Vertical	Otro
18	Casas La Reina	ECM S.A.	669,6	3,1	Geoflex	Vertical	Gravas y arenas



					R410A WW SS		saturadas de agua
19	Centro Logístico	ECM S.A.	232,5	3,1	Geoflex WA	Vertical	Gravas y arenas secas
20	Arauco: Horcones	Geomarket SpA	31500	4,5	Geoter	Horizontal	Gravas y arenas saturadas de agua
21	Casas Habitacionales Los Angeles, Colina	ODEN	57,4	4,1	Honey, ksr 18	Horizontal	Gravas y arenas secas
22	Condominio de los Rios Low	EE Chile	SD	SD	SD	SD	SD
23	Edificio cumbres del Sur	EE Chile	SD	SD	SD	SD	SD
24	Jardín del Canto	EE Chile	SD	SD	SD	SD	SD
25	Centro Integral del Adulto Mayor	EE Chile	SD	SD	SD	SD	SD
26	Centro Integral del Adulto Mayor	EE Chile	SD	SD	SD	SD	SD
27	Hotel Playa Grande Suites	Ferrosur	SD	SD	SD	SD	SD
28	Viña Maquis	CEGA	SD	SD	SD	SD	SD
29	Parque Titanium	Sencorp	SD	SD	SD	SD	SD



## 16 ANEXO 4. BIBLIOGRAFÍA

---

- [1] Aguasol, «Análisis del potencial de la energía solar térmica en la industria (APPSOL),» 2014.
- [2] INE, «Censo Agropecuario,» 2007. [En línea]. Available: [http://www.ine.cl/canales/chile\\_estadistico/censos\\_agropecuarios/xls\\_comunas/12.xls](http://www.ine.cl/canales/chile_estadistico/censos_agropecuarios/xls_comunas/12.xls).
- [3] SAG, «Catastro de producción vitivinícola,» Santiago, 2015.
- [4] CIFES - Aguasol, «Estudio de Caracterización Energética de la Industria Vitivinícola y su Potencial para Desarrollar Proyectos de Energía Sustentable,» Santiago, 2016.
- [5] A. Gómez-Lobo, «El consumo de leña en el sur de Chile: ¿por qué nos debe preocupar y qué se puede hacer?,» Santiago, 2005.
- [6] Unión Europea / CONICYT, «Los sectores pesca y acuicultura en Chile,» Santiago, 2007.
- [7] AProJUNJI, *Información estadística educación parvularia en Chile*, 2013.
- [8] Alemparte Barreda, «proyectos de hotelería,» [En línea]. Available: <http://www.alempartebarreda.cl/proyectos.php>. [Último acceso: 25 02 2016].
- [9] Aguasol, «Appsol, caso de estudio Agrícola Los Tilos. Work Package 7,» 2014.
- [10] «Ley 20365 FRANQUICIA TRIBUTARIA RESPECTO DE SISTEMAS SOLARES TÉRMICOS,» ] 2009.
- [11] Marine Harvest, «Salmon industry Handbook,» 2015.  
]
- [12] J. B. E. E. M. V. A. S. Dr. Germán E. Merino, «Sistema de recirculación en acuicultura,» ] Puerto Madryn, Argentina, 2015.
- [13] J. B. J. P. A. E. E. R. M. Dr. Germán E. Merino, «TRENDS FOR ATLANTIC SALMON ] PRODUCTION IN LAND BASE SYSTEMS IN CHILE,» West Virginia, Estados Unidos, 2013.



- [14 C. Aguayo, «Buen uso de leña,» Santiago.  
]
- [15 Nyle Systems, *Introducción de secado al horno*, Estados Unidos, -.  
]
- [16 S. Viscarra, «Guía práctica para el secado de madera en hornos,» Santa Cruz, Bolivia,  
] 1998.
- [17 Woodmizer, «Página Web woodmizer,» 2015. [En línea]. Available:  
] <http://www.woodmizer.cl/productos-hornos-dh4000.html>.
- [18 I. F. M. E. Atencia, Densidad de maderas (Kg/m<sup>3</sup>) ordenadas por nombre científico,  
] 2003.
- [19 MINENERGÍA, «Guía de inventario de emisiones para PyMEs del ministerio de  
] energía,» 2013. [En línea]. Available: <http://huelladecarbono.minenergia.cl/>.
- [20 Centro de energías de la Universidad de Chile, *Línea base para la construcción de una  
] política energética para la Región de Aysén Carlos Ibáñez del Campo*, Santiago, 2015.
- [21 MINENERGÍA, *Balance nacional de energía 2012*, 2012.  
]
- [22 Centro para la geotermia y el futuro de la energía, «Projekt „Analyse der  
] Wertschöpfungskette Geothermie in der Metropole Ruhr / NRW“,» 2008.
- [23 Nyle Systems, *Catálogo L-series*.  
]
- [24 R. B. Barría, «Estudio para la evaluación de la eficiencia de galpones para el secado y  
] acopio de leña en la provincia de Chiloé,» Dalcahue, 2009.
- [25 «Modelos de negocio de Leña Certificada,» 2013. [En línea]. Available:  
] <https://www.youtube.com/watch?v=H3cLuz9hMRE>.
- [26 «Nota secador de Leña,» 2011. [En línea]. Available:  
] <https://www.youtube.com/watch?v=8Nc3mbcRdAg>.
- [27 «Galpón: Acopio y secador de Leña,» 2013. [En línea]. Available:  
] <https://www.youtube.com/watch?v=A2FSRfL7MSo>.
- [28 «Propiedades térmicas de los materiales,» 2015. [En línea]. Available:  
] <http://www.miliarium.com/Prontuario/Tablas/Quimica/PropiedadesTermicas.asp>.



[29 «ENGINEERING TOOLBOX,» 2015. [En línea]. Available:  
] <http://www.engineeringtoolbox.com/>.

**[30] Direct Utilization of Geothermal Energy 2015 Worldwide Review**

John W. Lund and Tonya L. Boyd

Geo-Heat Center, Oregon Institute of Technology, Klamath Falls, OR 97601, USA, retired

**[31] Strategic Research Priorities for Geothermal Technology**

European Technology Platform on Renewable Heating and Cooling  
Brussels, April 2012

**[32] Geothermal Technology Roadmap**

European Technology Platform on Renewable Heating and Cooling  
Brussels, March 2014

**[33] REN21. 2014. Renewables 2014 Global Status Report**

(Paris: REN21 Secretariat).

ISBN 978-3-9815934-2-6

**[34] Renovables 2.0 Greenpece**

Xavier Garcia Casals 2014

**[35] GROUND-SOURCE HEAT PUMP PROJECT ANALYSIS**

ISBN: 0-662-39150-0 Catalogue no.: M39-110/2005E-PDF

Minister of Natural Resources Canada 2001 - 2005.



## 17 ANEXO 5. ÍNDICE DE FIGURAS

---

Figura 1. Principales indicadores (período de retorno y ahorro de emisiones) de los casos analizados .....	14
Figura 2. Evolución genérica de los COP hasta 2008 <sup>[5]</sup> .....	24
Figura 3. Comparativa COP proyectado con límite de Carnot <sup>[5]</sup> .....	24
Figura 4. Evolución de la potencia y la producción de energía térmica con GSHP en el mundo [1] .....	28
Figura 5. Distribución de la potencia mundial entre GSHP y otros usos directos [1].....	29
Figura 6. Intensidad geotérmica per cápita para los países con mayor potencia instalada [1] .....	30
Figura 7. Distribución mundial de la potencia geotérmica de baja entalpía instalada a 2015 (incluye un 29% de uso directo). Ver Tabla 48 [1].....	31
Figura 8. Intensidad geotérmica per cápita para los países de Sudamérica con registro de potencia [1].....	32
Figura 9. Distribución de proyectos identificados en el marco de presente proyecto por rubros .....	32
Figura 10. Distribución Latinoamericana de la potencia geotérmica de baja entalpía instalada .....	33
Figura 11. Costos unitarios de proyectos en Chile según su potencia .....	42
Figura 12 Imagen aérea del recinto .....	45
Figura 13 Vista interior del hogar .....	45
Figura 14 Detalle de un sistema de bombas de calor .....	46
Figura 15 Detalle del sistema de distribución asociado .....	46
Figura 16. Principales indicadores (período de retorno y ahorro de emisiones) de los casos analizados .....	60
Figura 5.17 Zonificación según grados-día. Fuente: Guía de Diseño para la Eficiencia Energética en la Vivienda Social. 2009.....	62
Figura 5.18 Esquema metodológico para la obtención de demandas y potencias punta de diseño .....	64
Figura 5.19 Esquema metodológico para el análisis técnico económico .....	65
Figura 5.20 Potencia de calefacción específica en función de la temperatura de diseño Fuente: RETScreen 4 .....	69
Figura 21 Potencia de enfriamiento específica en función de la temperatura de diseño Fuente: RETScreen 4 .....	70



Figura 22. Balance mensual sistema GSHP hibrido para caso V5.....	88
Figura 23. Balance anual por tecnologías y aportes para sistema GSHP hibrido para caso V5 .....	89
Figura 24. Balance anual de flujos de calor, frío y remanente para sistema GSHP hibrido para caso V5 .....	89
Figura 25. COP estacionales resultantes para sistema GSHP hibrido para caso V5.....	90
Figura 26. Balance mensual sistema GSHP hibrido para casos P5 y P6 (izquierda y derecha) .....	92
Figura 27. Balance anual por tecnologías y aportes para sistema GSHP hibrido para caso P5 .....	93
Figura 28. Balance anual de flujos de calor, frío y remanente para sistema GSHP hibrido para caso P5.....	93
Figura 29. COP estacionales resultantes para sistema GSHP hibrido para caso P5 .....	94
Figura 30. Balance mensual sistema GSHP hibrido para caso L45 .....	96
Figura 31. Balance anual por tecnologías y aportes para sistema GSHP hibrido para caso P5 .....	97
Figura 32. Balance anual de flujos de calor, frío y remanente para sistema GSHP hibrido para caso P5.....	97
Figura 33. COP estacionales resultantes para sistema GSHP hibrido para caso P5 .....	98
Figura 34. Balance mensual sistema GSHP hibrido para caso G3 .....	100
Figura 35. Balance anual por tecnologías y aportes para sistema GSHP hibrido para caso G3.....	101
Figura 36. Balance anual de flujos de calor, frío y remanente para sistema GSHP hibrido para caso G3 .....	101
Figura 37. COP estacionales resultantes para sistema GSHP hibrido para caso G3.....	102
Figura 38. Balance mensual sistema GSHP hibrido para caso J4.....	104
Figura 39. Balance anual por tecnologías y aportes para sistema GSHP hibrido para caso J4 .....	105
Figura 40. Balance anual de flujos de calor, frío y remanente para sistema GSHP hibrido para caso J4 .....	105
Figura 41. COP estacionales resultantes para sistema GSHP hibrido para caso J4 .....	106
Figura 42. Balance mensual sistema GSHP hibrido para caso HT1 .....	109
Figura 43. Balance anual por tecnologías y aportes para sistema GSHP hibrido para caso HT1 .....	109
Figura 44. Balance anual de flujos de calor, frío y remanente para sistema GSHP hibrido para caso HT1 .....	109
Figura 45. COP estacionales resultantes para sistema GSHP hibrido para caso HT1.....	110
Figura 46. Balance mensual sistema GSHP hibrido para caso U1 .....	112



Figura 47. Balance anual por tecnologías y aportes para sistema GSHP hibrido para caso U1 .....	113
Figura 48. Balance anual de flujos de calor, frío y remanente para sistema GSHP hibrido para caso U1 .....	113
Figura 49. COP estacionales resultantes para sistema GSHP hibrido para caso U1.....	114
Figura 50. Balance mensual sistema GSHP hibrido para caso D5 .....	116
Figura 51. Balance anual por tecnologías y aportes para sistema GSHP hibrido para caso D5 .....	117
Figura 52. Balance anual de flujos de calor, frío y remanente para sistema GSHP hibrido para caso D5 .....	117
Figura 53. COP estacionales resultantes para sistema GSHP hibrido para caso D5.....	118
Figura 54. Balance mensual sistema GSHP hibrido para caso H7 .....	120
Figura 55. Balance anual por tecnologías y aportes para sistema GSHP hibrido para caso H7 .....	121
Figura 56. Balance anual de flujos de calor, frío y remanente para sistema GSHP hibrido para caso H7 .....	121
Figura 57. COP estacionales resultantes para sistema GSHP hibrido para caso H7.....	122
Figura 6.1 Esquema de cadena de valor para el desarrollo de proyectos de geotermia ..	126
Figura 7.1 Cantidad de servicios ofrecidos por región .....	140
Figura 7.2 Cantidad de distribuidores por tipo de servicio .....	141
Figura 7.3 Frecuencia de proveedores por cantidad de servicios ofrecidos.....	141
Figura 4. Diagrama de afectaciones legales para proyectos GSHP .....	158
Figura 5: Representación de la tierra y sus capas. ....	168
Figura 6: Comportamiento estacional de la tierra.....	170
Figura 7: Red horizontal simple. ....	175
Figura 8: Red horizontal doble. ....	176
Figura 9: Conexión horizontal en serie. ....	177
Figura 10: Red horizontal en serie. ....	177
Figura 11: Red horizontal con retorno directo. ....	178
Figura 12: Red horizontal con retorno inverso.....	178
Figura 13: Red horizontal con alimentación central.....	179
Figura 14: Red vertical.....	180
Figura 73: Configuración serie vertical. ....	181
Figura 16: Red vertical en serie. ....	181
Figura 75: Red vertical en paralelo. ....	182
Figura 76: Red vertical en paralelo. ....	183
Figura 77: Conexión simple U. ....	183
Figura 78: Conexión doble U .....	184



Figura 79: Coaxial simple y complejo.....	185
Figura 80: Intercambiador sumergido. ....	185
Figura 81: Intercambiadores slinky.....	186
Figura 82: Híbrido, configuración vertical unido a intercambiador sumergido. ....	187
Figura 83: Híbrido. Configuración vertical unida a colector solar térmico. ....	188
Figura 84: Híbrido, configuración vertical unida a torre de enfriamiento.....	189
Figura 85: Circuito abierto.....	190
Figura 86: Esquema de una bomba de calor, en configuración para calentar. ....	193
Figura 87. Ejemplo de mapa regional de proyectos.....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
Figura 88. Ejemplo de general de indicadores por regiones...	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
Figura 89 Ejemplo de mapa de actores por regiones.....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>



## 18 ANEXO 6. ÍNDICE DE TABLAS

---

Tabla 3.1 Empresas nacionales de distribución de bombas de calor. Fuente: Elaboración propia .....	34
Tabla 2. Resumen de parámetros principales de instalaciones identificadas en al marco del estudio.....	38
Tabla 3. Costos de inversión y energía para distintas tecnologías térmicas según REN21 [4] .....	41
Tabla 4. Distribución de costos en las distintas Regiones del país .....	43
Tabla 5 Información de empresa y cliente, Hermanitas de los Pobres .....	47
Tabla 6 Información de proyecto, Hermanitas de los Pobres.....	48
Tabla 7. Datos Técnicos sistema Viveros Horcón .....	57
Tabla 8. Características de las zonas climáticas implementadas Fuente: Guía de Diseño para la Eficiencia Energética en la Vivienda Social. 2009 .....	61
Tabla 9. Categorización de las operaciones según tipo .....	63
Tabla 10 Condiciones de borde financieras. ....	66
Tabla 11: Zonificación final y uso de las bombas de calor según operación .....	67
Tabla 5.12 Parámetros de operación NO geográficos para procesos de climatización. Fuente: Elaboración propia .....	68
Tabla 5.13 Nivel de aislación según tipo de estructura. Fuente: Elaboración propia .....	69
Tabla 5.14 Potencia de calefacción según proceso y zona. Fuente: Elaboración propia ....	70
Tabla 5.15 Potencia de enfriamiento según proceso y zona. Fuente: Elaboración propia .	71
Tabla 5.16 Grados-día de enfriamiento según zona, para confort de personas. Fuente: Elaboración propia.....	72
Tabla 17 Grados-día de Calefacción según zona, para confort de personas. Fuente: Elaboración propia .....	72
Tabla 5.18 Grados-día de calefacción según zona, para confort de lechones.....	73
Tabla 5.19 Base de cálculo de demanda base de ACS (Fuente: Elaboración propia).....	73
Tabla 20: Hipótesis utilizadas en el modelo de piscifactorías.....	74
Tabla 21: Datos del perfil de demanda de piscifactorías FUENTE: Elaboración propia en base a herramienta RETScreen.....	75
Tabla 22: Hipótesis utilizadas en el modelo de viñas .....	76
Tabla 23: Datos del perfil de demanda de viña FUENTE: Elaboración propia en base a herramienta RETScreen.....	77
Tabla 5.24: Hipótesis utilizadas en el modelo de secado de madera.....	79



Tabla 5.25: Datos del perfil de demanda de secado de madera FUENTE: Elaboración propia en base a herramienta RETScreen.....	80
Tabla 26 Costos de combustibles utilizados, Fuente: Elaboración propia.....	80
Tabla 27 Costos de electricidad según emplazamiento Fuente: elaboración propia según consulta 19/02/2016 al Tarifario público de las distribuidoras eléctricas.....	81
Tabla 28 Datos emisiones según combustibles Fuente: [19].....	82
Tabla 29 Datos emisiones según red eléctrica asociada Fuente: Elaboración propia en base a [19] y [20].....	82
Tabla 30 Características físicas de los combustibles utilizados [21].....	82
Tabla 31 Valores para el cálculo de costos asociados a la inversión Fuente: Elaboración propia .....	83
Tabla 32 Costos asociados a la inversión en vivienda unifamiliar Fuente: Recopilación de precio de casas comerciales .....	83
Tabla 33 Costos de mantenimiento en función de la potencia (X) Fuente: elaboración propia .....	84
Tabla 34. Coeficientes de correlación para COP y Q .....	86
Tabla 35. Tabla resumen de resultados de casos analizados para Industria Vitivinícola ....	91
Tabla 36. Tabla resumen de resultados de casos analizados para Piscifactorías .....	95
Tabla 37. Tabla resumen de resultados de casos analizados para Secado de Leña.....	99
Tabla 38. Tabla resumen de resultados de casos analizados para Granjas de Cerdos .....	103
Tabla 39. Tabla resumen de resultados de casos analizados para Jardines .....	107
Tabla 40. Tabla resumen de resultados de casos analizados para Hoteles .....	111
Tabla 41. Tabla resumen de resultados de casos analizados para Viviendas Unifamiliares .....	115
Tabla 42. Tabla resumen de resultados de casos analizados para Calefacción Distrital... ..	119
Tabla 43. Tabla resumen de resultados de casos analizados para Hospitales.....	123
Tabla 6.1 Empresas internacionales de distribución de bombas de calor. Fuente: Elaboración propia .....	127
Tabla 6.2 Empresas nacionales de distribución de bombas de calor. Fuente: Elaboración propia .....	129
Tabla 7.1 Número de proveedores por región.....	139
Tabla 7.2 Servicios entregados por región .....	139
Tabla 48. Distribución mundial de la potencia geotérmica de baja entalpía instalada a 2015 (incluye un 29% de uso directo) [1] .....	195
Tabla 4. Directorio de Proyectos. Datos de referencia.....	205
Tabla 5. Directorio de Proyectos. Datos de referencia.....	207