



Deutsche Gesellschaft
für Internationale
Zusammenarbeit (GIZ) GmbH

En el marco del proyecto

NAMA CHILE

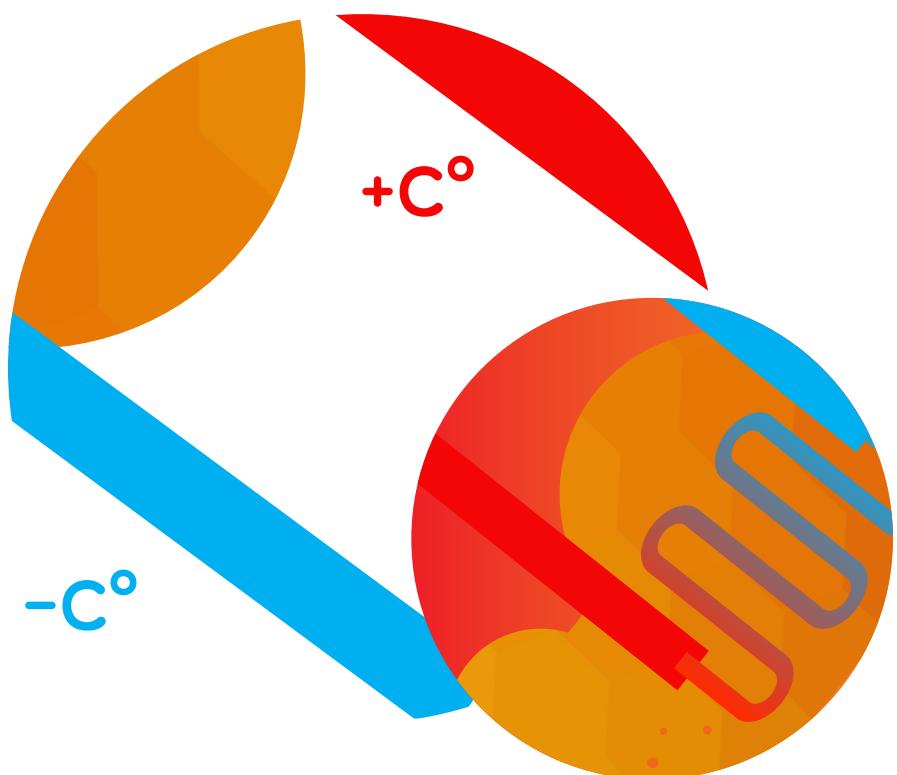
Energías Renovables
para Autoconsumo



Gobierno de Chile

BOMBAS DE CALOR

Una Guía para el Usuario



On behalf of



Federal Ministry for the
Environment, Nature Conservation
and Nuclear Safety



Department for
Business, Energy
& Industrial Strategy



NAMA Facility

**Edición:**

Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH
Friedrich-Ebert-Allee 40
53113 Bonn • Alemania
Dag-Hammarskjöld-Weg 1-5
65760 Eschborn • Alemania
www.giz.de

Nombre del Proyecto:

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

Responsable:

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

Título:

Bombas de Calor: Una Guía para el Usuario

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.

Santiago de Chile, agosto de 2020.



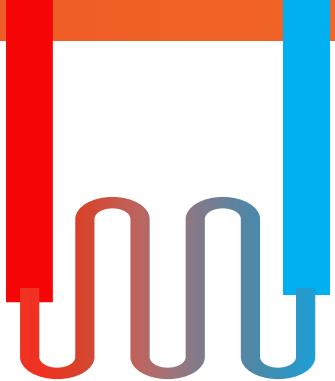
Aclaración:

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.

Tabla de Contenidos

Introducción	5
Aplicaciones de las Bombas de Calor	6
Ventajas	7
Desventajas	7
¿Cómo Funciona una Bomba de Calor?	8
Tipos de Bombas de Calor Aerotérmicas	9
Tipos de Bombas de Calor Geotérmicas	13
Ejemplo de Proyectos	17
Ejemplos de Implementación	19
Bibliografía	21



Introducción

La Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH, en el marco del Proyecto de Apoyo a la NAMA, “Energías Renovables para el Autoconsumo en Chile”, ha desarrollado en conjunto con el Ministerio de Energía esta guía.

El proyecto tiene como uno de sus objetivos impulsar el uso de tecnologías renovables para el autoconsumo energético en diferentes sectores comerciales e industriales en Chile.

Chile tiene potencial para el uso de las bombas de calor tanto geotérmicas como aerotérmicas. La implementación de esta tecnología puede aportar con reducciones en el uso de combustibles fósiles, y así evitar la emisión de gases de efecto invernadero (GEI).

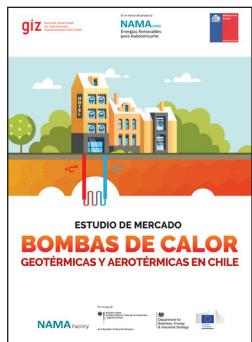
El objetivo de esta guía es ser una primera aproximación a estas tecnologías por parte del usuario, esperando complementar otras publicaciones que se indicarán a continuación.

A inicios de 2020, la GIZ y el Ministerio de Energía publicaron el primer Estudio de Mercado de Bombas de Calor Geotérmicas y Aerotérmicas, el cual busca colaborar con el desarrollo de esta tecnología mediante la caracterización y el análisis del mercado de bombas de calor en el país.

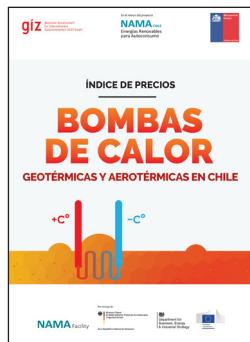
Para más información sobre energías renovables para autoconsumo, pueden revisarse los siguientes sitios web:

- Programa 4e “Energías renovables y eficiencia energética” en Chile: www.4echile.cl/nama
- Ministerio de Energía: <http://www.minenergia.cl/autoconsumo/>

Estudio de Mercado de Bombas de Calor



Índice de Precios de Bombas de Calor



Lista de Proveedores



Ejemplo de implementación de BdC en la Viña Maquis



En la versión digital se pueden descargar los documentos haciendo click en las imágenes.

Aplicaciones de las Bombas de Calor

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

Se debe tener en cuenta que, si bien tanto las BdC aerotérmicas como las geotérmicas se pueden emplear en varias aplicaciones, estas poseen diferentes 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 BdC aerotérmica y una geotérmica va a depender de las características y la escala del proyecto. Por ejemplo, las BdC 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 BdC:

- **Climatización de frío o calor, a través de pequeñas instalaciones** en viviendas unifamiliares, multifamiliares, locales comerciales u hostales pequeños. Para este tipo de aplicaciones de pequeña escala es más recomendable utilizar BdC aerotérmicas.
- **Climatización de espacios de gran escala**, como en edificios de varios pisos, edificios de oficinas, en grupos de viviendas/edificios, terminales de aeropuertos, escuelas, centros comerciales, supermercados, hoteles, hospitales, clínicas, colegios, instalaciones deportivas, etc. En estas aplicaciones se pueden usar BdC aerotérmicas y geotérmicas.
- **Procesos de refrigeración y congelamiento** (espacios, vitrinas, cámaras, etc.).
- **Calentamiento de agua/fluidos de procesos** (hasta 90°C con bombas de alta temperatura, hasta 60°C con bombas "normales"). Para este punto se tienen muchísimas operaciones industriales compatibles (textiles, alimentos, minería, etc.).
- **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.



Figura 1: Bomba de calor industrial.
Fuente [1]: EnvatoElements image by saoirse2010.



Figura 2: Bomba de calor residencial.
Fuente [2]: iStockphoto image by KangeStudio.

Ventajas

Los principales beneficios que otorgan las BdC van desde una mayor eficiencia energética 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 coeficiente de rendimiento (COP¹), el cual varía aproximadamente entre dos y cuatro en las bombas aerotérmicas, y entre tres y cinco en las geotérmicas [Fuentes: 1, 2]. 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 proyectos ubicados a lo largo de todo Chile.
- En el caso de las BdC geotérmicas, estas 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 BdC va desde los 20 a los 25 años [3].
- 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 energías renovables para disminuir la emisión de gases de efecto invernadero.

Desventajas

- La inversión inicial de las BdC 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 otras tecnologías.
- En el caso de las BdC 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 cuenten con algún sistema que utilice ventiladores, como los Fan Coil por ejemplo [4, 5].
- La eficiencia de las BdC 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 [6, 7].
- Es importante mencionar que, si bien las BdC son equipos con una alta eficiencia energética, estas 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.

¹Este indicador entrega la relación entre la energía térmica disponible para climatizar un ambiente (o calentar un fluido) y la energía consumida por el compresor. Mientras más alto sea el COP, mayor será la eficiencia de la BdC y por ende los costos de operación serán más bajos.

¿Cómo Funciona una Bomba de Calor?

Una BdC es un equipo mecánico que transfiere calor de un lugar a otro. 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.

En la mayoría de las BdC 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 siguiente figura se presenta un ejemplo de operación de una BdC en modo refrigeración. Adicionalmente, las BdC también pueden ser usadas para calefacción y para generar ACS.

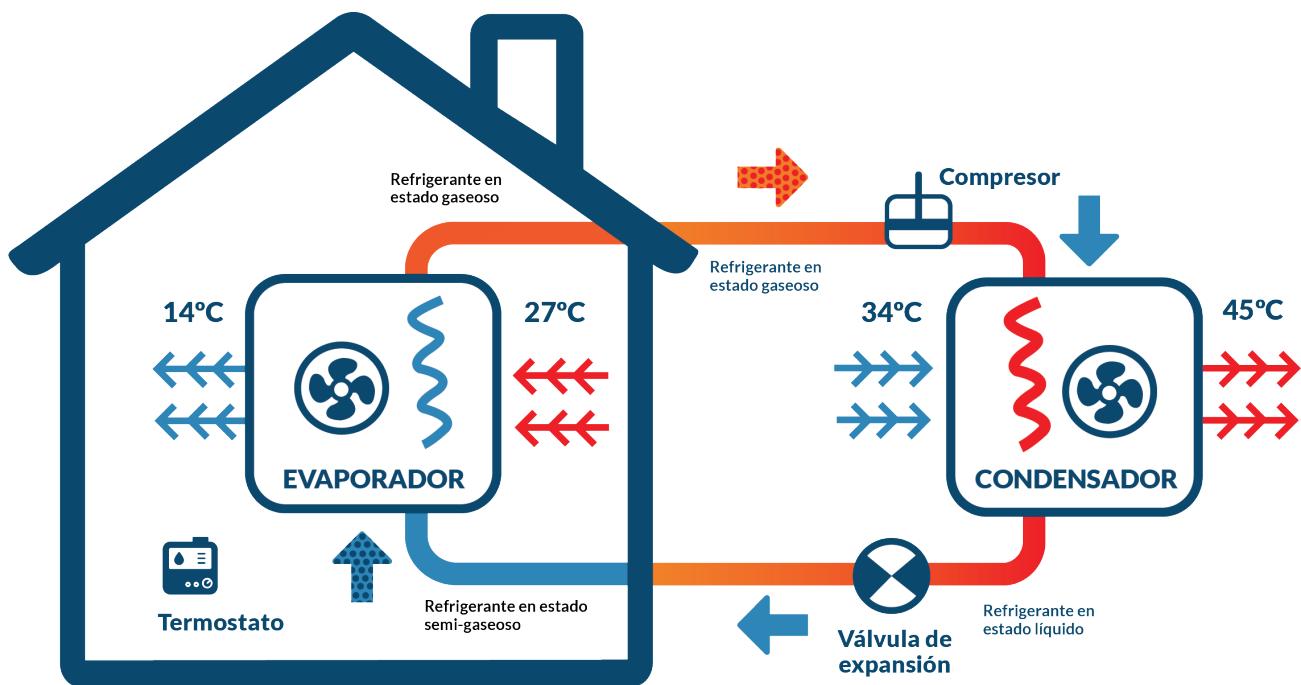


Figura 3: Configuración de una bomba de calor aerotérmica para uso doméstico en modo refrigeración.

Tipos de Bombas de Calor Aerotérmicas

Las Bombas de Calor Aerotérmicas son aquellas en que el medio 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 un **Índice de Precios** y un **Estudio de Mercado de Bombas de Calor**, 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 en el área de aerotermia corresponden a:

- 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 BdC que se usan para climatizar ambientes, principalmente para aplicaciones residenciales y en algunos casos 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.

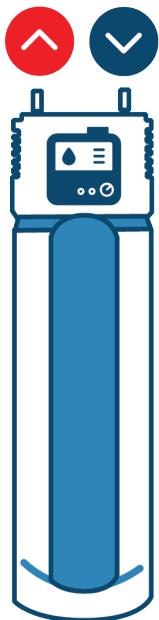


Figura 4: Bomba de Calor Aerotérmica tipo Split, unidad interior y exterior. Fuente [3]: Shutterstock image by vipman.



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 siguiente figura se pueden ver tres diferentes configuraciones para BdC aerotérmicas para la producción de ACS, en las cuales varía si la BdC 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.

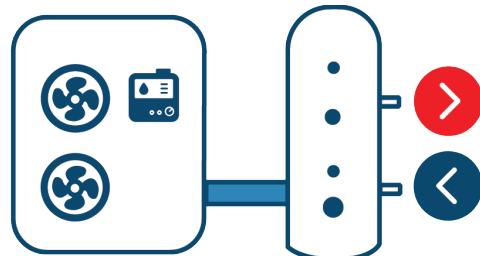
I Sistema Compacto



El **sistema compacto** puede ser instalado tanto en interior como en el exterior del recinto. 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.

Figura 5a: Sistema compacto. Fuente: esta imagen se adaptó según una imagen de la fuente [19].

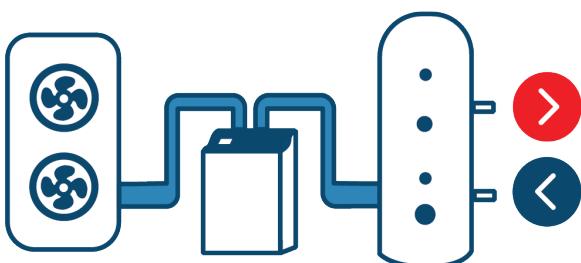
II Sistema Semi-Compacto



En el **sistema semi-compacto**, la BdC está separada del acumulador de agua, por lo tanto, puede ser instalado en diferentes partes. Por ejemplo, la BdC puede estar en el exterior del recinto 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.

Figura 5b: Sistema semi-compacto. Fuente: esta imagen se adaptó según una imagen de la fuente [19].

III Sistema No-Compacto



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 BdC, mientras que en el evaporador es donde absorbe calor del medio ambiente. Estos equipos pueden ser 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 [8].

Figura 5c: Sistema no-compacto. Fuente: esta imagen se adaptó según una imagen de la fuente [19].

Las **bombas de calor aerotérmicas reversibles para Clima y ACS** tienen la opción de suministrar 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 BdC según la necesidad de frío o calor que se tenga en el recinto. De manera adicional, como lo dice su nombre, estos equipos también tienen la facultad de generar agua caliente sanitaria para usos domésticos.



Figura 6: Bombas de calor aerotérmicas reversibles para clima y ACS. Fuente [4]: Shutterstock image by caifas.

Las **Bombas de Calor Industriales para Generación de Calor** tienen como función principal producir agua caliente de proceso para uso industrial. En términos generales, estas BdC 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 (cerca de los 100 °C). Estos equipos son utilizados para una gran variedad de aplicaciones y pueden alcanzar potencias desde los 50 - 150 kW térmicos, hasta varios MW térmicos [20].



Figura 7: Bomba de calor aerotérmica de uso industrial. Fuente [5]: Shutterstock image by hxndl.

Por último, también es importante mencionar los diferentes sistemas emisores que existen en el mercado actual. Tanto las bombas de calor 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 [6]: Shutterstock image by vipman.



²Un "Fan Coil" es un equipo compacto que forma parte de un sistema de climatización. Está formado por un ventilador y por un intercambiador de calor que puede usarse para calefaccionar o refrigerar un ambiente.

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 en ella. En cuanto a sus aplicaciones, son utilizadas 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.

Éstas bombas se pueden instalar en diferentes configuraciones, algunas de las más usadas son en **círculo cerrado** y en **círculo abierto**. La primera configuración utiliza una red cerrada de tuberías (o colector) que extrae (o cede) 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 [21, 22].

Los sistemas instalados con **círculo 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 [14]. Este tipo de instalación puede ser clasificado de acuerdo con la disposición de la red de tuberías enterradas bajo tierra, estas configuraciones pueden ser:

- **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 [24]. Al tener bajas profundidades, la eficiencia del sistema es menor que las otras 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) [11]. Esta configuración se puede subdividir según la disposición de la red de tuberías, la cual puede ser en serie o en paralelo.

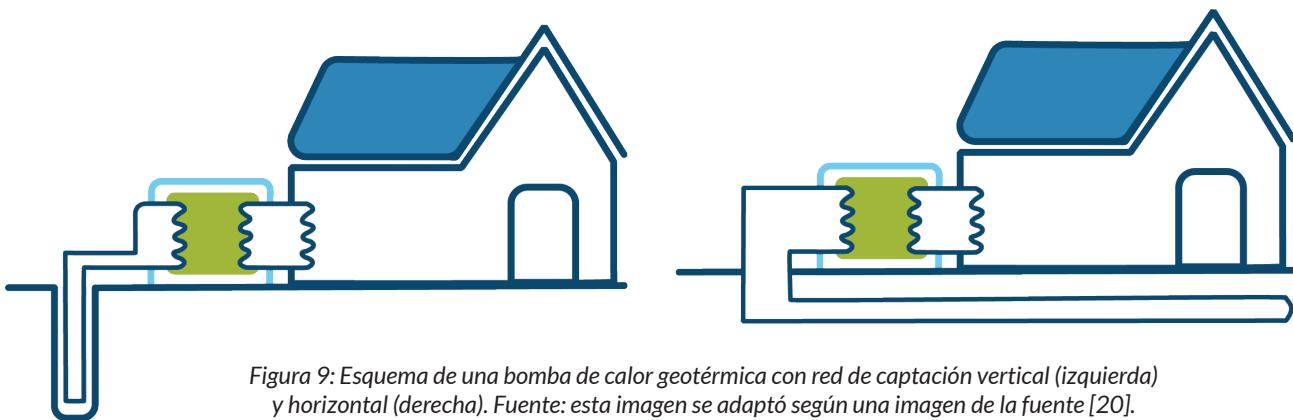


Figura 9: Esquema de una bomba de calor geotérmica con red de captación vertical (izquierda) y horizontal (derecha). Fuente: esta imagen se adaptó según una imagen de la fuente [20].

- **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 el 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 incremente debido a la complejidad del sistema.

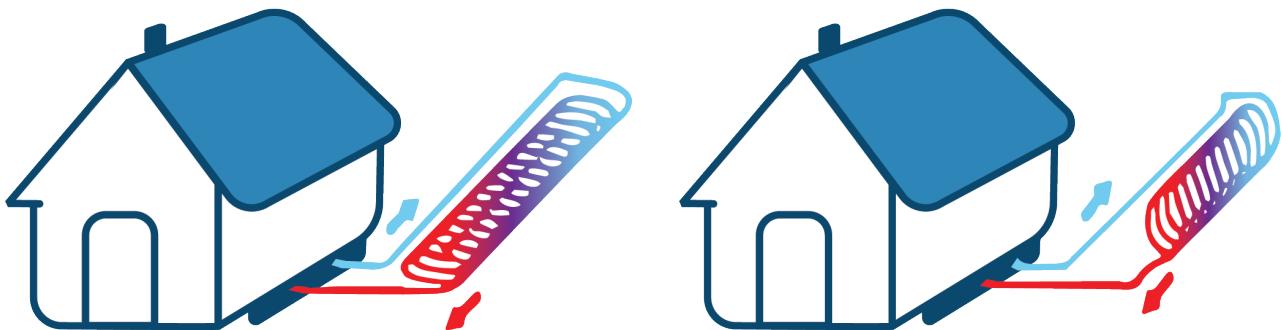


Figura 10: Intercambiadores Slinky: tipología rizada horizontal a la izquierda y tipología rizada vertical a la derecha. Fuente: esta imagen se adaptó según una imagen de la fuente [20].

- **Sistemas Híbridos:** Los sistemas híbridos consisten en sistemas que combinan diferentes configuraciones y/o tecnologías. 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 [20].

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 [20].

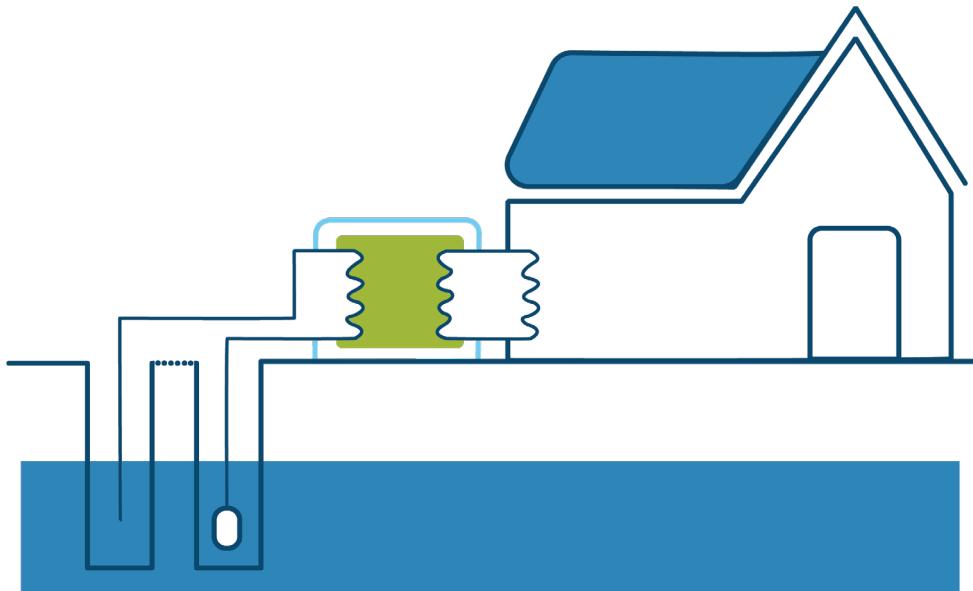


Figura 11: Circuito abierto que opera en base a agua subterránea. Fuente: esta imagen se adaptó según una imagen de la fuente [20].

De acuerdo con lo presentado en el **Índice de Precios y Estudio de Mercado de Bombas de Calor 2019**, las tecnologías de BdC 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 BdC 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 [19].

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 debido a la necesidad específica de contar en cualquier momento del año de frío o calor, ya sea de forma simultánea o independiente.



Figura 13: Bomba de calor geotérmica de frío y calor simultáneo. Fuente [7]: Shutterstock image by caifas.

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 14: Bomba de Calor Geotérmica Industrial para Generación de Calor. Fuente [8]: Shutterstock image by Alex Stemmer.

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 BdC, se presentan algunos ejemplos de proyectos en Chile:

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 climización	7500 [m ²]
Aislación térmica	Si
Empresa instaladora	Enalteco Ltda
Fuente de energía/Sumidero de la BdC geotérmica	Napas superficiales
Número de pozos/Profundidad	40 pozos de 20 a 30 [m] de profundidad
Temperatura de diseño para la calefacción	Suministro: 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 BdC 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: [21].



Figura 15: Hogar de las Hermanitas de los Pobres, Concepción, Chile. Fuente: [21].

Ejemplo 2: Unifrutti Santiago, Chile

Sector	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 BdC 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 16: Bomba de Calor, Unifrutti, Chile. Fuente [9]: Unifrutti, 2012.

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**.

Es importante mencionar que para dimensionar y elegir un sistema de bombas de calor apropiado para un cierto lugar, se requiere 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, etc.

En el **Índice de Precios** se 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 BdC, el precio de instalación del sistema de captación y el precio del equipo e instalación del sistema de emisión.

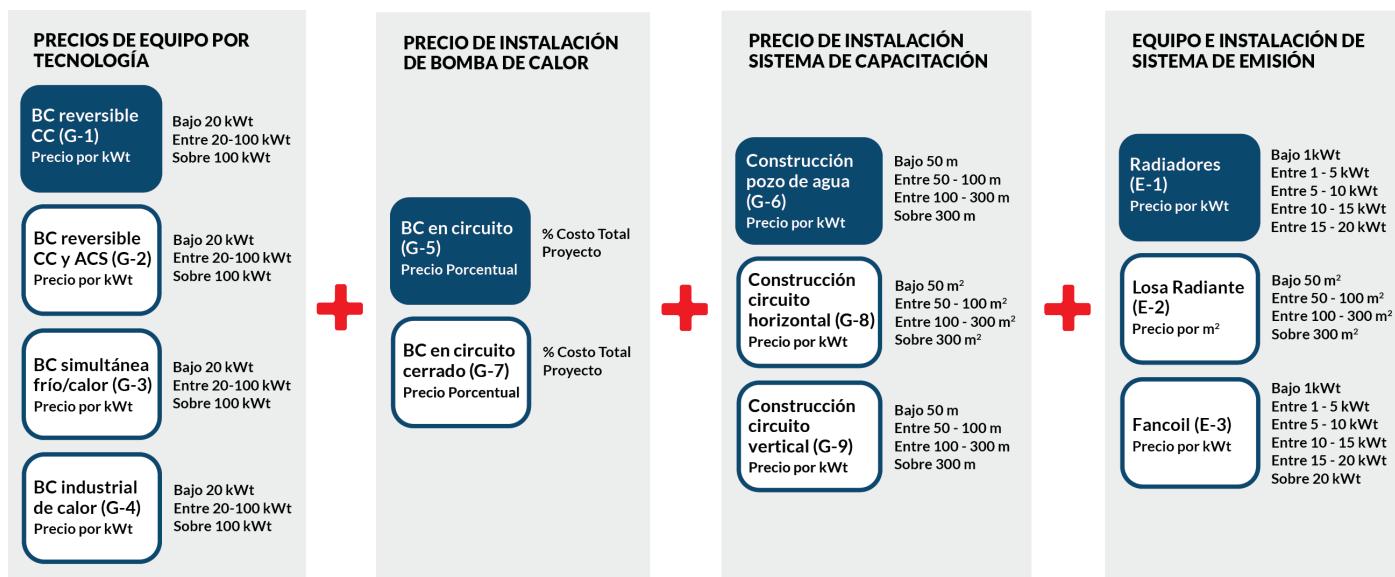


Figura 17: Indicadores a considerar para la estimación del costo de implementación de una BdC geotérmica.

Fuente: esta imagen se adaptó según una imagen de la fuente [18].

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, y que el pozo de agua tiene una profundidad de 30 [m] [10]. 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/m ² x 12 x 20 m ² = \$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: [18].

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.

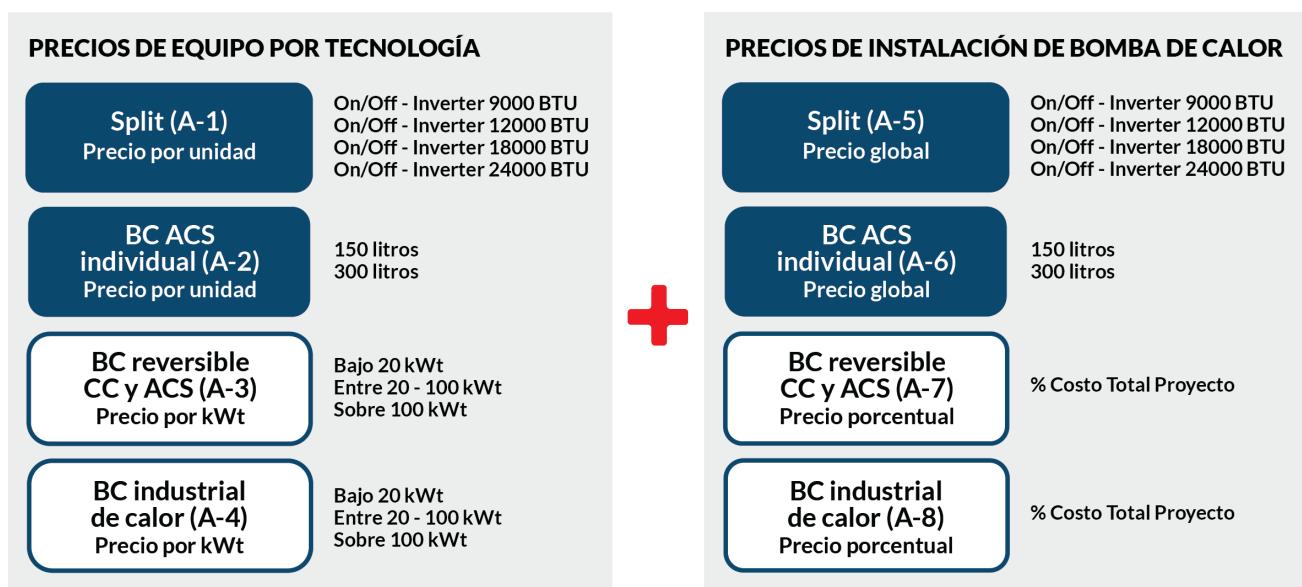


Figura 18: Indicadores a considerar para la estimación del costo de implementación de un proyecto de BdC aerotérmica: Fuente: [18].

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 [25], 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:

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 + BdC individual de ACS). Fuente: [9].

³Unidad de medida para dimensionar la cantidad de calor que puede ser extraída del ambiente. Las siglas BTU significan Unidad Térmica Británica ("British Thermal Unit"). Mientras mayor sea la cantidad de BTU, más capacidad de climatización tendrá el equipo.

Bibliografía

- [1] Bomba de Calor Industrial, Envato Elements image by saoirse2010.
- [2] Bomba de Calor Residencial, Envato Elements image by saoirse2010.
- [3] Bomba de Calor Aerotérmica tipo Split, unidad interior y exterior, Shutterstock image by vipman.
- [4] Bombas de Calor Aerotérmicas reversibles para Clima y ACS, Shutterstock image by caifas.
- [5] Bomba de Calor Aerotérmica de uso industrial, Shutterstock image by hxdyl.
- [6] Sistemas emisores sueldo radiante (izquierda) y radiadores (derecha), Shutterstock image by vipman.
- [7] Bomba de Calor Geotérmica de frío y calor simultáneo, Shutterstock image by caifas.
- [8] Bomba de Calor Geotérmica industrial para generación de calor, Shutterstock image by Alex Stemmer.
- [9] Bomba de Calor, Unifrutti, Chile, Unifrutti, 2012.
- [10] European Copper Institute, «Heat Pumps: Integrating technologies to decarbonise heating and cooling,» Revolve, 2018.
- [11] EHPA, «Heat Pumps Booklet: Second Edition,» Revolve, 2014.
- [12] Asociación de fabricantes de equipos de climatización (AFEC), «bomba de calor,» 2019. [En línea]. Available: <https://www.bombadecalor.org/consumidor/preguntas-frecuentes/>.
- [13] Maritime Geothermal, «Nordic Heating Cooling,» 2016. [En línea]. Available: <https://www.nordicghp.com/2016/06/air-to-water-heat-pump-noise/>.
- [14] Building Performance Center, Department of Energy and Climate Change, «Acoustic noise measurements of air source heat pumps,» Edinburgh, 2011.
- [15] A. Pollard y B. Berg, «Heat pump performance,» Porirua, New Zealand, 2019.
- [16] P. Vocale, G. L. Morini y M. Spiga, «Influence of outdoor air conditions on the air source heat pumps performance,» 68th Conference of the Italian Thermal Machines Engineering Association, p. 653 – 662, 2014.
- [17] I. Arnabat, «Aire acondicionado con aerotermia ¿Qué es y cómo funciona?,» Calor y Frío, vol. Aire Acondicionado Doméstico, 2019.
- [18] GIZ, «Índice de Precios de Bombas de Calor Geotérmicas y Aerotérmicas en Chile,» Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH, Santiago, Chile, 2019.
- [19] S. Harfagar, «Explorador de Aerotermia, Bombas de Calor Aerotérmicas para agua caliente sanitaria y calefacción» Santiago, Chile, 2018.
- [20] GIZ, «Informe Final: Estudio de Mercado de Bombas de Calor Geotérmicas y Aerotérmicas en Chile,» Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH, Santiago, Chile, 2019.
- [21] S. Harfagar, D. González, I. Sánchez y M. Flores, «Estado de desarrollo de proyectos de bombas de calor geotérmicas instalados en Chile,» Santiago, Chile, 2016.
- [22] Asociación Técnica Española de Climatización y Refrigeración (ATECYR), Guía Técnica: Diseño de sistemas de bomba de calor geotérmicas, Madrid, España, 2010.
- [23] Asociación Técnica Española de Climatización y Refrigeración (ATECYR), Diseño de sistemas de intercambio geotérmico de circuito cerrado, Madrid, España., 2012.
- [24] I. Arnabat, «Funcionamiento de la bomba de calor para calefacción y agua caliente,» Calor y Frío, 2015.
- [25] Anwo, «Catálogo General de Productos, Aire Acondicionado,» Santiago, Chile, 2018-2019.
- [26] E. H. P. Association, «European Heat and Pump Market and Statistics Report,» 2014.
- [27] IDAE, «Síntesis del estudio Parque de Bombas de Calor en España,» España, 2014.
- [28] European Heat Pump Association, «EHPA,» 2019. [En línea]. Available: <https://www.ehpa.org>.
- [29] Heat Pump Association (HPA), «Delivering Net Zero: A Roadmap for the Role of Heat Pumps,» 2019.
- [30] GIZ, «Lista de Proveedores de Bombas de Calor,» Santiago, Chile, 2019.
- [31] D. Banks, An Introduction to Thermogeology: Ground Source Heating and Cooling. Capítulo 4., Reino Unido: John Wiley & Sons, Ltd, 2012.
- [32] G. Llopis y V. Angulo, Guía Técnica: Diseño de sistemas de bomba de calor geotérmica, Madrid, España: ATECYR, 2010.

BOMBAS DE CALOR

Una Guía para el Usuario

En el marco del proyecto

NAMA CHILE

Energías Renovables
para Autoconsumo