

BOMBAS DE CALOR

Una Guía para el Usuario

Programa Utilización del Calor Geotérmico en Procesos industriales (Geo II)
Agreement Number: 81272378
Project Processing number: 19.2268.1-002.00

Octubre 2022

Publicado por:

Deutsche Gesellschaft für
Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH

Bulevar Orden de Malta, Casa de la Cooperación Alemana,
Urbanización Santa Elena,
Antiguo Cuscatlán, El Salvador, Central America.
T +503 2121-5145 F +503 2121-5101

E info@giz.de
I www.giz.de

Denominación del programa:

Proyecto Utilización del Calor Geotérmico en Procesos Industriales
en los Países Miembros del SICA (GEO II)
Proyecto de Apoyo a la NAMA “Energías Renovables para Autoconsumo”, GIZ Marchant Pereira 150
7500654 Providencia Santiago de Chile
T +56 22 30 68 600 | www.4echile.cl/nama

Autor:

David Fuchs, Director del Proyecto de Apoyo a la NAMA “Energías Renovables para Autoconsumo”, GIZ
Gabriel Prudencio, Jefe División de Energías Sostenibles, Ministerio de Energía

En coordinación con: Ministerio de Energía de Chile Alameda 1449, Pisos 13 y 14, Edificio Santiago Downtown II Santiago de Chile
T +56 22 367 3000 | www.minenergia.cl

Equipo de Trabajo:

Ignacio Jofré, Asesor Técnico, GIZ.
José Fuster, Asesor Técnico, GIZ.
Elizabeth Soto, Unidad de Geotermia y Energía Distrital, Ministerio de Energía.
Sven Harfagar, Unidad de Gestión de la Información, Ministerio de Energía.

Revisión técnica / formato / edición:

CECACIER, San José, Costa Rica

Diseño gráfico / diagramación:

CECACIER, San José, Costa Rica

Fotografías / fuentes:

CECACIER, San José, Costa Rica

Referencias a URL:

Los contenidos de las páginas externas a las que se remite en la presente publicación
son responsabilidad exclusiva del respectivo proveedor. La GIZ se distancia expresamente de estos contenidos.

Por encargo de:

Comitente: Ministerio Federal de Cooperación Económica y Desarrollo (BMZ) de Alemania
Países: Costa Rica, El Salvador, Honduras, Belice, Guatemala, Nicaragua, Panamá, República Dominicana
Entidad responsable a nivel político: Sistema de la Integración Centroamericana (SG-SICA)
Duración total: de 2020 a 2023
Persona de contacto del comitente: Ana Lucía Alfaro Murillo, email: ana.alfaro@giz.de

La GIZ es responsable del contenido de la presente publicación.

San José, Costa Rica. Octubre 2022.
Santiago de Chile, agosto de 2020.

Aclaración

Esta publicación ha sido preparada por encargo del Proyecto de Apoyo a la NAMA “Energías Renovables para el Autoconsumo en Chile”, implementado por el Ministerio de Energía y Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH. El proyecto se financia a través de la NAMA Facility del Ministerio Federal de Medio Ambiente, Protección de la Naturaleza y Seguridad Nuclear (BMU) de Alemania y el Departamento de Negocios, Energía y Estrategia Industrial (BEIS) de Gran Bretaña y de la Comisión Europea. Sin perjuicio de ello, las conclusiones y opiniones de los autores no necesariamente reflejan la posición del Gobierno de Chile o de GIZ. Además, cualquier referencia a una empresa, producto, marca, fabricante u otro similar en ningún caso constituye una recomendación por parte del Gobierno de Chile o de GIZ.

Santiago de Chile, agosto de 2020.

Introducción

En el presente informe se introducirán los sistemas de climatización por medio de bombas de calor, específicamente aerotérmicas y geotérmicas. La implementación de estas tecnologías puede aportar con reducciones en el uso de combustibles fósiles, y así evitar la emisión de gases de efecto invernadero (GEI). Se busca

destacar sus virtudes y mostrar sus aplicaciones, creando una aproximación a estas tecnologías por parte del usuario donde, a su vez, se mostrarán los posibles inconvenientes relacionados a su implementación.

La identificación de diferencias existentes entre las bombas de calor aerotérmicas y geotérmicas, condiciones de implementación y modelo a usar recaerán en la toma de decisión al momento de seleccionar la tecnología ideal para el usuario. El objetivo del informe es ampliar los conceptos de las bombas de calor aerotérmicas y geotérmicas, reducir las preferencias hacia los sistemas de climatización tradicionales e impulsar la implementación de estas tecnologías alternas.

Definiciones

Aeroterminia: Tecnología que utiliza una bomba de calor que calienta el agua gracias al intercambio de calor con el exterior (Arnabat, 2015)

COP: es una expresión de la eficiencia de una bomba de calor. Al calcular el COP para una bomba de calor, la salida de calor del condensador (Q) se compara con la potencia suministrada al compresor (Grundfos, 2018),¹

Energía geotérmica: Es una energía renovable que se obtiene del aprovechamiento de calor proveniente del interior de la tierra que se transmite a los cuerpos por conducción y convección (GmbH, Informe Final: Estudio de

¹ Grundfos. (2018). *Grundfos*. Recuperado el 29 de 08 de 2022, de [https://www.grundfos.com/es/learn/research-and-insights/coefficient-of-system-](https://www.grundfos.com/es/learn/research-and-insights/coefficient-of-system-performance#:~:text=El%20coeficiente%20de%20rendimiento%20(COP,suministrada%20al%20compresor%20(W)))

performance#:~:text=El%20coeficiente%20de%20rendimiento%20(COP,suministrada%20al%20compresor%20(W))

Mercado de Bombas de Calor Geotérmicas y Aerotérmicas en Chile, 2019)².

Refrigeración: Proceso que consiste en bajar o mantener el nivel de calor de un cuerpo o

un espacio (Arnabat, 2015)³.

Subsuelo: Parte de terreno que esta debajo de la superficie terrestre (Berg, 2019)⁴.

² GmbH, D. G. (2019). Informe Final: Estudio de Mercado de Bombas de Calor Geotérmicas y Aerotérmicas en Chile. Santiago, Chile.

³ Arnabat, I. (2015). Funcionamiento de la bomba de calor para calefacción y agua caliente,. Calor y Frío.

⁴ Berg, A. P. (2019). Heat pump performance. Porirua, New Zealand.

Contenido

Definiciones	3
Aplicaciones de las Bombas de Calor	6
Ventajas	7
Desventajas	8
¿Cómo funciona una bomba de calor?	8
Tipos de Bombas de Calor Aerotérmicas	9
Sistema Compacto	10
Sistema Semi-Compacto.....	10
Sistema No-Compacto.....	10
Tipos de Bombas de Calor Geotérmicas	12
Ejemplos de proyectos	15
Ejemplo 1: Hogar de las Hermanitas de los Pobres, Concepción, Chile.	16
Ejemplo 2: Unifrutti, Chile.....	16
Ejemplos de Implementación	16
Ejemplo 1: Proyecto bomba de calor geotérmica reversible de circuito abierto con sistemas de emisión en base a losa radiante	17
Ejemplo 2: Proyecto Split + bomba de calor individual de ACS.	18
Ejemplo 3: Climatización en Hotel Westin.....	19

Aplicaciones de las Bombas de Calor

Las bombas de calor (BC) son máquinas térmicas que pueden calentar o enfriar un espacio o un fluido como ser el agua caliente sanitaria (ACS). El uso que se le puede dar a una BC depende de las necesidades que tenga el usuario y de las características del entorno donde se instale, por ejemplo, la temperatura del lugar puesto que el potencial es distinto si se instala en un ambiente cálido o helado, a pesar de que existen bombas para ambas realidades.

Tomando en cuenta dos tipos de BC, aerotérmicas y geotérmicas, se encuentran diversas aplicaciones debido a que estas poseen diferencias entre sí como eficiencias técnicas y económicas en función de la demanda de energía que tengan, escala de trabajo y características particulares de instalación de cada proyecto entre otros parámetros a considerar.

Por lo tanto, la elección entre una BC aerotérmica y una geotérmica dependerá de las características y la escala del proyecto. Por ejemplo, las BC geotérmicas son más rentables para demandas constantes de energía y/o proyectos de gran escala. A continuación, se presenta una lista de algunas de las aplicaciones que se les puede dar a las BC aerotérmicas y/o geotérmicas:

- **Climatización de espacios reducidos, a través de pequeñas instalaciones**, pudiendo ser climatización fría o cálida en viviendas unifamiliares, multifamiliares, locales comerciales u hostales pequeños. Para este tipo de aplicaciones de pequeña escala es más recomendable utilizar BC

aerotérmicas.

- **Climatización de espacios de gran escala**, como en edificios de diversos pisos como oficinas, en grupos de viviendas/edificios, terminales de aeropuertos, escuelas, centros comerciales, supermercados, hoteles, hospitales, clínicas, colegios, instalaciones deportivas, etc. En estas aplicaciones ambas BC aerotérmicas y geotérmicas pueden ser utilizadas.
- **Procesos de refrigeración y congelamiento**, espacios, vitrinas, cámaras, etc. Las BC geotérmicas son recomendadas para esta aplicación.
- **Calentamiento de agua/fluidos de procesos**, hasta 90°C con bombas de alta temperatura y 60°C con bombas “normales”. Para este punto se tienen muchísimas operaciones industriales compatibles (textiles, alimentos, minería y más).
- **Calentamiento de ACS en varias escalas**, para uso doméstico, piscinas, invernaderos, acuicultura, procesos industriales, etc.
- **Deshumidificación de ambientes**, típicamente en piscinas, para cuidar que la humedad interior no sea tan elevada.
- **Procesos de secado**, alimentos, tabaco, madera, etc.
- **Otros procesos industriales**, como, por ejemplo, procesos de lavado industrial, pasteurización, procesos de destilación y evaporación, producción de vapor, etc.

Un ejemplo de las aplicaciones de las BC se encuentra en el Hotel Westin Punta Cana Resort & Club ubicado en Punta Cana, República Dominicana. El hotel cuenta con un sistema de climatización parcial geotérmico el cual, mediante un pozo de agua subterráneo, realiza su ciclo permitiendo climatizar las habitaciones. El aprovechamiento de esta BC geotérmica es únicamente para enfriar, por lo cual la generación de ACS es mediante calderas tradicionales (GIZ, 2022)⁵.

Ventajas

Los principales beneficios que otorgan las BC van desde altas eficiencias energéticas en comparación con otros equipos convencionales de climatización y menores costos de operación para los consumidores, hasta beneficios para el mercado energético nacional. Particularmente, se pueden destacar los siguientes beneficios:

- Son equipos altamente eficientes. Para cuantificar esto, se usa el COP, el cual varía aproximadamente entre dos y cuatro en las bombas aerotérmicas, y entre tres y cinco en las geotérmicas (AFEC, 2019)⁶. Esto quiere decir, si se tiene una bomba de calor que consume electricidad y tiene un COP de cinco, por ejemplo, el sistema va a entregar 5 unidades de energía térmica por cada unidad de energía eléctrica consumida por el compresor.

- Pueden ser empleadas en diversas condiciones geográficas y climáticas. Por lo tanto, dependiendo de las condiciones que se tengan, es posible elegir entre instalar bombas aerotérmicas o geotérmicas para los proyectos en distintas regiones.
- En el caso de las BC geotérmicas, siempre están disponibles para la operación, independientemente de las condiciones climáticas o los cambios estacionales.
- Pueden utilizar recursos renovables, promoviendo métodos de calefacción y refrigeración con un bajo impacto ambiental.
- Necesitan poco mantenimiento, son duraderas y altamente confiables, por ejemplo, para aplicaciones residenciales la vida útil promedio de las BC va desde los 20 a los 25 años.
- Se pueden utilizar en una gran variedad de aplicaciones y cargas de energía. La tecnología actual permite la implementación práctica desde aplicaciones pequeñas, por ejemplo, edificios residenciales que requieren de 5kW a 30kW) hasta aplicaciones grandes (edificios grandes y esquemas de calefacción urbana de 100kW a 1,000kW o más.
- Su implementación se alinea con el objetivo de la mayoría de los gobiernos en el mundo para un mayor uso de los recursos de

⁵ GIZ, T. D. (15 de julio de 2022). Kits Modelo de Negocios.

⁶ AFEC. (2019). *Bombas de Calor*. Obtenido de Asociación de Fabricantes de Equipos de Climatización:

www.bombadecolor.org/consumidor/preguntas-frecuentes/

energías renovables para disminuir la emisión de gases de efecto invernadero.

Desventajas

- La inversión inicial de las BC generalmente es más elevada que la de otros equipos convencionales de climatización. Sin embargo, su costo de operación es considerablemente menor que la mayoría de las tecnologías.
- En el caso de las BC que operan usando electricidad y reemplazan una tecnología que usa combustibles fósiles, el costo de la cuenta de electricidad aumentará. El único caso en que la cuenta no aumente sería si es que la bomba de calor está reemplazando una estufa eléctrica.
- El nivel de ruido emitido por las bombas de calor puede ser molesto en algunos casos (esto varía mucho con el modelo específico de aire acondicionado). Los equipos que utilizan suelo radiante o radiadores generan niveles de ruido prácticamente imperceptibles; no así los que cuentan con algún sistema que utilice ventiladores, como los Fan Coil por ejemplo (Nordic, 2015)⁷.
- La eficiencia de las BC depende directamente de la temperatura de la fuente desde donde se extrae el calor y el sumidero donde se evacúa. En zonas

climáticas muy frías, las bombas aerotérmicas pueden presentar reducciones considerables en su rendimiento.

- Es importante mencionar que, si bien las BC son equipos con una alta eficiencia energética, éstos tendrán un consumo de energía más elevado de lo esperado si el lugar que se quiere climatizar no se encuentra aislado térmicamente o si no se cierran las puertas y ventanas.

¿Cómo funciona una bomba de calor?

Una BC es un equipo mecánico que transfiere calor de un lugar a otro. En la mayoría de las BC modernas, se utiliza energía eléctrica para alimentar un compresor, el cual a su vez hace circular un fluido refrigerante entre dos intercambiadores de calor: un evaporador frío y un condensador caliente. En el evaporador el fluido refrigerante absorbe calor del medio con baja temperatura. Luego, el refrigerante es comprimido y enviado hacia el condensador, en donde se libera el calor absorbido al medio con alta temperatura. En la *Figura 1* se presenta un ejemplo de operación de una BC en modo refrigeración. Adicionalmente, las BC también pueden ser usadas para calefacción y para generar ACS (Idoia Arnabat, 2019)⁸.

⁷ Nordic. (2015). *Nordic Heating Cooling*. Obtenido de Maritime Geothermal: <https://www.nordicghp.com/2016/06/air-to-water-heat-pump-noise/>.

⁸ Idoia Arnabat. (11 de junio de 2019). *Aire acondicionado*

con aerotermia ¿Qué es y cómo funciona? Obtenido de Calor y Frío: <https://www.caloryfrio.com/aire-acondicionado/aire-acondicionado-domestico/aire-acondicionado-aerotermia-que-es-como-funciona-infografia.html>

Si se compara con una bomba hidráulica, estas mueven el agua en desde lo bajo hacia lo alto (en un edificio, por ejemplo). Su nombre proviene del concepto de que estos equipos “bombean” calor entre dos medios a diferentes temperaturas. Esto se hace debido a que la dirección “natural” del calor es desde un medio con alta temperatura a uno con menor temperatura. Para hacer esto, este dispositivo requiere energía, la cual puede ser energía mecánica, eléctrica o térmica.

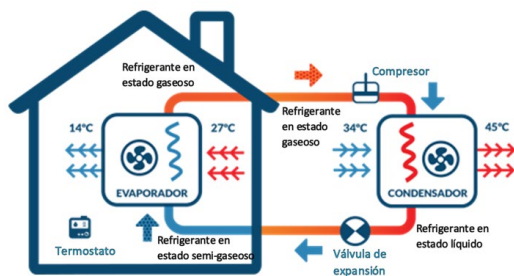


Figura 1 - BC aerotérmica para uso doméstico en configuración de refrigeración.

Tipos de Bombas de Calor Aerotérmicas

Las Bombas de Calor Aerotérmicas son aquellas en que el medio es aprovechado para calentar o enfriar es el **aire exterior**. En el caso de que se utilice para calentar un medio, material o fluido, significa que se está extrayendo calor del aire, y en el caso de que se esté enfriando, el calor extraído se libera al aire exterior. Actualmente se encuentran disponibles para todo público, para que cualquier persona que esté interesada en saber más sobre los precios y características de esta tecnología pueda informarse sin problemas. De acuerdo con

estos estudios, las tecnologías más utilizadas hoy en día en Chile en el área de aerotermia corresponden a las siguientes:

- Equipos Split.
- Bombas de Calor Compactas para ACS.
- Bombas de Calor Reversibles para Clima y ACS.
- Bombas de Calor Industriales para Generación de Calor

Los **Equipos Split** son BC que se usan para climatizar ambientes, principalmente para aplicaciones residenciales y en algunos casos se pueden usar para fines comerciales. Estos dispositivos tienen la característica de ser sistemas fragmentados, ya que cuentan con una unidad interior que se instala en el espacio que se quiere climatizar, y una unidad exterior en una zona donde se pueda realizar el intercambio de calor con el aire ambiente.



Figura 2 - Bomba de Calor Aerotérmica tipo Split, unidad interior y exterior. Fuente: (PERU, 2021)⁹.

Las **Bombas de Calor Compactas para ACS** son equipos que utilizan el calor presente en el aire para calentar agua sanitaria para diversos usos domésticos, como, por ejemplo, duchas, lavado de ropa, lavado de loza, etc. En la

⁹ AIRCON PERÚ. (2021). AIRCON PERÚ. Lima, Perú.

siguiente figura se pueden ver tres diferentes configuraciones para BC aerotérmicas para la producción de ACS, en las cuales varía si la BC está dividida en diferentes partes y si es que está o no separada del acumulador de agua. Independiente de la configuración que se analice, el intercambio de calor siempre se lleva a cabo en la bomba de calor como era de esperar.

Sistema Compacto



Figura 3 - Sistema compacto. Fuente: (S. Harfagar, 2016)¹⁰. Imagen adaptada.

El **sistema compacto** puede ser instalado tanto en interior como en el exterior del lugar. El equipo está constituido por una bomba de calor, localizada en la parte superior, y por un acumulador de agua en la parte inferior. Estos equipos, como su nombre lo dice, tienen la ventaja de ser compactos y fáciles de instalar. Su tamaño depende únicamente de la cantidad de agua que se quiere calentar y solo pueden producir ACS.

Sistema Semi-Compacto

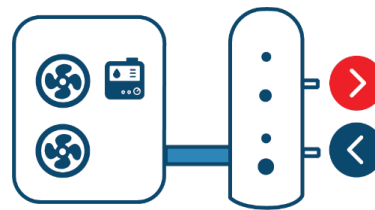


Figura 4 - Sistema semi-compacto. Fuente: (S. Harfagar, 2016). Imagen adaptada

En el **sistema semi-compacto**, la BC está separada del acumulador de agua, por lo tanto, puede ser instalada en diferentes partes. Por ejemplo, la BC puede estar en el exterior del lugar y el acumulador en el interior en una bodega o subterráneo. Este tipo de dispositivos pueden utilizarse tanto para producir agua caliente sanitaria como para alimentar un sistema de calefacción por loza radiante.

Sistema No-Compacto

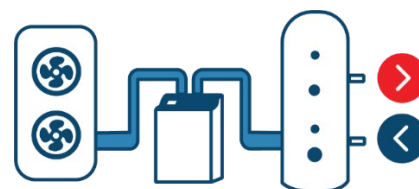


Figura 5 - Sistema No-compacto. Fuente: (S. Harfagar, 2016). Imagen adaptada.

Los sistemas **no-compactos** se caracterizan por dividir en dos componentes la bomba de calor, el compresor y el evaporador. Por un lado, el compresor es el que hace circular el refrigerante dentro del ciclo de la BC, mientras que en el evaporador es donde absorbe calor del medio ambiente. Estos equipos pueden ser

¹⁰ Harfagar, S. (2018). Explorador de Aerotermia, Bombas de Calor Aerotérmicas para agua caliente sanitaria y

calefacción. Santiago, Chile.

utilizados para generar agua caliente sanitaria, para calefacción por loza radiante, y también pueden integrarse con otras tecnologías de energías renovables como lo son las Bombas de Calor Geotérmicas y los sistemas solares térmicos (Stemmer.)¹¹.

Las **bombas de calor aerotérmicas reversibles para Clima y ACS** tienen la opción de proveer calefacción o refrigeración dependiendo de la necesidad del usuario. Los equipos reversibles cuentan con un dispositivo auxiliar llamado válvula de cuatro vías, el cual permite revertir la funcionalidad de la BC según sea la necesidad de frío o calor que se tenga en el lugar. De manera adicional, como lo dice su nombre, estos equipos también tienen la facultad de generar agua caliente sanitaria para usos domésticos.



Figura 6 - Bomba de calor aerotérmica reversible para clima y ACS. Fuente: (AUNA Distribución, 2020)¹²

¹¹ Stemmer., S. i. (s.f.). *Bomba de Calor Geotérmica industrial para generación de calor,*

¹² AUNA Distribución. (15 de julio de 2020). *Solución de aerotermia TECNA: La bomba de calor reversible aire-agua TECNA SABIANA ENERGY GENIUS.* Obtenido de AUNA Distribución: <https://www.aunadistribucion.com/blog/solucion-de-aerotermia-tecna-la-bomba-de-calor-reversible-aire-agua-tecna-sabiana-energy-genius/>

Las **Bombas de Calor Industriales para Generación de Calor** tienen como función principal producir agua caliente de para uso industrial. En términos generales, estas BC industriales tienen mecanismos de operación más complejos que las utilizadas en aplicaciones residenciales y comerciales, en especial debido a que se busca alcanzar temperaturas más altas (cercas a los 100 °C). Estos equipos son utilizados para una gran variedad de aplicaciones y pueden alcanzar potencias desde los 50 kW a 150 kW térmicos, hasta varios MW térmicos (GmbH, Informe Final: Estudio de Mercado de Bombas de Calor Geotérmicas y Aerotérmicas en Chile, 2019)¹³.



Figura 7 - Bomba de calor aerotérmica de uso industrial. Fuente: (EMERSON, 2022)¹⁴

Por último, también es importante mencionar los diferentes sistemas emisores que existen en el mercado actual. Tanto las bombas de calor

¹³ GmbH, D. G. (2019). Informe Final: Estudio de Mercado de Bombas de Calor Geotérmicas y Aerotérmicas en Chile. Santiago, Chile.

¹⁴ EMERSON. (2022). *Bombas de Calor Industriales.* Obtenido de EMERSON Climate Technologies: <https://climate.emerson.com/es-es/products/refrigeration/industrial-heat-pumps>

aerotérmicas como las geotérmicas cuentan con unidades interiores o terminales, las cuales corresponden a equipos que transfieren el calor dentro del recinto que se quiere climatizar. Los sistemas emisores más utilizados hoy en día son los siguientes:

- Radiadores
- Suelo radiante
- Fan Coil2



Figura 8 - Sistemas emisores, suelo radiante (izquierda) y radiadores (derecha). Fuente: (INSTAPRO, 2019)¹⁵

Tipos de Bombas de Calor Geotérmicas

Las Bombas de Calor Geotérmicas aprovechan como fuente de calor la energía térmica contenida en la **tierra del subsuelo y/o en los cuerpos de agua**, pudiendo extraer o disipar calor de esta. En cuanto a sus aplicaciones, son utilizadas principalmente en el sector residencial, comercial e industrial, y al igual que las bombas de calor aerotérmicas, estos equipos pueden entregar calefacción, refrigeración y generar ACS.

Dichas bombas se pueden instalar en diferentes configuraciones, algunas de las más usadas son en **circuito cerrado** y en **circuito abierto**. La primera configuración utiliza una red cerrada de tuberías (o colector) que extrae calor desde el subsuelo o fuente hídrica. En la segunda, el calor se transporta directamente desde el subsuelo o una fuente de agua superficial o subterránea, sin utilizar un circuito de tuberías adicional (S. Harfagar, 2016)¹⁶, ((ATECYR), 2010)¹⁷.

Los sistemas instalados con **circuito cerrado** utilizan una red de tuberías para captar (o liberar) el calor. Esto se hace mediante la utilización de un fluido secundario que circula por la red de tuberías, el cual transfiere posteriormente este calor al ciclo de la bomba (Building Performance Center, 2011)¹⁸. Este tipo de instalación puede ser clasificado de acuerdo con la disposición de la red de tuberías enterradas bajo tierra, estas configuraciones pueden ser las siguientes:

- **Red Horizontal:** Es la configuración más sencilla, en general se usan para instalaciones de baja potencia y con grandes extensiones de terreno disponible. La profundidad del circuito varía entre los 60 centímetros y los cinco metros (Arnabat, 2015)¹⁹. Al tener bajas profundidades, la eficiencia del sistema es menor que en comparación con otras

¹⁵ INSTAPRO. (2019). *Calefacción por Suelo Radiante*. Obtenido de INSTAPRO: <https://www.instapro.es/precio-suelo-radiante/>

¹⁶ Harfagar, S. (2018). *Explorador de Aerotermia, Bombas de Calor Aerotérmicas para agua caliente sanitaria y calefacción*. Santiago, Chile.

¹⁷ (ATECYR), A. T. (2010). *Guía Técnica: Diseño de sistemas*

de bomba de calor geotérmicas. Madrid, España,.

¹⁸ Building Performance Center, D. o. (2011). , *Acoustic noise measurements of air source heat pumps*. Edinburgh.

¹⁹ Arnabat, I. (2015). *Funcionamiento de la bomba de calor para calefacción y agua caliente*. Calor y Frío.

configuraciones, ya que el terreno se ve afectado en mayor medida por el clima en la superficie, sin embargo, debido a la baja profundidad, el costo de instalación es menor.

- **Red Vertical:** A diferencia de la configuración anterior, estas realizan perforaciones verticales de mayor profundidad en las que se instala la red de tuberías. Esta configuración tiene la ventaja de utilizar menos terreno y tener un rendimiento más alto. Por otro lado, el costo de inversión es mayor debido a la profundidad de la perforación (de 30 a 150 metros) (EHPA, 2014)²⁰. Esta configuración se puede subdividir según la disposición de la red de tuberías, la cual puede ser en serie o en paralelo.

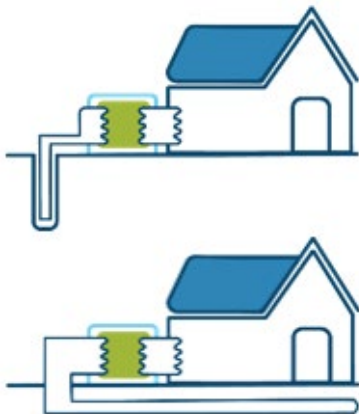


Figura 9 - Esquema de una bomba de calor geotérmica con red de captación vertical (superior) y horizontal (inferior). Fuente: (GmbH, Informe Final: Estudio de Mercado de Bombas de Calor Geotérmicas y Aerotérmicas en Chile, 2019).²¹

- **Intercambiadores Sumergidos:** Se utiliza esta configuración cuando se cuenta con una gran masa de agua disponible, como un lago, un estanque o un río; de esta forma, se sumerge la red de tuberías para aumentar la eficiencia de la transferencia de calor. Respecto al costo, esta configuración presenta una ventaja sobre las demás debido a que no es necesario un proceso de excavación.
- **Intercambiadores Slinky:** Esta configuración se usa cuando no se cuenta con mucho terreno disponible para la instalación. Para abordar esta situación, se utiliza un tubo en espiral, de manera que se instala la mayor cantidad de tuberías en la menor cantidad de terreno posible. Esto implica que se alcancen rendimientos muy altos, pero al mismo tiempo que el costo de inversión incrementa debido a la complejidad del sistema es mayor.

²⁰ EHPA. (2014). Heat Pumps Booklet: Second Edition. Revolve.

²¹ GmbH, D. G. (2019). Informe Final: Estudio de Mercado de Bombas de Calor Geotérmicas y Aerotérmicas en Chile.

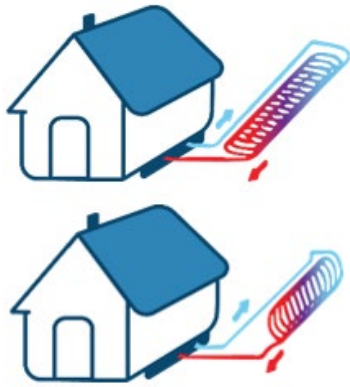


Figura 10 - Intercambiadores Slinky: tipología rizada horizontal (superior) y tipología rizada vertical (inferior). Fuente: (GmbH, Informe Final: Estudio de Mercado de Bombas de Calor Geotérmicas y Aerotérmicas en Chile, 2019).

- **Sistemas Híbridos:** Los sistemas híbridos consisten en sistemas que combinan diferentes configuraciones. Generalmente se implementan cuando las condiciones no son óptimas para implementar el sistema de forma convencional o cuando existen oportunidades para mejorar el rendimiento y las condiciones de operación de la instalación. Los sistemas híbridos más comunes son los circuitos cerrados con estanque de enfriamiento suplementario, los circuitos cerrados apoyados por un colector solar y el lazo cerrado conectado con una torre de enfriamiento (GmbH, Informe Final: Estudio de Mercado de Bombas de Calor Geotérmicas y Aerotérmicas en Chile, 2019).²²

Por otro lado, las bombas de calor instaladas con **circuito abierto** se caracterizan por aprovechar la **energía térmica contenida en agua superficial o subterránea** para suministrar calefacción, refrigeración y/o generar ACS. Estos sistemas generalmente se usan en aplicaciones de gran escala, como por ejemplo en hoteles, hospitales, edificios, e inclusive en sistemas de calefacción distrital. Con respecto a las fuentes hídricas para la implementación de esta tecnología, esta puede utilizar aguas subterráneas, agua de mar, agua de río, agua de lago e incluso agua residual proveniente de procesos industriales. Como consecuencia de la alta complejidad en la implementación de estos equipos y de la interacción con fuentes hídricas naturales, para ejecutar este tipo de proyectos es necesario cumplir con normativas y permisos específicos (GmbH, Informe Final: Estudio de Mercado de Bombas de Calor Geotérmicas y Aerotérmicas en Chile, 2019).

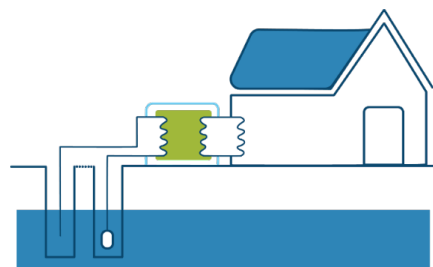


Figura 11 - Circuito abierto que opera en base a agua subterránea. Fuente: esta imagen se adaptó según una imagen de la fuente (GmbH, Informe Final: Estudio de Mercado de Bombas de Calor Geotérmicas y Aerotérmicas en Chile, 2019).

²² GmbH, D. G. (2019). Informe Final: Estudio de Mercado de Bombas de Calor Geotérmicas y Aerotérmicas en Chile.

De acuerdo con lo presentado en el **Índice de Precios y Estudio de Mercado de Bombas de Calor 2019**, las tecnologías de BC geotérmicas más utilizadas en la actualidad son:

- Bombas de Calor Reversibles para Clima.
- Bombas de Calor Reversibles para Clima y ACS.
- Bombas de Calor de Frío y Calor Simultáneo.
- Bombas de Calor Industriales para Generación de Calor

Los primeros dos puntos hacen referencia a Bombas de Calor Geotérmicas Reversibles, las cuales están destinadas a suministrar calefacción y refrigeración. Por un lado, están las BC que únicamente cumplen funciones de climatización, mientras que por el otro, los equipos que son capaces de climatizar ambientes y producir agua caliente sanitaria para usos domésticos.



Figura 12 - Bombas de Calor Geotérmicas Reversibles para Clima (derecha) y para Clima y ACS (izquierda). Fuente: esta imagen se adaptó según una imagen de la fuente (S. Harfagar, 2016)²³

²³ Harfagar, S. (2018). Explorador de Aerotermia, Bombas de Calor Aerotérmicas para agua caliente sanitaria y calefacción. Santiago, Chile.

²⁴ Grasso International. (s.f.). *Direct Industry*. Obtenido de

Las Bombas de Calor Geotérmicas permiten **suministrar calefacción y refrigeración de manera simultánea**. Se usan principalmente para aplicaciones comerciales de climatización o de procesos industriales que, debido a la necesidad específica de contar en cualquier momento del año de frío o calor, ya sea de forma simultánea o independiente.

Finalmente, las **Bombas de Calor Geotérmicas Industriales para Generación de Calor** hacen referencia a los equipos cuya función es producir agua caliente de proceso para uso industrial. En general, estos equipos tienen un costo elevado debido a que tienen que ser diseñados según las especificaciones técnicas del proceso industrial en que se quieren utilizar.



Figura 13 - Bomba de Calor Geotérmica. Fuente: (Grasso International, n.d.)²⁴

Ejemplos de proyectos

Para tener una mejor idea del alcance, los beneficios, y algunos de los parámetros más importantes a la hora de implementar una BC, se presentan algunos ejemplos de proyectos reales de bombas de calor en Chile:

Grasso International:
<https://www.directindustry.es/prod/grasso-international/product-17563-1713501.html>

International:

Ejemplo 1: Hogar de las Hermanitas de los Pobres, Concepción, Chile.

Sector	Servicios comunitarios
Tipo de establecimiento	Hogar de ancianos de escasos recursos
Año de instalación	2011
Número de personas en el recinto	90 + 30 personas del cuerpo de trabajo
Tipo de bomba de calor	Aerotérmica para ACS y Geotérmica Reversible
Aplicación	ACS y calefacción
Sistema de distribución	Piso radiante para la calefacción
Área de climatización	7500 m ²
Aislación térmica	Si
Empresa instaladora	Enalteco Ltda
Fuente de energía / Sumidero de la BC geotérmica	Napas superficiales
Número de pozos / Profundidad	40 pozos de 20 a 30 [m] de profundidad
Temperatura de diseño para la calefacción	32°C
Número de compresores	12
Potencia eléctrica	5 kW c/u
Potencia térmica	20 kW
Capacidad de producción simultanea (calefacción)	200 kW
Fluido refrigerante	Agua / glicol lubric. (bombas)
COP BC geotérmica	4
Costo total de inversión	\$80.000.000 (pesos chilenos)
Método de financiamiento	Financiamiento propio
Gastos anuales de operación	\$1.000.000 (pesos chilenos)
Ahorro generado anual	70%
Tiempo de retorno	4 años

Tabla 1. Caso de éxito: Hogar de las Hermanitas de los Pobres, Concepción, Chile. Fuente: (S. Harfagar, 2016)²⁵.



Figura 14 - Hogar de las Hermanitas de los Pobres, Concepción, Chile. (Berg, 2019)

²⁵ Harfagar, S. (2018). Explorador de Aerotermia, Bombas de Calor Aerotérmicas para agua caliente sanitaria y

Ejemplo 2: Unifrutti, Chile

Santiago, Chile	Productivo – Industrial
Tipo de establecimiento	Planta industrial de packing de alimentos
Fuente de calor	Agua para enfriar los compresores de la planta (agua caliente residual)
Año de instalación	Enero de 2012
Tipo de bomba de calor	Geotérmica
Aplicación	Calentar agua para las duchas del personal y casino
Empresa instaladora	Enativa
Marca de equipo	Deron
Potencia térmica	20 kWt
COP BC geotérmica	3,5 en promedio
Costo total de inversión	\$11.767.000 pesos chilenos sin IVA
Ahorro generado anual	38% (alrededor de \$400.000 pesos chilenos mensuales)

Tabla 2. Caso de éxito: Unifrutti. Fuente: elaboración propia.



Figura 15 - Bomba de Calor, Unifrutti, Chile. Fuente: (Unifrutti)²⁶

Ejemplos de Implementación

En esta sección se presentan 2 ejemplos prácticos, uno para una bomba de calor geotérmica y otro para una aerotérmica. En estos, se busca entregar una guía al usuario para **estimar el costo** de un equipo de climatización y/o ACS según las características de un lugar determinado y utilizando el **Índice de Precios y la Lista de Proveedores de Bombas de Calor**.

calefacción. Santiago, Chile.

²⁶ Unifrutti. (s.f.). *Bomba de Calor*. Chile

Es importante mencionar que para dimensionar y elegir un sistema de bombas de calor apropiado para un cierto lugar, se requiere de información muy precisa y **se recomienda siempre asesorarse previamente con un especialista**. Esto debido a que la capacidad que tienen estos equipos para calentar o enfriar un espacio y/o fluido varía según una serie de factores, tales como la región en donde se instale la bomba, la orientación del lugar (norte/sur), el tipo de construcción, el número de personas, la aislación térmica, el tamaño de las ventanas y demás factores a considerar.

En el **Índice de Precios** definen una serie de indicadores para clasificar las diferentes tecnologías de bombas de calor disponibles. Estos indicadores permiten caracterizar por una parte el precio esperado de una instalación, así como los costos de mantención preventiva esperados para su futura operación.

Ejemplo 1: Proyecto bomba de calor geotérmica reversible de circuito abierto con sistemas de emisión en base a losa radiante

Para este ejemplo se deben considerar cuatro indicadores principales para estimar el costo del proyecto: el precio del equipo por tecnología, el costo de instalación de la BC, el precio de instalación del sistema de captación y el precio del equipo e instalación del sistema de emisión.

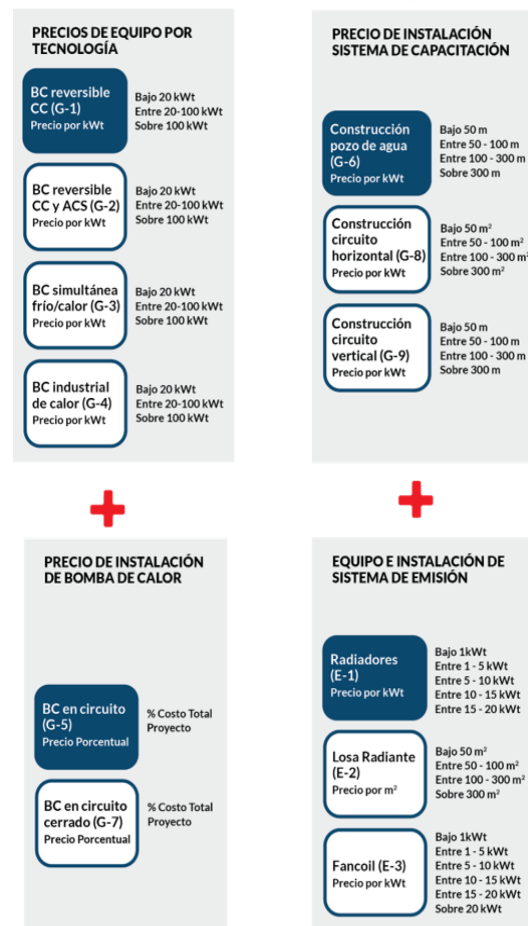


Figura 16 - Indicadores a considerar para la estimación del costo de implementación de una BC geotérmica. Fuente: (GmbH, Informe Final: Estudio de Mercado de Bombas de Calor Geotérmicas y Aerotérmicas en Chile, 2019).²⁷

Se asume una Bomba de Calor Geotérmica Reversible para calefacción de circuito de ciclo abierto de 24 kW térmicos. Además, se considera que la superficie a calefaccionar está compuesta por 12 recintos de 20 m² cada uno, lo que sería un total de superficie de 240 m², y que el pozo de agua tiene una profundidad de 30 m (GmbH, Índice de Precios de Bombas de Calor

²⁷ GmbH, D. G. (2019). Informe Final: Estudio de Mercado de Bombas de Calor Geotérmicas y Aerotérmicas en Chile.

Santiago, Chile.

Geotérmicas y Aerotérmicas en Chile, 2019)²⁸. Tomando esto en cuenta, para estimar el costo total del proyecto se consideran las medianas que se obtienen del **Índice de Precio de Bombas de Calor** de los cuatro indicadores destacados en azul, obteniendo el siguiente resultado:

Índice G-1	\$207.019 CLP /kWt x 24 kWt = \$4.968.456
Índice G-5	40% del costo total
Índice G-6	\$110.000 CLP /m.l. x 30 m.l. = \$3.300.000
Índice E-2	\$26.500 CLP /m2 x 12 x 20 m2 = \$6.340.000
Subtotal	\$14.628.456
Consta Instalación (G-5)	Costo instalación (G-5): 40% * \$14.628.456 = \$ 5.851.382
Total	\$20.479.838

Tabla 3. Desglose de precios de un proyecto bomba de calor geotérmica reversible de circuito abierto con sistemas de emisión en base a losa radiante. Fuente: (GmbH, Índice de Precios de Bombas de Calor Geotérmicas y Aerotérmicas en Chile, 2019)

Ejemplo 2: Proyecto Split + bomba de calor individual de ACS.

Para este ejemplo, también se consideran cuatro indicadores dentro del costo total del proyecto: dos que cuentan el precio de equipo por tecnología (dos bombas de calor) y dos que cuentan el precio de instalación de cada bomba.

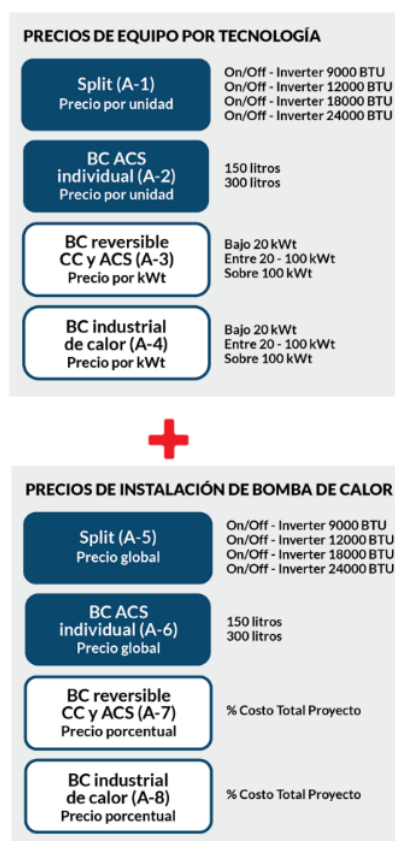


Figura 17 - Indicadores a considerar para la estimación del costo de implementación de un proyecto de BC aerotérmica. Fuente: (GmbH, Índice de Precios de Bombas de Calor Geotérmicas y Aerotérmicas en Chile, 2019)

Para este ejemplo se asume una vivienda particular que requiere instalar un equipo Split de 18.000 BTU³ para climatizar un espacio de 30 m² aproximadamente (Anwo, 2018-2019.), y una bomba de calor aerotérmica para ACS de 300 litros. Para estimar el costo total del proyecto se consideran las medianas de los cuatro indicadores destacados en azul, obteniendo el siguiente resultado:

²⁸ GmbH, D. G. (2019). Índice de Precios de Bombas de Calor Geotérmicas y Aerotérmicas en Chile. Santiago, Chile.

Índice A-1	\$419.952
Índice A-2	\$1.700.000
Índice A-5	\$135.000
Índice A-6	\$200.000
TOTAL	\$2.454.952

Tabla 4. Desglose de precios de un proyecto bombas de calor aerotérmicas (Split + BC individual de ACS).

Fuente: (Unifrutti)²⁹.

Ejemplo 3: Climatización en Hotel Westin

Estado Actual

El hotel Westin cuenta con un sistema de climatización parcial de tipo geotérmico, ya que la enfriadora (chiller) en operación posee su ciclo de condensación contra un pozo de agua subterránea. Esto corresponde a un sistema de ciclo abierto que permite climatizar las habitaciones del hotel.

Usa parcialmente el calor, ya que solo se utiliza para enfriar, no para la generación de agua caliente sanitaria, que actualmente se obtiene por medio de calderas tradicionales que no funcionan con energía verde.

Características geotérmicas

El Hotel Westin dispone actualmente de un sistema de enfriamiento en base a una bomba de calor (chiller – solo frío) de tipo geotérmico de ciclo abierto. En este sistema se extrae agua de un pozo subterráneo a 26 °C mediante una bomba hidráulica, la cual llega a un

intercambiador disipando el calor proveniente del chiller e incrementando su temperatura hasta unos 31 °C, para posteriormente ser reinyectada a un segundo pozo subterráneo volviendo el agua al acuífero.

Beneficios del proyecto

A nivel económico: Eliminar el uso de dos calderas al 100 % que consumen derivados del petróleo y que es caro en República Dominicana.

A nivel ambiental: se contribuye a la disminución de los gases de efecto invernadero al utilizar energía limpia.

Se aprovecha el calor remanente de los chillers que enfrían el edificio y con una bomba de calor geotérmica se eleva la temperatura hasta 70 °C para el agua caliente sanitaria.

La bomba consume menos energía eléctrica, que puede ser suministrada por un sistema solar fotovoltaico que otorgue independencia al agua caliente sanitaria. Esto contribuye a disminuir la huella de carbono.

Descripción de solución / oportunidad

Se puede aprovechar para incrementar la temperatura proveniente del chiller alrededor de 70 °C, necesarios para el agua caliente sanitaria, por medio de la bomba de calor para hacer más eficiente energéticamente el suministro de todo el hotel (GmbH, Kit de modelos de negocio, 2022).³⁰

²⁹ Unifrutti. (s.f.). *Bomba de Calor*. Chile.

³⁰ GmbH, D. G. (2022). *Kit de modelos de negocio*. San Salvador, El Salvador.

Referencias

- (ATECYR), A. T. (2010). Guía Técnica: Diseño de sistemas de bomba de calor geotérmicas. Madrid, España,.
- AFEC. (2019). *Bombas de Calor*. Obtenido de Asociación de Fabricantes de Equipos de Climatización: www.bombadecolor.org/consumidor/preguntas-frecuentes/
- AIRCON PERÚ. (2021). AIRCON PERÚ. Lima, Perú.
- Anwo. (2018-2019.). «Catálogo General de Productos, Aire Acondicionado,» . Santiago, Chile,.
- Arnabat, I. (2015). Funcionamiento de la bomba de calor para calefacción y agua caliente, . Calor y Frío.
- AUNA Distribución. (15 de julio de 2020). *Solución de aerotermia TECNA: La bomba de calor reversible aire-agua TECNA SABIANA ENERGY GENIUS*. Obtenido de AUNA Distribución: <https://www.aunadistribucion.com/blog/solucion-de-aerotermia-tecna-la-bomba-de-calor-reversible-aire-agua-tecna-sabiana-energy-genius/>
- Berg, A. P. (2019). Heat pump performance. Porirua, New Zealand.
- Building Performance Center, D. o. (2011). , Acoustic noise measurements of air source heat pumps . Edinburgh.
- caifas., S. i. (s.f.). *[Bomba de Calor Geotérmica de frío y calor simultaneo*.
- EHPA. (2014). Heat Pumps Booklet: Second Edition. Revolve.
- EMERSON. (2022). *Bombas de Calor Industriales*. Obtenido de EMERSON Climate Technologies: <https://climate.emerson.com/es-es/products/refrigeration/industrial-heat-pumps>
- GIZ, T. D. (15 de julio de 2022). Kits Modelo de Negocios.
- GmbH, D. G. (2019). Informe Final: Estudio de Mercado de Bombas de Calor Geotérmicas y Aerotérmicas en Chile. Santiago, Chile.
- GmbH, D. G. (2019). Índice de Precios de Bombas de Calor Geotérmicas y Aerotérmicas en Chile. Santiago, Chile.
- GmbH, D. G. (2022). Kit de modelos de negocio. San Salvador, El Salvador.
- Grasso International. (s.f.). *Direct Industry*. Obtenido de Grasso International: <https://www.directindustry.es/prod/grasso-international/product-17563-1713501.html>
- Grundfos. (2018). *Grundfos*. Recuperado el 29 de 08 de 2022, de [https://www.grundfos.com/es/learn/research-and-insights/coefficient-of-system-performance#:~:text=El%20coeficiente%20de%20rendimiento%20\(COP,suministrada%20al%20compresor%20\(W\)](https://www.grundfos.com/es/learn/research-and-insights/coefficient-of-system-performance#:~:text=El%20coeficiente%20de%20rendimiento%20(COP,suministrada%20al%20compresor%20(W))
- Harfagar, S. (2018). Explorador de Aerotermia, Bombas de Calor Aerotérmicas para agua caliente sanitaria y calefacción. Santiago, Chile.
- hxdyl., S. i. (s.f.). *Bomba de Calor Aerotérmica*

- de uso industrial.*
- Idoia Arnabat. (11 de junio de 2019). *Aire acondicionado con aerotermia ¿Qué es y cómo funciona?* Obtenido de Calor y Frío:
<https://www.caloryfrio.com/aire-acondicionado/aire-acondicionado-domestico/aire-acondicionado-aerotermia-que-es-como-funciona-infografia.html>
- INSTAPRO. (2019). *Calefacción por Suelo Radiante.* Obtenido de INSTAPRO:
<https://www.instapro.es/precio-suelo-radiante/>
- Nordic. (2015). *Nordic Heating Cooling.* Obtenido de Maritime Geothermal:
<https://www.nordicghp.com/2016/06/air-to-water-heat-pump-noise/>
- PERU, A. (2021). <https://aircon.pe/aire-acondicionado/>.
- S. Harfagar, D. G. (2016). Estado de desarrollo de proyectos de bombas de calor geotérmicas instalados en Chile . Santiago, Chile.
- Stemmer., S. i. (s.f.). *Bomba de Calor Geotérmica industrial para generación de calor,*.
- Unifrutti. (s.f.). *Bomba de Calor.* Chile.
- vipman., S. i. (s.f.). *Bomba de Calor Aerotérmica tipo Split, unidad interior y exterior.*