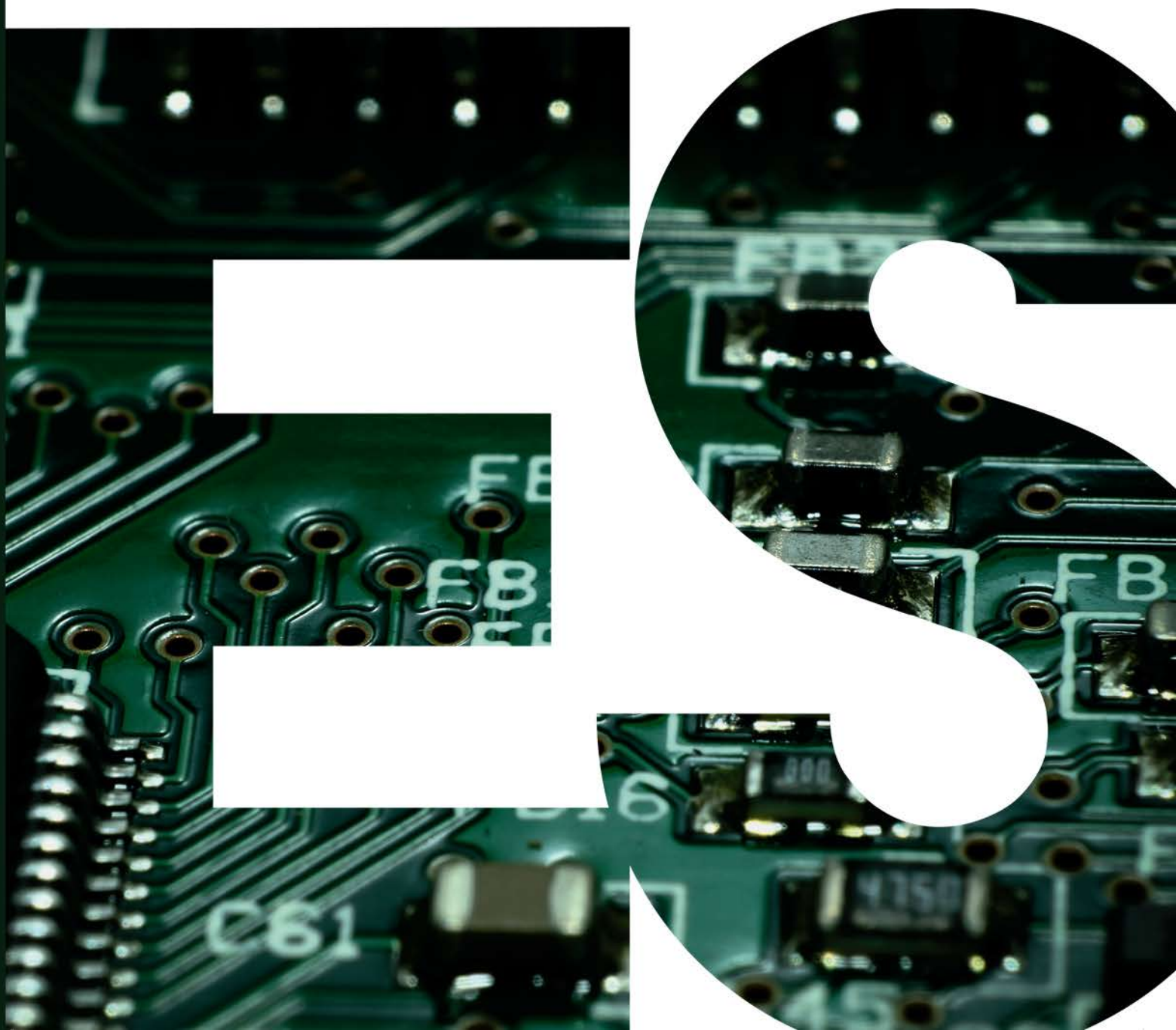
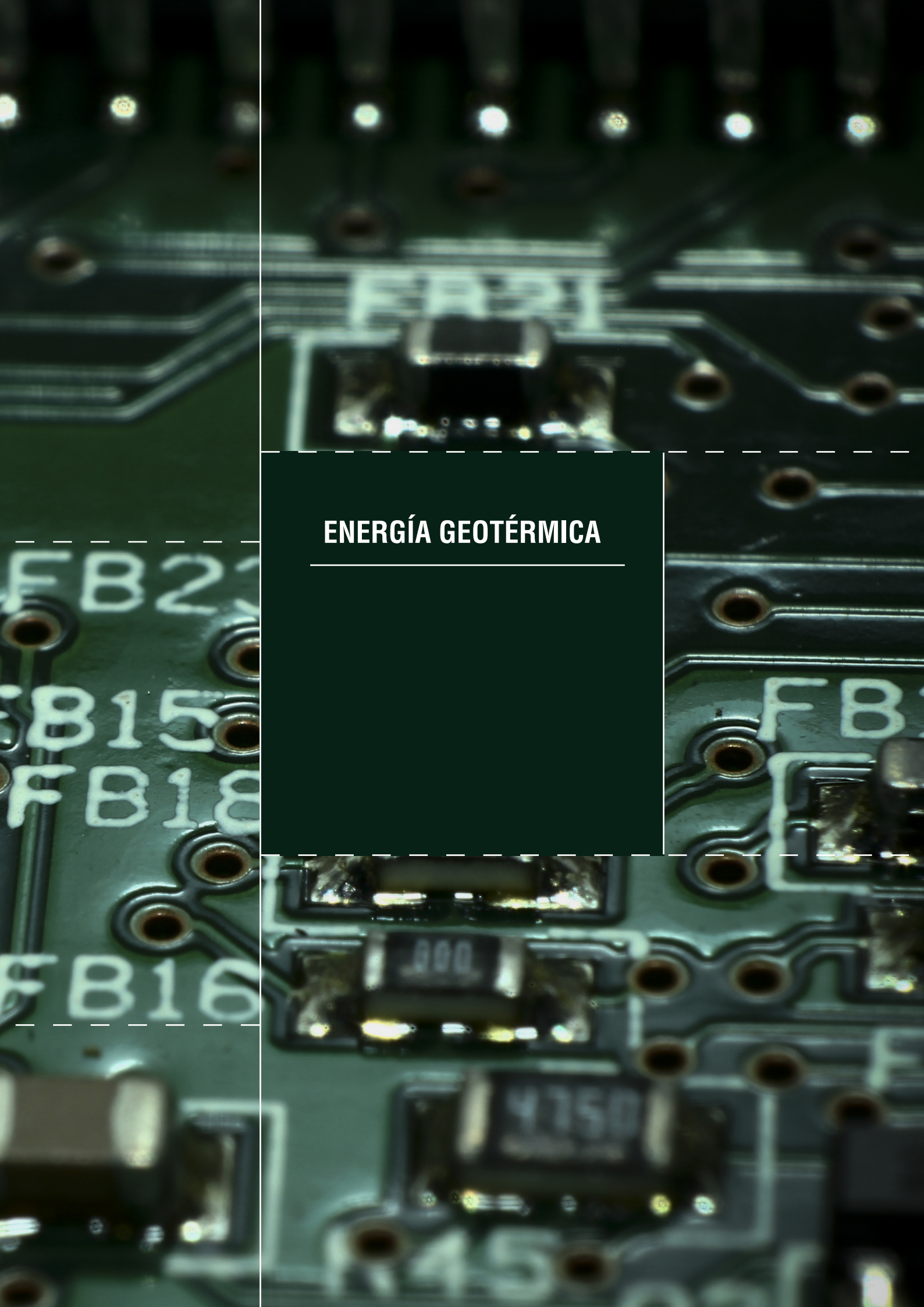
ENERGIA
SOSTENIBLE
35

ENERGÍA GEOTÉRMICA

MARCELO CAMMISA





ENERGÍA GEOTÉRMICA

ENERGIA GEOTERMICA - Cámara Argentina de la Construcción

AUTORES

Marcelo Cammisa

Walter F. Adad

DISEÑO GRÁFICO Y ARMADO

Galilea, Juan Manuel

Grassi, Ignacio

Cammisa, Marcelo

Energía geotérmica / Marcelo Cammisa ; Walter Adad. - 1a ed . - Ciudad Autónoma de Buenos Aires : FODECO, 2019.

44 p. ; 30 x 21 cm.

ISBN 978-987-4401-40-3

1. Construcción. I. Adad, Walter II. Título

CDD 690

Esta edición se terminó de imprimir en Latingráfica,
Rocamora 4161 – Ciudad de Buenos Aires, Argentina,
En el mes de Enero de 2019
1era. edición – Enero 2019 / 150 ejemplares

Ninguna parte de esta publicación, incluido el diseño de la cubierta, puede ser reproducida, almacenada o transmitida en manera alguna ni por ningún medio, ya sea electrónico, químico, óptico, de grabación o de fotocopia sin previo permiso escrito del editor.

INDICE

RESUMEN EJECUTIVO (PG. 05)
INTRODUCCIÓN (PG. 09)

#01
QUÉ ES Y CÓMO SE GENERA LA ENERGÍA GEOTÉRMICA (EG)

1.1 Comienzo de la EG. (PG. 14)
1.2 Formas de EG. (PG. 15)
1.3 Yacimientos de alta entalpía (PG. 15)
1.4 Yacimientos de media entalpía (Ciclos Binarios) (PG. 19)
1.5 Yacimientos de baja entalpía (uso directo). (PG. 20)

PAG. 12-21

#02
CLIMATIZACIÓN URBANA Y PRODUCCIÓN DE AGUA CALIENTE SANITARIA

2.1 Bombas de calor. (PG. 23)
2.2 Bomba de calor geotérmica (GHP) (PG. 24)
2.3 Sistemas de captación de energía geotérmica. (PG. 25)

PAG. 22-29

#03
EJEMPLO DE APLICACIÓN

3.1 Demanda de climatización de la vivienda (PG. 31)
3.2 Selección de la bomba de calor (PG. 31)
3.3 Fluido Geotérmico (PG. 32)
3.4 Elección de la configuración (PG. 33)
3.5 Selección de unidades terminales. (PG. 33)

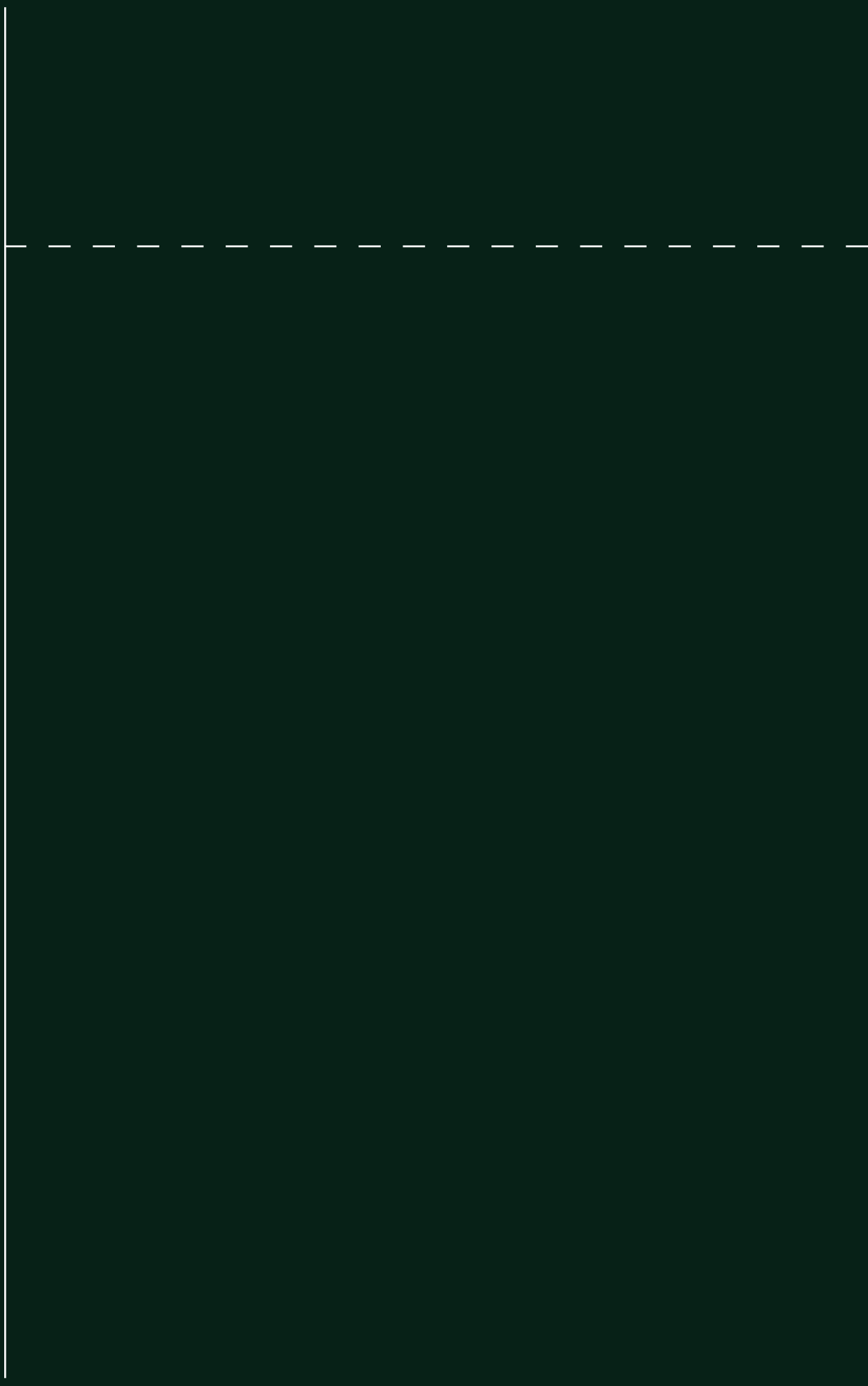
PAG. 30-35

#04
COMPARATIVA CON OTRAS ENERGÍAS RENOVABLES Y NO RENOVABLES

PAG. 36-39

#05
EFICIENCIA ENERGÉTICA

PAG. 40-42



RESUMEN EJECUTIVO

Al momento de realizar este informe, Estados Unidos anunció que se retira del tratado de París, sumándose al pequeño grupo de Nicaragua y Siria de países que no suscribieron este tratado de reducción de gases de efecto invernadero y de reducción del aumento de la temperatura media del planeta, buscando llevarla a 1.5 ºC frente a los 2 ºC actuales. Es de destacar que Nicaragua no lo suscribió porque considera que el tratado es laxo y debería ser, más estricto. Nicaragua, en el año 2013 fue considerado como un paraíso de las energías renovables, destacándose su utilización de energía geotérmica.

La Energía Geotérmica (EG) es aquella que, aprovechando el calor que se puede extraer de la corteza terrestre, la transforma en energía eléctrica, en calor para uso humano, procesos industriales o agrícolas. Podríamos hacer una diferenciación de las energías eólicas y solares, debido que este tipo de energía renovable casi no tiene intermitencias, como si las tiene la disponibilidad de una velocidad mínima del viento o la de tener un día nublado.

El origen de la Energía Geotérmica se explica debido que el Planeta Tierra, funciona como una enorme caldera natural: una parte del agua que escurre por la superficie de la tierra (producto de la lluvia, el deshielo, de cursos de agua, etc.) se infiltra en el terreno a través de grietas y fracturas pudiendo alcanzar profundidades de varios cientos o miles de kilómetros. Al encontrar en la profundidad, rocas porosas por las cuales circula (acuífero), dicha agua progresivamente se calienta y se eleva saliendo al exterior nuevamente. Si este hecho ocurriera en una zona anómala, donde el gradiente geotérmico es elevado (mayor a 5 ºC/100 m), se originarían las manifestaciones hidrotermales conocidas como Fumarolas, Solfataras o Géiseres.

La energía geotérmica puede ser utilizada para generar grandes cantidades de energía siendo, similar en esto a las usinas térmicas convencionales. Se diferencian en el origen del vapor que mueve las turbinas y que alimentan al generador eléctrico.

Y, también, tiene aplicación en el uso directo del calor del manto terrestre. Este calor puede utilizarse en calefaccionar o refrigerar viviendas o edificios; en procesos industriales como fábricas de papel, secaderos de frutas; calefacción de invernaderos, establos; calentamiento de suelos de cultivos en zonas frías; derretir nieve en caminos.

La República Argentina, con su gran riqueza de recursos naturales, posee campos geotérmicos que permiten tener centrales de generación eléctrica, como así, un gran territorio donde se puede hacer uso de generación distribuida para calefaccionar casas o edificios en lugares remotos.

Para comprender los principios de ambas formas de generación de energía, mostramos primero el Gráfico Nº 1 que diagrama el funcionamiento de una usina generadora de electricidad de vapor geotérmico.

El vapor de la corteza terrestre se transmite desde uno o varios pozos hasta la turbina directamente. El movimiento de la turbina mueve al generador produciendo electricidad. El vapor va luego al condensador.

La salida del condensador se reinyecta al yacimiento y retroalimenta a la torre de enfriamiento que se utiliza para condensar el vapor.

En cuanto a la reinyección al yacimiento, se busca desarrollar técnicas que permitan aumentar la cantidad del fluido aportado con el objetivo de no agotar la reserva.

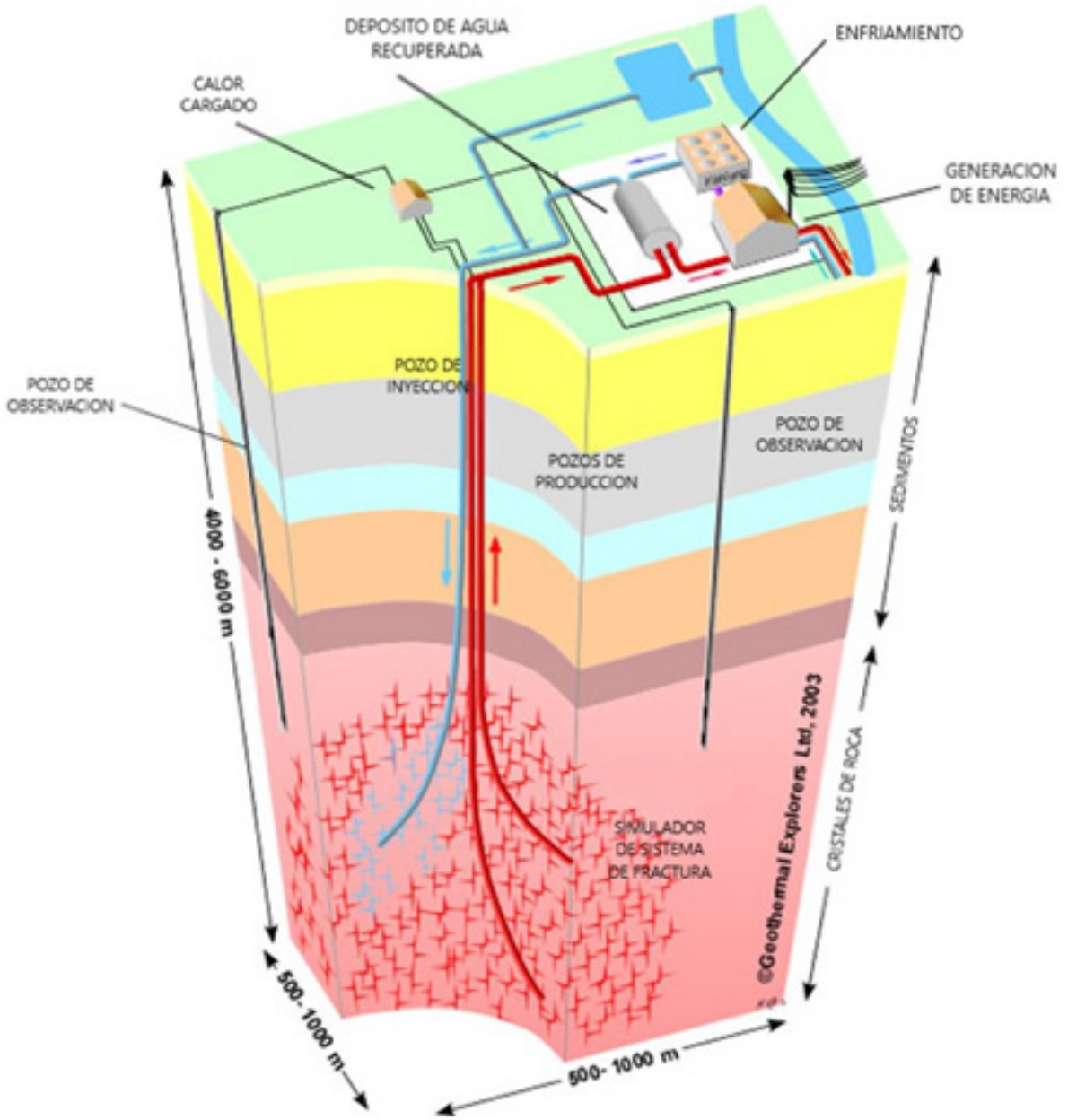


Gráfico Nº 1. funcionamiento de una usina generadora de electricidad de vapor geotérmico

En su segunda aplicación, energía geotérmica para el uso de calefaccionar o refrigerar una vivienda o edificio, se utiliza una bomba de calor geotérmica como la que muestra en el Gráfico Nº 2.

En este caso, el funcionamiento es el siguiente: la temperatura del subsuelo produce el calentamiento de un fluido de bajo punto de vaporización que se encuentra a menor temperatura. Mediante un compresor se eleva su presión y consecuentemente su temperatura. El calor de este vapor es conducido al circuito secundario de calefacción, transfiriéndose al ambiente a calefaccionar. El fluido del circuito de calefacción retorna al condensador y, mediante la válvula de expansión, vuelve al evaporador reiniciándose el proceso.

En el Gráfico Nº 3 vemos el diagrama de sondas geotérmicas utilizadas para captar el calor generado por la Tierra para una aplicación de uso directo.

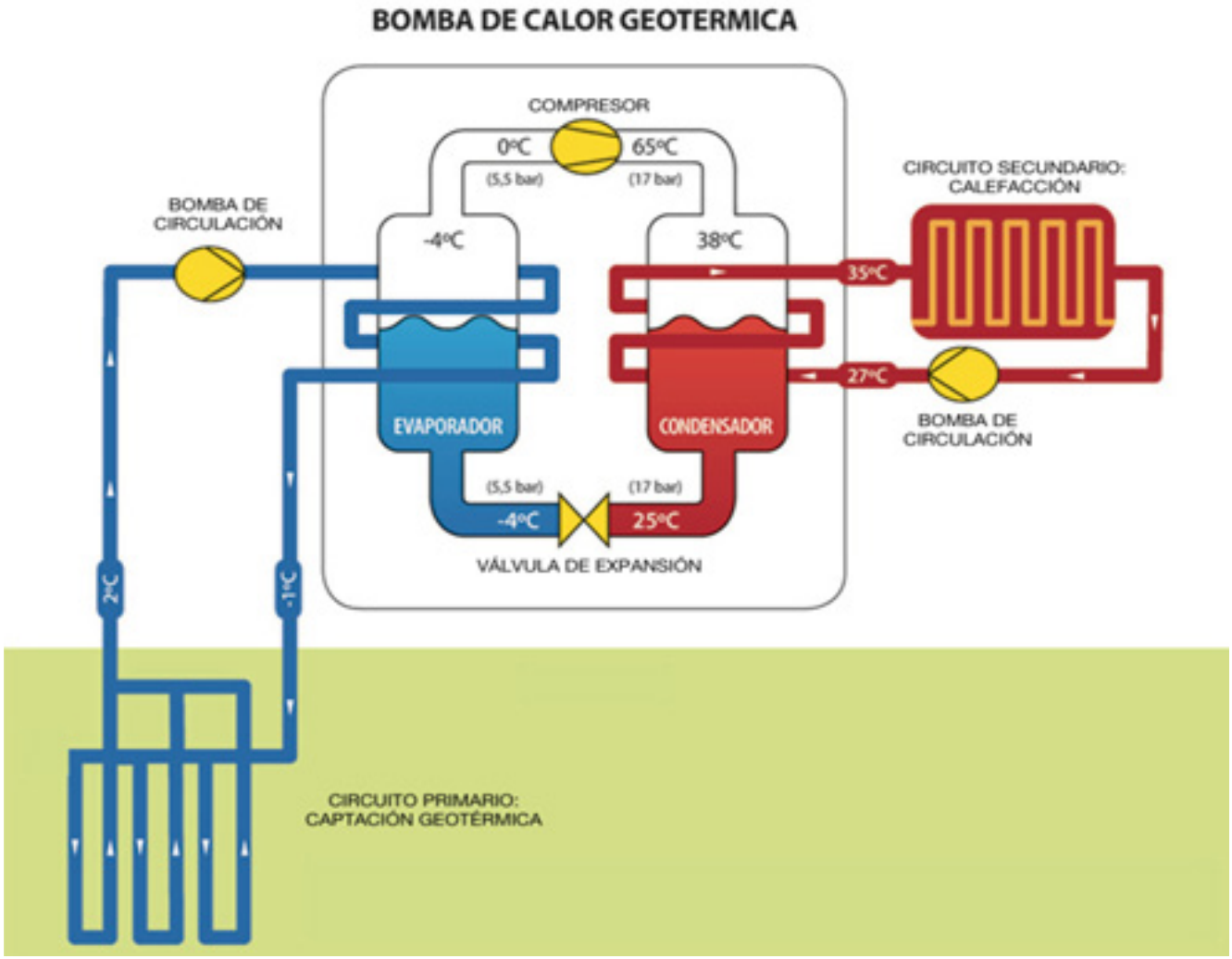


Gráfico Nº 2. Bomba de calor geotérmico

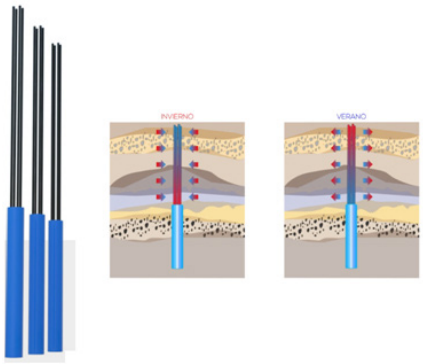


Gráfico Nº 3. Diagrama de sondas geotérmicas.

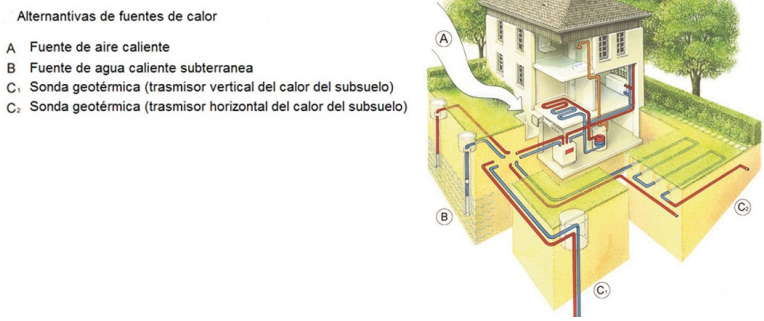
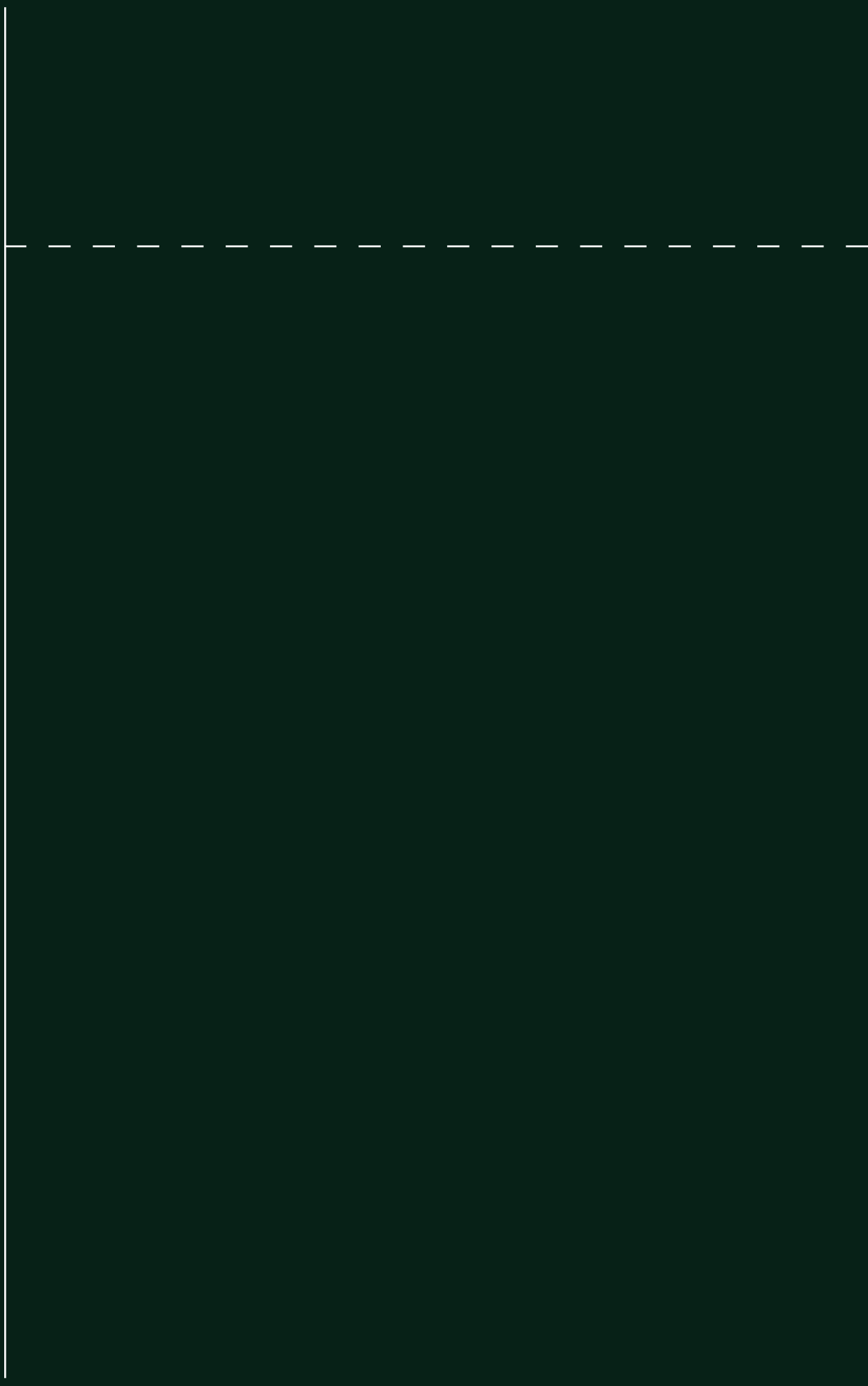


Gráfico Nº 4. Alternativas de fuentes de calor

Por último, destacamos que siempre y cuando los usos sean racionales, la fuente energética geotérmica es inagotable. Lo cual es lo opuesto a las energías fósiles. Ya sea que se recurra al agua subterránea como medio de extracción o a sondas geotérmicas (transmisores verticales u horizontales del calor del subsuelo), el proceso es ilimitado. El agua puede renovarse naturalmente a través de la recarga con aguas superficiales o bien, de manera artificial mediante su inyección en el subsuelo. (Gráfico Nº 4)



INTRODUCCIÓN

La Tierra almacena en forma de calor gran cantidad de energía. La Energía Geotérmica (EG) es aquella que, aprovechando el calor que se puede extraer de la corteza terrestre, la transforma en energía eléctrica o en calor para uso humano o procesos industriales o agrícolas. Teniendo en cuenta esta definición, se pueden establecer dos formas básicas de uso de la energía de origen geotérmico (Tabla Nº 1)

USO DIRECTO DEL CALOR	USO ELECTRICO DEL FLUIDO
Calefacción de viviendas u otro tipo de edificios	Consiste en la generación de electricidad mediante instalaciones similares a las usinas térmicas convencionales. La diferencia radica en el origen del vapor que mueve las turbinas que alimentan el generador eléctrico.
Procesos industriales que utilizan calor, por ejemplo, fábricas de celulosa, papel, harinas de pescado, secado de frutas y vegetales, etc.	
Calefacción de invernaderos, establos y criaderos.	En una usina térmica convencional el vapor "se fabrica" quemando derivados de petróleo, gas o carbón, mientras que en la usina o planta geot
Calentamiento de suelos de cultivos en zonas frías.	
Para derretir la nieve de los caminos.	érmicano es necesario gastar combustible pues es provisto directamente por la naturaleza. (Teniendo en cuenta que es necesario separar el vapor del agua para que pueda ser derivado a las turbinas)

Tabla 1. Usos de la Energía Geotérmica.

A nivel mundial, son varios los países que utilizan a este recurso para la generación de energía eléctrica. El Gráfico Nº 5 muestra la potencia instalada en función de los distintos países a marzo de 2016[1].

[1]. 2016 Annual U.S. & Global Geothermal Power Production Report.

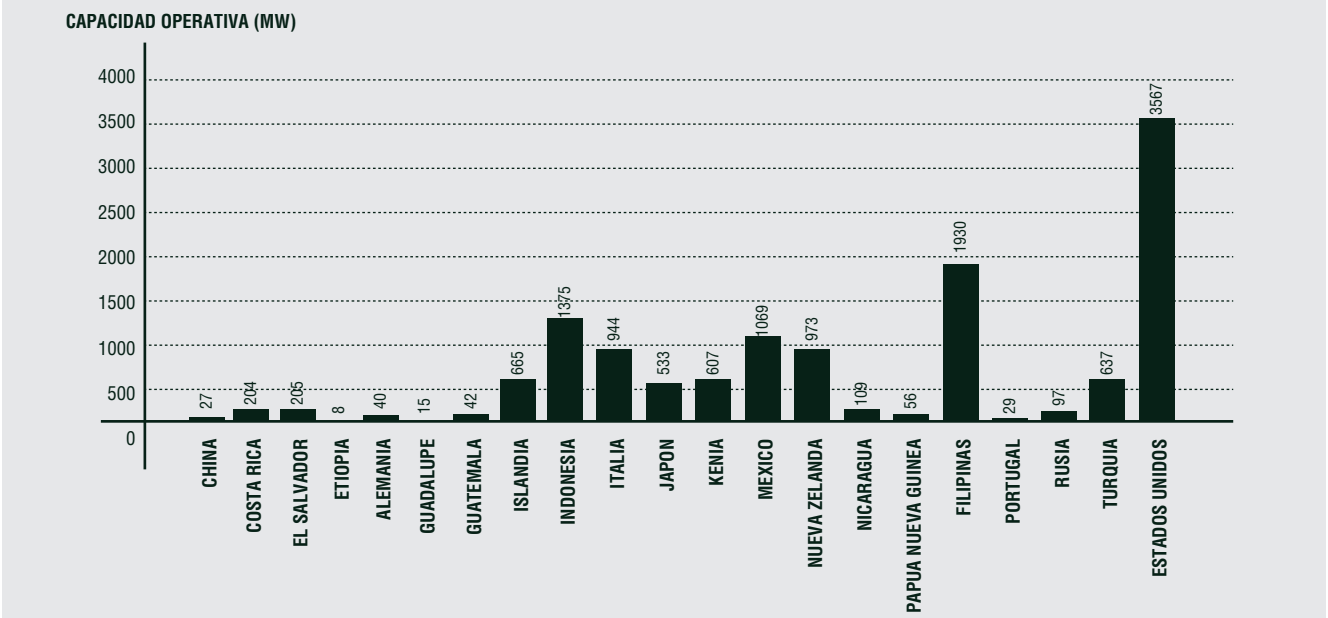


Gráfico 5. Potencia instalada en función de los distintos países. (Marzo 2016).

La actual capacidad de generación de energía geotérmica total es de aproximadamente 13 GW y se proyecta en el reporte citado anteriormente que hacia el 2021, alcance los 18 GW.

En Argentina, si bien existen más de trescientos puntos de interés geotérmicos, en solo cuatro de ellos podría generarse energía eléctrica en cantidad con este recurso[2]: Copahue (Neuquén), Domuyo (Neuquén), Tuzgle (Jujuy) y Valle del Cura (San Juan). A partir de los mismos, se espera adicionar 54 MW de potencia instalada a la red eléctrica, según se observa en el Gráfico Nº6.

[2]. Fuente SEGEMAR

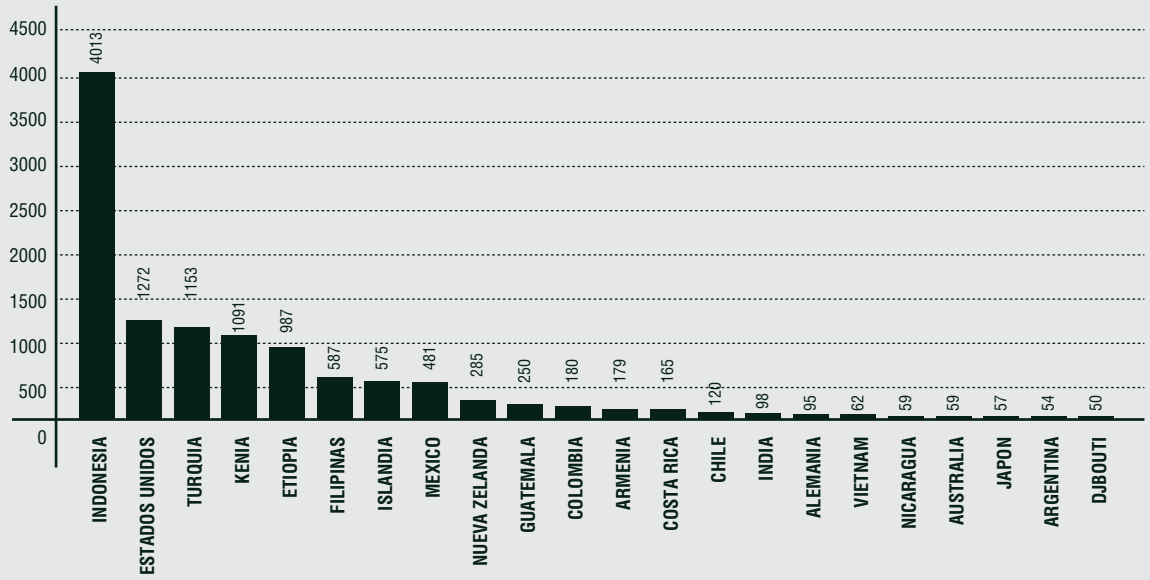


Gráfico Nº6. Potencia planificada a instalar por país. (Marzo 2016).

Las dificultades más grandes para un desarrollo sostenido de energía geotérmica con fines eléctricos se encuentran en los elevados costos de la exploración y lo alejado de las zonas pobladas de las principales áreas de interés geotérmico.

A modo de resumen (Tabla Nº 2), entre las principales ventajas y desventajas de este tipo de tecnología, podemos mencionar:

VENTAJAS	DESVENTAJAS
Ahorro significativo de gastos operativos. (No requiere gastar en combustible).	Elevados costos de instalación.
Es considerada un tipo de energía limpia. No contamina.	Difícil de transportar. Generalmente se la utiliza en las zonas cercanas a la Central generadora de energía eléctrica.
Puede utilizarse directamente (Ver tabla 1).	Sólo es adecuado para las regiones que tienen rocas calientes debajo de la tierra y puede producir vapor durante un largo período de tiempo.
Crea puestos de trabajo y beneficios económicos.	Poco personal capacitado y escasez de equipamiento adecuado.

Tabla 2. Ventajas y desventajas de la energía geotérmica.

A lo largo del informe, se profundizará en los conceptos aquí mencionados.

#01

QUÉ ES Y CÓMO SE GENERA LA ENERGÍA GEOTÉRMICA (EG)

La Tierra se encuentra conformada por varias capas. No todas ellas son sólidas. Desde la superficie hasta su centro se definen de la siguiente manera:

- Corteza: Constituida por rocas en estado sólido. Tiene un espesor de 5 km en lugares cubiertos por océanos y alrededor de 30 km en lugares de tierra.
- Manto: Se encuentra debajo de la Corteza y es mucho más espesa que la misma. Los materiales que la constituyen poseen una composición de minerales completamente distinta de las rocas de la parte superficial y con una densidad bastante mayor.

Debido a las altas temperaturas que están presentes a esas profundidades (alrededor de 600 ºC en zonas alejadas del Núcleo y 3900 ºC en zonas cercanas al mismo), y a su composición, esos materiales se encuentran en estado semifundido. Ello le otorga al Manto un comportamiento dinámico. Esta capa presenta un espesor de aproximadamente 2900 km.

- Núcleo: Debajo del Manto aparece el Núcleo, dividido en Núcleo Interior y Exterior. La densidad de sus componentes minerales es mucho mayor que en las capas anteriores. La combinación entre calor y presión hacen que el Núcleo Exterior sea una masa líquida mientras que el Interior sea sólido. La temperatura del Núcleo se estima en 5000 ºC.

La Imagen Nº 1 exhibe una representación de lo mencionado hasta el momento.

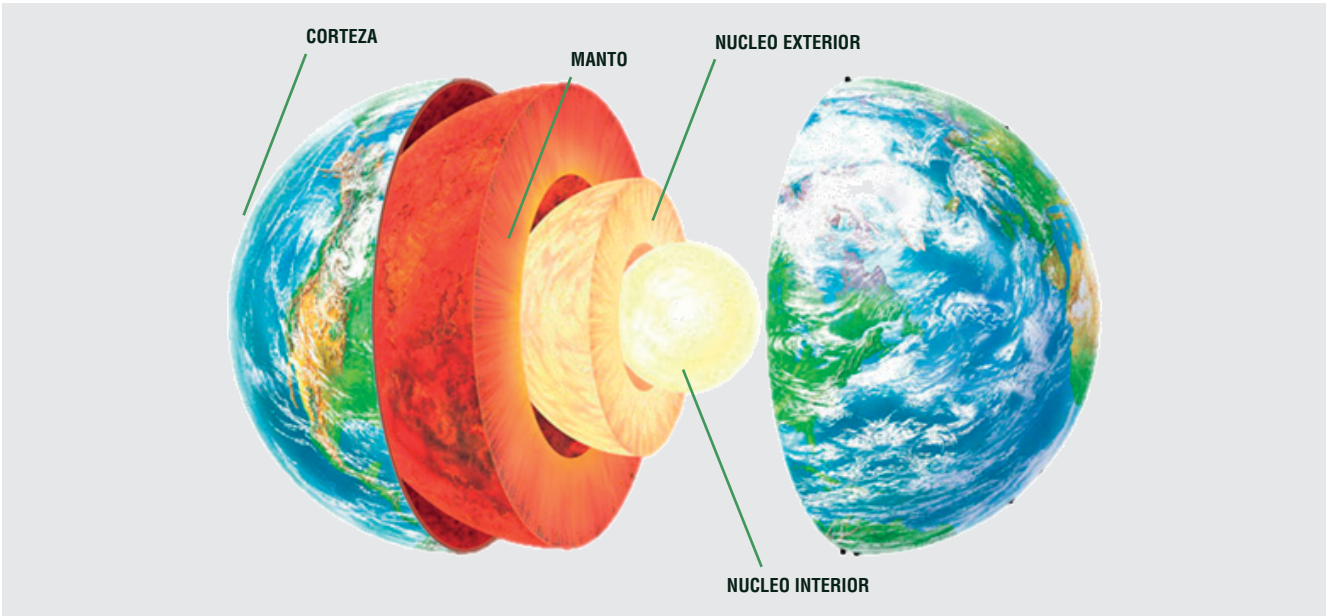


Imagen 1. Representación de las capas de la Tierra.

Imagen 2. Efecto Geyser en Nevada.

Las altas temperaturas a las cuales se encuentran los materiales que componen al Manto y al Núcleo, generan un calor que se propaga a la corteza y se manifiesta directamente en las erupciones volcánicas o en el denominado fenómeno Géiser (Imagen Nº 2) que consiste en el ascenso de vapor de agua a presión a lo largo de una fractura, a una temperatura que varía entre los 200 ºC y 250 ºC.

Por lo dicho, la temperatura aumenta con la profundidad[3]. Definiéndose entonces, el grado geotérmico como el número de metros a profundizar en el interior de la corteza terrestre para que aumente la temperatura un grado centígrado [m/ºC]

Por otro lado, se define el gradiente geotérmico[4] como la variación de la temperatura en función de la profundidad [ºC/m].

Tanto el grado como el gradiente geotérmico varían con:

- La conductividad térmica de las rocas. (A mayor conductividad térmica de las rocas, menor gradiente geotérmico y mayor grado geotérmico).
- Tipo de reacciones químicas que predominen en la zona.
- Presencia y concentración de elementos radiactivos que desprenden calor en su desintegración.
- El alejamiento o proximidad de las zonas consideradas a los océanos o cordones montañosos jóvenes.
- La estructura de la corteza terrestre de la zona.

Se consideran zonas normales cuando el gradiente geotérmico se encuentra en valores de 2 ºC/100 m a 5 ºC/100 m (valor medio para todo el Planeta de 3,3 ºC).

[3]. Cuando se excava en el suelo, la radiación solar deja de influir a partir de los 70 m de profundidad en donde la temperatura viene a ser del orden de 12°C. A partir de ahí, la temperatura comienza a aumentar con la profundidad en dirección al núcleo.

[4]. Gradiente Geotérmico = (T2-T1)/(P2-P1) donde T y P hacen referencia a la temperatura y profundidad, siendo el punto 2 más profundo que el punto 1.

El Planeta Tierra, funciona entonces, como una enorme caldera natural: Una parte del agua que escurre por la superficie de la tierra (producto de la lluvia, el deshielo, de cursos de agua, etc.) se infiltra en el terreno a través de grietas y fracturas, pudiendo alcanzar profundidades de varios cientos o miles de kilómetros. Al encontrar en la profundidad rocas porosas por las cuales circula (acuífero), dicha agua progresivamente se calienta y se eleva saliendo al exterior nuevamente. Si este hecho ocurriera en una zona anómala, donde el gradiente geotérmico es elevado (mayor a 5 ºC/100 m), se originarían las manifestaciones hidrotermales observadas en la Imagen Nº2 (Fumarolas, Solfataras o Géiseres).

Por lo tanto, la Energía Geotérmica es aquella energía almacenada en forma de calor por debajo de la superficie sólida de la Tierra.

En función del contenido de calor del fluido geotermal, surgen distintas aplicaciones y tipos de energías geotérmicas que serán analizadas en la sección Formas de EG.

1.1. COMIENZO DE LA EG

El calor emanado por la Tierra fue aprovechado de manera variada desde tiempos remotos. La mejor prueba la constituyen las fuentes termales, utilizadas no sólo para resguardarse del frío, sino también para cocinar alimentos, para el aseo, y por sus propiedades medicinales debido a los minerales que albergan. Las civilizaciones griegas y romanas extendieron el uso de la energía geotérmica mediante la construcción de los conocidos baños termales y de sistemas de calefacción. Sumado a ello, las aguas termales también han servido como fuente de extracción de distintos tipos de minerales: azufre, hierro, etc.

Más allá de los usos descriptos, las primeras minas excavadas a cientos de metros bajo tierra, datan de los siglos XVI y XVII; allí se concluyó que a medida que se alejaban de la superficie, la temperatura se incrementaba. Las primeras mediciones que se efectuaron con termómetros, se realizaron en 1740 en una mina de Belfort, en Francia.

Unos años más tarde, en 1777, en la región de Toscana -Italia-, se halla ácido bórico en el vapor emanado de algunas fuentes termales, dando comienzo a la explotación y aprovechamiento de la energía geotérmica. El ácido bórico se incrementaba al aumentar la temperatura del agua, y se obtenía por medio de la evaporación de las aguas termales. Para su obtención se requería combustible, que en una primera instancia fue proporcionado por la madera de bosques aledaños. Como esto representaba un contratiempo debido a la depauperación acelerada de las arboledas, en 1827 Francisco Larderello, fundador de esta industria, mejoró el proceso de evaporación del agua bórica reemplazando la madera por el calor de los propios fluidos que se emanaban. Al poco tiempo se abrieron nuevas fábricas, incrementando exponencialmente la producción; varias de ellas son el origen de las actuales centrales eléctricas geotérmicas italianas. La planta de Larderello concentró la producción de ácido bórico en toda

Europa entre 1850 y 1875.

En 1904, también en la zona de Larderello, se construye la primera central eléctrica geotérmica, que entra en funcionamiento en 1913 con 250 kW. En el Gráfico Nº 7, pueden observarse los avances en el campo de la geotermia a nivel mundial:

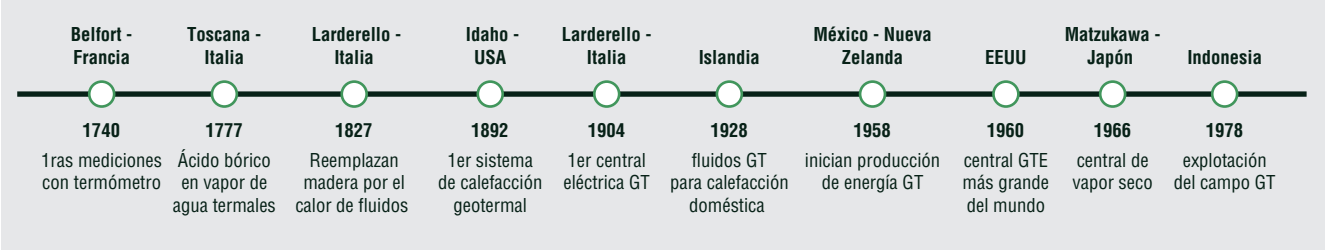


Gráfico 7. Línea de Tiempo

1.2. FORMAS DE EG

El uso más antiguo de los recursos termales tiene que ver con sus propiedades curativas. En Argentina, por ejemplo, las termas de Copahue (Neuquén), Río Hondo (Santiago del Estero), Villavicencio (Mendoza), entre otras, son utilizadas desde el punto de vista turístico y curativo.

Por otro lado, las aguas termales, también son utilizables desde el punto de vista minero para recuperar las sales que contiene disueltas y que en algunos casos poseen un alto valor comercial, por ejemplo, Boro, Litio o Cadmio.

Sin embargo, por lo explicado en la sección anterior, el aprovechamiento más importante de este recurso consiste en su utilización con fines energéticos. En función de la temperatura del agua, se define el tipo de uso que se le dará a dicha energía.

Para decidir si un yacimiento geotérmico es rentable, hay que analizar:

- La profundidad y espesor del acuífero.
- La calidad del fluido, el caudal y la temperatura.
- La permeabilidad y porosidad de las rocas.
- La conductividad térmica, la capacidad calorífica del acuífero y de las rocas próximas.

En general los yacimientos geotérmicos suelen clasificarse, según su entalpía (cantidad de energía que un sistema intercambia con su entorno) de acuerdo a la Tabla Nº 3. En las siguientes secciones se analizará la utilización de cada uno de ellos.

CLASIFICACIÓN	TEMPERATURA DEL FLUIDO
Yacimiento de alta entalpía	Superior a 150 °C
Yacimiento de media entalpía	Entre 100 °C y 150 °C
Yacimiento de baja entalpía	Inferior a 100 °C

Tabla 3. Clasificación de Entalpia

1.3. YACIMIENTOS DE ALTA ENTALPÍA

El agua que se encuentra a más de 150 ºC se dice que es de calidad eléctrica. Para las fuentes geotérmicas que superan este valor, se usan dos técnicas diferentes para producir energía eléctrica con potencias mínimas de 1 a 2 MW. Las mismas se desarrollan a continuación:

1.3.1. SISTEMAS DE CONVERSIÓN DIRECTA

Utilizados para producir electricidad en yacimientos de vapor. Es la técnica más eficiente de todas. El Gráfico Nº 8 muestra un esquema simplificado del proceso.

Diagrama esquemático de una planta de energía geotérmica de vapor seco

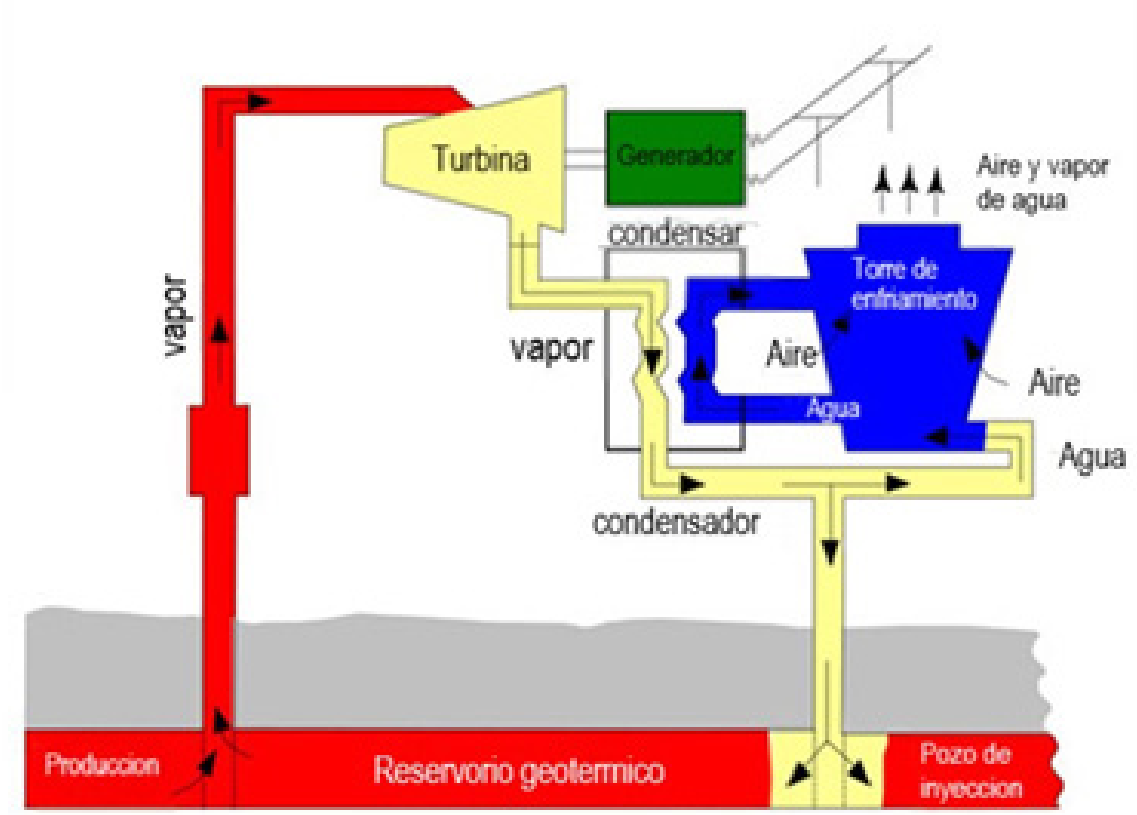


Gráfico 8. Esquemático de una Planta de conversión directa.

El vapor puede ser seco o húmedo y lleva una cierta cantidad de gases no condensables. El proceso puede explicarse de la siguiente manera:

1) El vapor se transmite desde uno o varios pozos hasta la turbina directamente.

2) Dicho vapor, mueve una turbina de vapor que a su vez controla al eje de un generador que se encarga de generar energía eléctrica.

3) El vapor que egresa de la turbina es condensado mediante una torre de enfriamiento.

4) El agua resultante del condensado vuelve a inyectarse en el yacimiento.

Entre el yacimiento y la turbina se instalan separadores centrífugos para remover las partículas de polvo y otros sólidos como fragmentos de rocas. Además, en las tuberías se instalan puntos de drenaje para remover la humedad a la entrada de la turbina. Se utiliza un sistema de eyectores de dos etapas o bombas de vacío para eliminar los gases no condensables presentes en el vapor geotérmico.

Se pueden usar condensadores de superficie o de contacto directo (mezcla). El primero se prefiere cuando el vapor posea gases no condensables que haya que tratar antes de descargarlo a la atmósfera (para lo cual se requeriría instalar una planta química).

En cuanto a la reinyección al yacimiento, se busca desarrollar técnicas que permitan aumentar la cantidad del fluido aportado con el objetivo de no agotar la reserva.

Con respecto a las torres de enfriamiento, las más comunes son las de tiro forzado.

En la actualidad, este tipo de Plantas presentan una capacidad instalada del orden de los 20 a 60 MW por unidad. Su diseño es modular para una instalación rápida.

1.3.2. SISTEMAS DE EXPANSIÓN SÚBITA

Los yacimientos de vapor seco son poco frecuentes. En general existe un predominio de la fase líquida y se realiza la extracción de un fluido que es una mezcla de las dos fases, líquido y vapor. La calidad o título de la mezcla depende de las dimensiones del pozo, las condiciones del fluido en el yacimiento y la presión. Aunque ha habido máquinas desarrolladas para impulsar a la turbina teniendo presente las dos fases, lo normal es separarlas utilizando solo el vapor para tal fin.

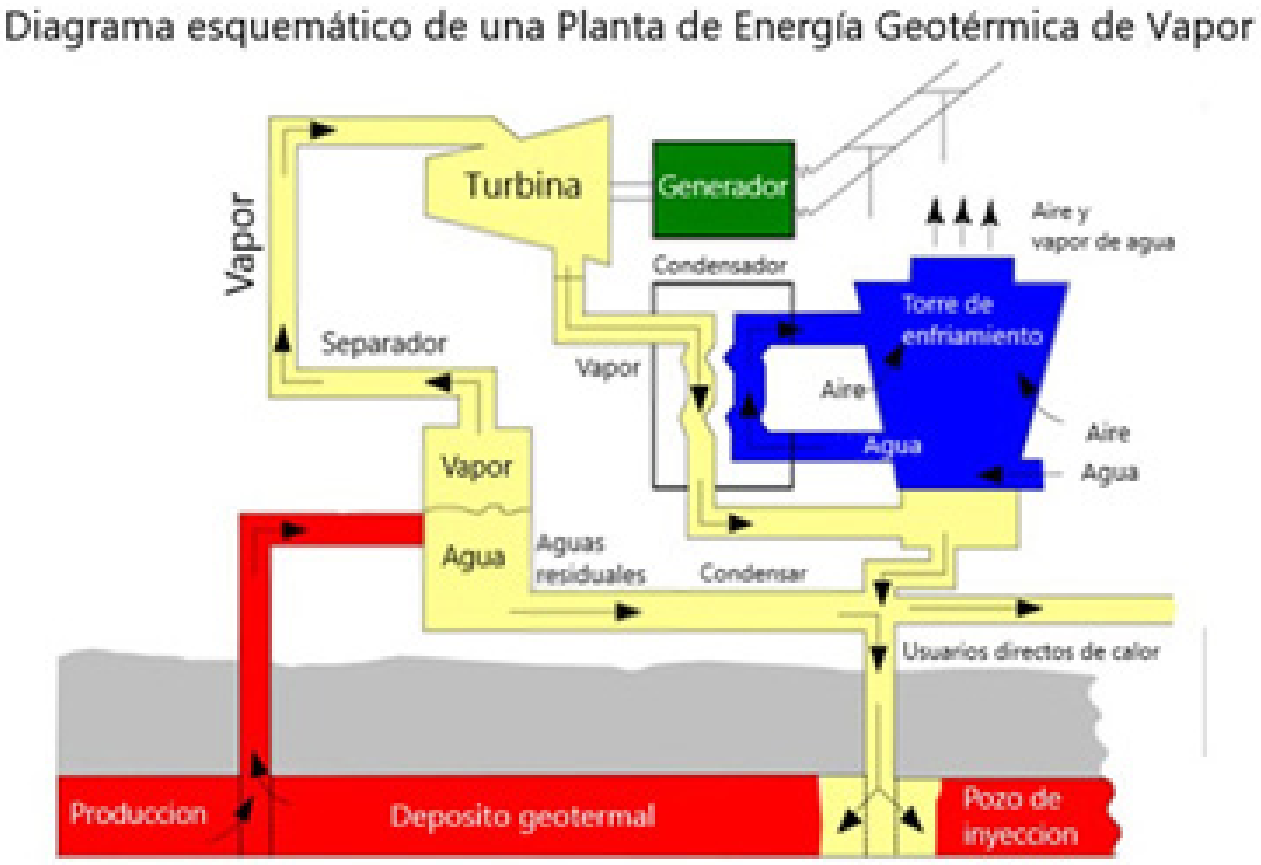
El Gráfico Nº9 muestra un esquemático de una Planta de expansión súbita. A diferencia de los sistemas de conversión directa, agregan un separador centrífugo para dividir el agua del vapor, el cual alcanza un título del orden del 99,99 %.

El proceso puede explicarse de la siguiente manera:

1) Desde el yacimiento se extrae la mezcla agua / vapor.

2) La mezcla ingresa a un separador que deriva al vapor hacia la turbina (repitiendo el proceso descripto en los sistemas de conversión directa) mientras que dirige al agua hacia el yacimiento nuevamente (mezclándose con la resultante del condensado) o la reutiliza en forma directa para otras aplicaciones.

Las Plantas que utilizan vapor a alta presión se denominan Single-Flash. Mientras que las que usan vapor de alta y baja se denominan Double-Flash. Estas últimas aumentan el rendimiento en un 35 % en comparación a las primeras. Una tercera etapa no sería rentable puesto que solo aumentaría la eficiencia en un 5 %.



El Gráfico Nº9. Esquemático de una Planta de expansión súbita.

1.3.3. SITUACIÓN EN EL MUNDO

En cuanto a la producción de energía, en 2015, la industria global de EG incorporó unos 313 MW de capacidad, un número que es levemente menor al de años anteriores. Sin embargo, la cantidad de Plantas que entraron en funcionamiento fue relativamente igual que en años anteriores (pero más pequeñas). La ligera disminución de la nueva capacidad instalada puede atribuirse a los retrasos debidos a los desastres naturales, problemas de permisos/regulación en varios países en desarrollo y combustibles fósiles baratos que han hecho que la financiación de algunos proyectos sea más difícil de obtener.

A finales de 2015, en total, el mercado mundial alcanzó más de 13,3 GW (gigawatts) de energía geotérmica operando en 24 países. A esta fecha, había 12,5 GW de potenciales adiciones de capacidad en 82 países repartidos entre 700 y 750 proyectos identificables. Se espera que catorce de esos 82 países aporten 2 GW de potencia en los próximos 3 o 4 años de acuerdo a la lista actual de proyectos en construcción con contratos de compra de energía, equipos ordenados y/o pozos perforados. (Fuente: 2016 Annual U.S. & Global Geothermal Power Production Report)

En cuanto a estos proyectos en preparación, se espera que la industria geotérmica siga creciendo a un ritmo constante a nivel mundial, ya que estos 2 GW de proyectos han superado la mayoría de los obstáculos de permisos y financiamiento. Este crecimiento constante es el resultado de marcos más largos en el desarrollo de los proyectos geotérmicos que crean una industria menos volátil en comparación con los booms de otros sectores de la energía.

En el Gráfico Nº10, se observa que el mercado global alcanzará probablemente 18,3 GW para 2021[5]. El pronóstico conservador de 14,8 GW previsto se compone de las fechas de terminación anunciadas de las plantas ya en construcción. Dado que los proyectos tardan normalmente 2 a 3 años en construirse y el pronóstico se extiende en cinco años, es probable que más proyectos anuncien la construcción en los próximos dos, aumentando el límite de la previsión conservadora. En la última década, la industria geotérmica global creció lenta pero constantemente, agregando varios cientos de MWs en línea cada año sin pausa. Parece improbable que esta tendencia se interrumpa, sino más bien se acelere a medida que el cambio climático se convierte en un motor cada vez más importante de opciones energéticas en los países en desarrollo. El crecimiento de la nueva capacidad vendrá muy probablemente de los mercados europeos, del este de África y del Pacífico Sur, ya que estas regiones lideran el crecimiento de la energía geotérmica por sustanciales adiciones de capacidad en los próximos cinco años.

[5]. 2016 Annual U.S. & Global Geothermal Power Production Report.

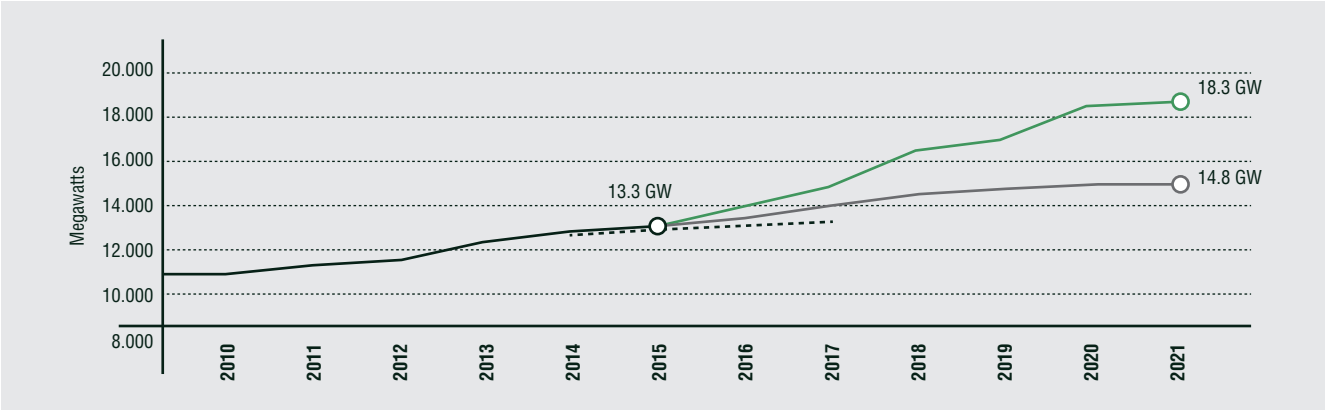


Gráfico Nº10. Proyección de potencia instalada a nivel mundial en los próximos años.

1.3.4. EN ARGENTINA

En Argentina, si bien existen más de trescientos puntos de interés geotérmicos, en solo cuatro de ellos podría generarse energía eléctrica con este recurso: Copahue (Neuquén), Domuyo (Neuquén), Tuzgle (Jujuy) y Valle del Cura (San Juan). Los mismos se analizarán a continuación.

Las dificultades más grandes para un desarrollo sostenido de energía geotérmica con fines eléctricos se encuentran en los elevados costos de la exploración y lo alejado de las zonas pobladas de las principales áreas de interés geotérmico.

Sin embargo, como se mencionó en la introducción, según el reporte "2016 Annual U.S. & Global Geothermal Power Production Report" se espera adicionar 54 MW de potencia instalada a la red eléctrica.

CAMPO TERMAL COPAHUE-CAVIAHUE

El Campo Geotérmico Copahue-Caviahue se encuentra ubicado en la provincia Neuquén. En el mismo se presentan cinco manifestaciones geotérmicas de importancia, ocupando un área de aproximadamente 1,2 km2. Cuatro de ellas se encuentran en territorio argentino: Termas de Copahue, Las Maquinas, Las Maquinitas y Anfiteatro (ordenadas por importancia). Mientras que la restante se encuentra en territorio chileno y se denomina Chanco-Có. Todas se ubican al Noreste del volcán Copahue y se caracterizan por las depresiones y alteraciones ácidas de sus suelos.

Los estudios sobre las perforaciones exploratorias realizadas demuestran que hasta los 1500 m de profundidad, el Campo Geotérmico Copahue-Caviahue es de vapor dominante. Generado por el agua de deshielo que se infiltra en los terrenos y circula en el subsuelo, cae en la zona del reservorio donde se le trasfiere las altas temperaturas que surgen de la cámara magmática. Se genera así un sobre calentamiento. Cuando se libera con una perforación, se

pone en contacto esa zona de alta temperatura y presión con la presión atmosférica, logrando una despresurización controlada que da origen al vapor.

En este campo fue puesta en funcionamiento, el 5 de abril de 1988, una central geotérmica piloto que generaba energía eléctrica mediante el empleo de vapor de agua del subsuelo. El reservorio hidrotermal se encuentra comprendido entre los 850 y los 1000 metros generando un fluido geotérmico a 6,7 tn/hora de vapor saturado. La central contaba con una potencia de 670 kW nominales. Actualmente se encuentra fuera de servicio por mantenimiento desde el año 1998.

El proceso de privatizaciones iniciado a partir de la sanción de la ley 24.065 y la irrupción del gas natural como combustible "barato" desalentó los proyectos de fuentes renovables y produjo el abandono de los programas de desarrollo de la energía geotérmica. Recién a partir del año 2006, con la sanción de la ley 26.190 y las fuertes restricciones impuestas por la escasez del gas natural, los proyectos de generación de Fuentes Renovables comenzaron a ser competitivos.

CAMPO TERMAL DOMUYO

Esta área se encuentra ubicada en el noroeste de la provincia del Neuquén. Los estudios geológicos efectuados permitieron determinar que el campo geotérmico abarca una superficie aproximada de 5 km2.

El reservorio geotérmico, se encuentra rodeado por el arroyo Manchana Covunco por el norte, el arroyo Covunco por el sur, cerro Domo por el este y el río Varvarco por el oeste.

En base a estudios realizados, se calcula un rango de temperaturas de 214 °C – 223 °C, esperándose la existencia de fluidos clorurados y mezcla agua-vapor. El suministro de agua superficial, estable a través de todo el año, es una condición favorable para el transporte del flujo calórico desde las fuentes térmicas subterráneas.

CAMPO TERMAL TUZGLE-TOCOMAR

El campo geotérmico Tuzgle-Tocomar se encuentra ubicado en la Puna de Atacama dentro la localidad de Susques (oeste de la provincia de Jujuy). Las investigaciones en la actualidad transitan la etapa final de prefactibilidad, en la que ha sido estudiada en detalle un área de aproximadamente 900 km2. Es el programa geotérmico más estudiado del Noroeste Argentino. Entre 1978 y 1995 se realizó una secuencia de estudios que abarcó desde el reconocimiento hasta la delimitación del área, en donde se debería realizar los pozos exploratorios profundos.

CAMPO TERMAL VALLE DEL CURA

En esta área, se efectúo una primera fase de estudios de prefactibilidad. Sobre la base de anomalías químicas e isotópicas se conjeturo la probable existencia, a profundidades accesibles por perforación, de fluidos de tipo agua-vapor con temperaturas superiores a los 200 °C y en niveles de circulación y almacenamiento secundarios, temperaturas de 130 °C – 150 °C.

La anomalía geotérmica comprobada, pero aun no delimitada, se vincula con la presencia de cuerpos subvolcánicos relacionados con el volcán Tórtolas.

1.4. YACIMIENTOS DE MEDIA ENTALPÍA (CICLOS BINARIOS)

Cuando la temperatura del fluido se encuentra entre 100 °C y 150 °C, la diferencia de temperatura entre la entrada y la salida de la turbina es muy poca como para que el método de expansión súbita resulta económico. En estos casos de temperaturas moderadas se utiliza un ciclo binario.

En el proceso de conversión de la energía de un Ciclo Binario, participan dos fluidos:

- 1ro: responsable del ciclo de generación eléctrica
- 2do: actúa como fuente térmica.

Por lo tanto, en dichas plantas, la energía del fluido geotérmico se transfiere por medio de un intercambiador de calor a un fluido de trabajo secundario para su uso en un ciclo convencional. Al no estar en contacto el fluido geotérmico con las partes móviles de la planta, se minimizan los efectos de la erosión. Lo expresado puede resumirse en la Gráfico Nº11.

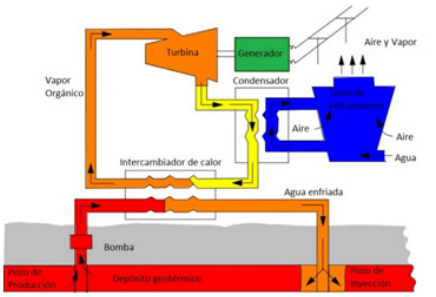


Gráfico Nº11. Esquemático de una Planta de Ciclo Binario.

En la misma, el proceso puede explicarse de la siguiente manera:

1) A partir del uso de una bomba, se extrae el agua caliente del yacimiento geotermal y se la direcciona hacia un intercambiador de calor.

2) A través del intercambiador, el fluido de trabajo secundario absorbe el calor del agua y lo usa para mover una turbina de vapor que a su vez comanda a un generador para que genere energía eléctrica.

3) El agua del circuito primario se reinyecta en el yacimiento.

4) El vapor que sale de la turbina del circuito secundario, se condensa mediante ventilación forzada, y vuelve a ingresar al intercambiador de calor para generar un ciclo de trabajo cerrado.

Este tipo de Plantas, son adecuadas para conformar módulos de 1 MW por unidad. Son de rápida instalación y su diseño permite que se pueden interconectar varias de ellas para ajustarse al recurso geotérmico.

Entre las principales ventajas de esta tecnología se destacan:

- Menos problemas de incrustaciones, corrosión y desgaste por erosión.
- Se puede elegir un fluido de mejores características termodinámicas que el agua.

Por otro lado, entre sus desventajas encontramos:

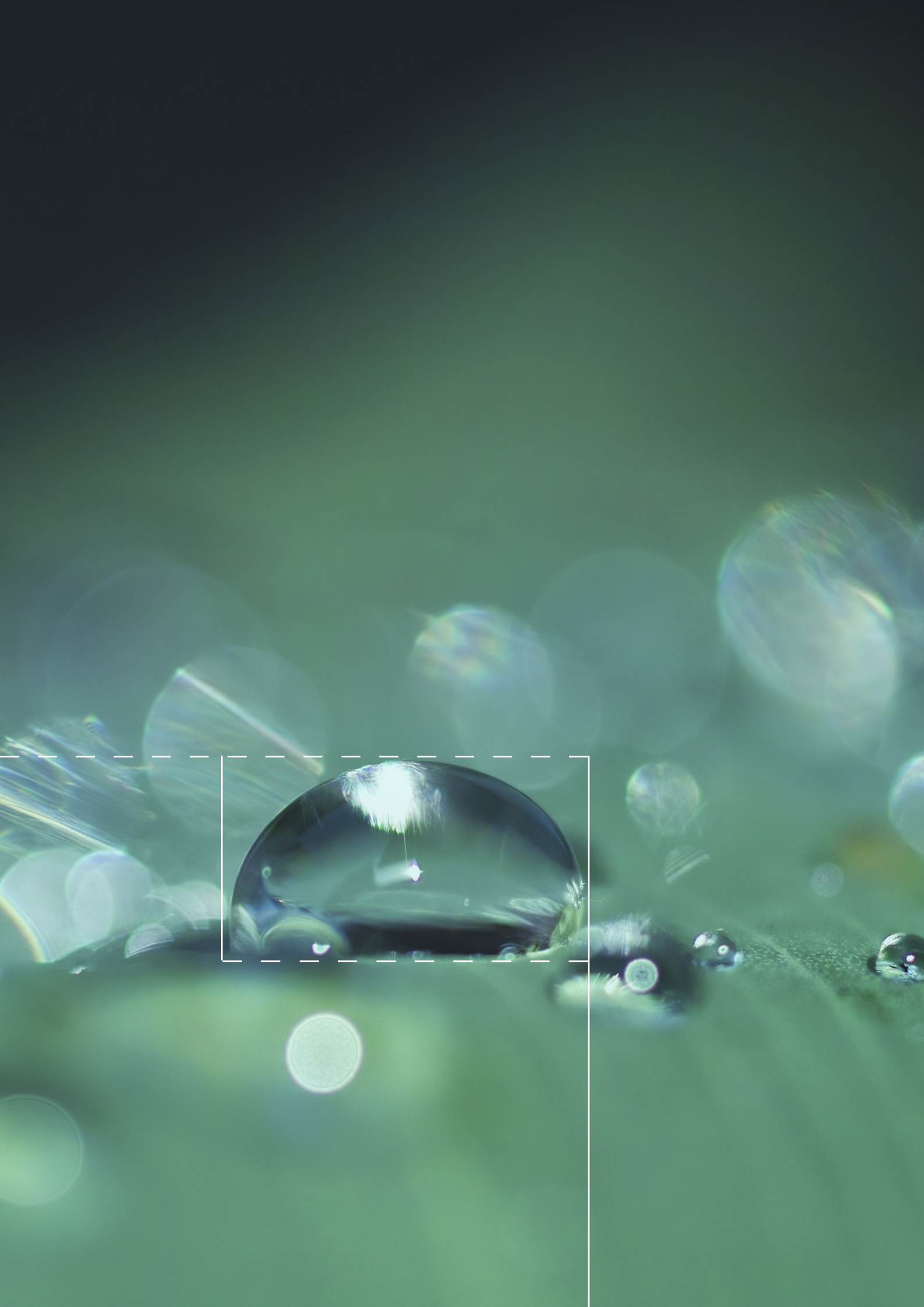
Los fluidos secundarios son caros, y pueden ser tóxicos o inflamables.

Dan lugar a instalaciones más complejas y caras.

1.5. YACIMIENTOS DE BAJA ENTALPÍA (USO DIRECTO)

No se utilizan para generar electricidad puesto que su temperatura es inferior a 100 ºC. Por lo tanto, se emplean en sistemas en los cuales el calor generado, a partir del agua caliente, se utiliza para:

- Climatización urbana (viviendas y locales industriales) y producción de agua caliente sanitaria.
- Natación, baños y balneología.
- Calefacción de invernaderos.
- Acuicultura y crianza de animales.
- Secado de alimentos y maderas
- Otros



#02

CLIMATIZACIÓN URBANA Y PRODUCCIÓN DE AGUA CALIENTE SANITARIA

La energía geotérmica de muy baja temperatura basa sus aplicaciones en la capacidad que el subsuelo posee de acumular calor, y de mantener una temperatura constante a determinada profundidad a lo largo de todo el año.

Por otro lado, como se muestra en el Gráfico Nº12, la climatización y la producción de agua caliente representan aproximadamente el 66 % del total del consumo en los hogares. Por lo tanto, una primera aplicación para el recurso geotérmico de baja entalpía sería utilizarlo para reducir estos consumos.

Sin embargo, es importante no perder de vista que su utilización para esta aplicación dependerá, fundamentalmente, de la temperatura del terreno y de la capacidad del mismo para transmitir o absorber el calor que tomará o cederá del espacio a climatizar. El mismo será dirigido desde o hasta el terreno por un agente intercambiador de calor, (a través líneas de transmisión y distribución), que suele ser un fluido con características especiales (tales como bajo punto de congelación y alta capacidad de mantener el calor).

También es importante mencionar que para este tipo de aprovechamiento, las temperaturas del subsuelo no superarán los 30 ºC (es más, generalmente se encuentran entre 10 ºC y 18 ºC). Por lo tanto, para calefaccionar[6], será necesario incluir el uso de una fuente de energía adicional a la que se puede extraer del subsuelo. Para este fin se utilizan las bombas de calor.

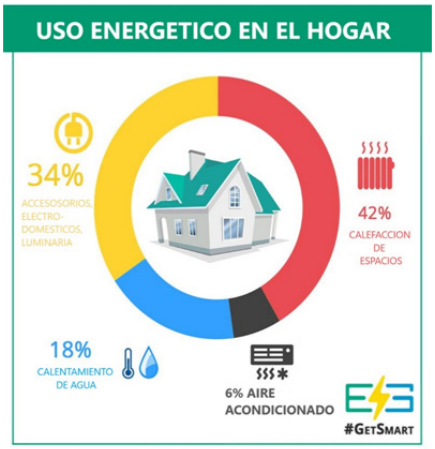


Gráfico Nº12. Distribución de consumo de energía en los hogares.

2.1. BOMBAS DE CALOR

El principio de funcionamiento de este mecanismo se basa en el siguiente principio físico; un gas se calienta cuando se comprime y se enfría cuando se expande. En el Gráfico Nº13, se muestran los componentes principales del sistema: condensador, válvula de expansión, evaporador y compresor.

En el circuito interior circula un líquido refrigerante o gas licuado, que tiene tendencia a evaporarse cuando "capta" el calor de la fuente calórica externa (etapa evaporador). Luego atraviesa un compresor que aumenta su presión y por ende eleva su temperatura. Al atravesar el condensador, el calor del líquido refrigerante se disipa al interior de la vivienda y el mismo se condensa. Por último, la válvula de expansión disminuye su presión para bajarle la temperatura y reiniciar el proceso.

Colocando una válvula de expansión de doble sentido y una válvula de cuatro vías a la salida del compresor, se logra que la bomba sea reversible, es decir, puede calentar o refrigerar el espacio interior dependiendo de la época del año. En este caso, la unidad interior actuaría como evaporador en verano y como condensador en invierno, mientras que la unidad exterior funcionaría como condensador en verano y como evaporador en invierno. La válvula de cuatro vías es la encargada de invertir el flujo del refrigerante; se accionaría por la misma presión del refrigerante y estaría comandada eléctricamente. El Gráfico Nº14 exhibe un resumen del proceso.

[6]. Para la calefacción de las habitaciones del hogar se requiere de una temperatura entre 40 ºC y 50 ºC.

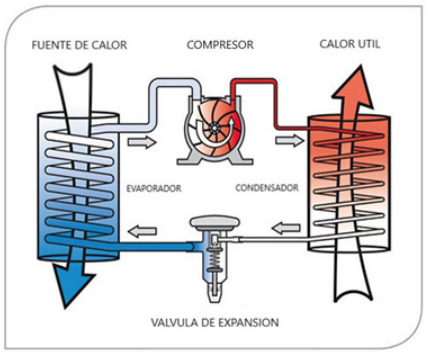


Gráfico Nº13. Principio de funcionamiento básico de las bombas de calor.

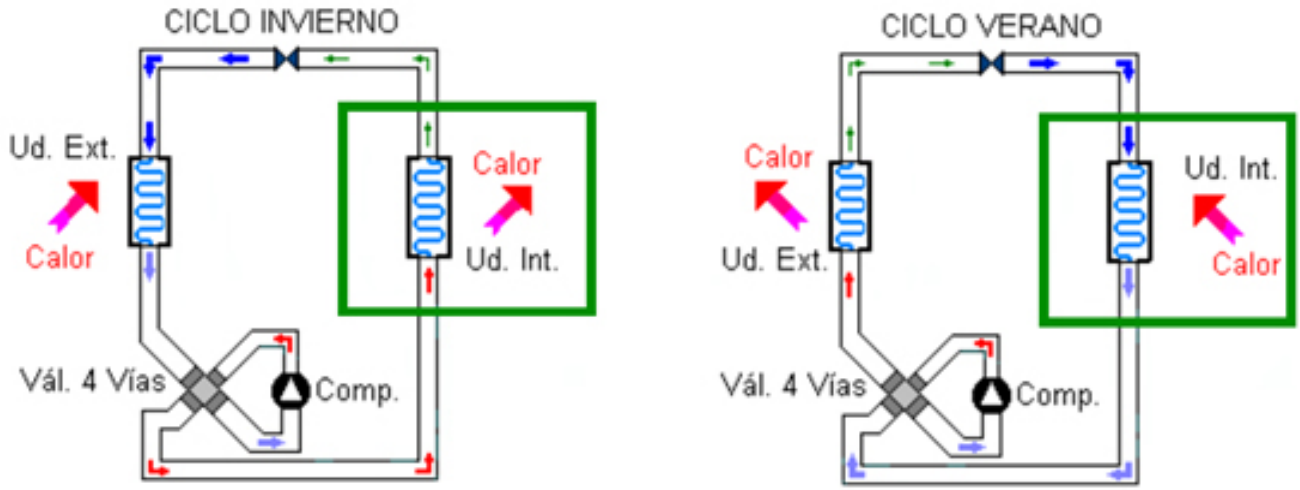


Gráfico Nº14. Bomba de calor reversible.

La bomba de calor desarrollada hasta el momento es la convencional, denominada aire-aire, pues en ella, tanto el foco frío (medio exterior de intercambio de calor), como el foco interior de intercambio de calor (punto de demanda), están constituidos por aire. Ya sea el atmosférico en el primer caso, o el del interior a climatizar en el segundo. Son las bombas de calor más extendidas comercialmente y de las que el mercado dispone en una amplia gama de potencias y prestaciones.

Las principales desventajas con este tipo de son:

- El bajo rendimiento cuando las temperaturas exteriores son bajas.
- Formación de escarcha en el evaporador, que requerirá de invertir en un proceso de "desescarchado".
- Golpe de líquido en el compresor.

2.2. BOMBA DE CALOR GEOTÉRMICA (GHP)

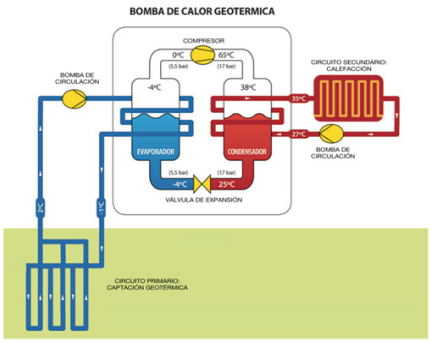


Gráfico Nº15. Bomba de calor geotérmica.

En las aplicaciones geotérmicas de muy baja temperatura, se pretende extraer el calor del subsuelo terrestre, para poder calentar un fluido de alta compresibilidad y bajo punto de vaporización (circuito secundario), con el objetivo de transmitir ese calor a una instalación en invierno, invirtiendo el proceso en verano. Pero sólo es posible extraer calor si la temperatura de entrada geotérmica es superior a la de retorno del circuito secundario, la cual viene determinada por el tipo de instalación de calefacción y por la temperatura exterior.

A modo de ejemplo, en el Gráfico Nº15 se observa como:

1) La temperatura del subsuelo calienta un fluido a 2 ºC. El mismo es usado para calentar otro fluido de bajo punto de vaporización que se encuentra a -4 ºC (en el evaporador) llevándolo a 0ºC.

2) Mediante un compresor se eleva su presión de 5,5 bar a 17 bar y así su temperatura se eleva a 65 ºC.

3) El calor de este vapor es transferido al circuito secundario de calefacción, el cual adquiere una temperatura de 35 ºC y la transfiere al ambiente a calefaccionar.

4) El fluido del circuito de calefacción retorna al condensador a 27 ºC y, mediante la válvula de expansión, vuelve al evaporador reiniciándose el proceso.

La bomba de calor geotérmica, GHP (Geothermal Heat Pump), se utiliza principalmente en instalaciones domésticas y comerciales para agua caliente sanitaria y calefacción, de pequeña y mediana potencia. Con las mismas, se solucionan los inconvenientes mencionados anteriormente sobre las bombas de calor con intercambio final con la atmósfera. En las GHP, los inconvenientes de formación de escarcha en el condensador desaparecen y se aprecia que el rendimiento mejorará al pedir calor de un medio menos frío (el terreno) que en las bombas

de calor convencionales (el aire atmosférico) en invierno, y viceversa en verano. De hecho, es más fácil ceder calor al terreno, a una temperatura casi constante con la estación, que al aire caliente de la atmósfera en verano.

Cuánto más energía sea capaz de absorber el refrigerante, utilizando menos consumo eléctrico del compresor, más eficiente será la bomba. Se define, entonces, la eficiencia de una bomba en función de su coeficiente de rendimiento (COP, Coefficient Of Performance, por sus siglas en inglés): cociente entre la energía útil obtenida de la máquina y la energía de todo tipo que dicha máquina ha consumido en el proceso. Entonces:

- En régimen de calefacción: El COP depende fundamentalmente de la temperatura del recurso geotérmico pero su valor suele estar entre 3 y 4.
- En régimen de refrigeración: El COP suele encontrarse entre 2,5 y 3,5.

Como regla práctica se puede decir que un COP de 3 implica un rendimiento del 300 %, es decir, que para 1 kWh consumido de energía eléctrica se aportan 3 kWh en forma de calor.

2.3. SISTEMAS DE CAPTACIÓN DE ENERGÍA GEOTÉRMICA

En función de lo analizado hasta el momento, en el intercambio de calor en una GHP, un intercambiador de calor está conectado al circuito de climatización o Agua Caliente Sanitaria (en el interior) y el otro está conectado al lado geotérmico (en el exterior). La válvula de cuatro vías dirige la circulación del fluido refrigerante en un sentido o en otro, en función del régimen de funcionamiento. En calefacción, el intercambiador interior funciona como condensador y el exterior como evaporador. Lo opuesto ocurre en régimen de refrigeración.

Al final del circuito de distribución se encuentran los puntos de demanda, donde debe ser entregado el calor (o el frío) a los recintos de consumo. Existe gran variedad de casos de aplicación, por ejemplo: calefacción/refrigeración de locales, viviendas, oficinas o dependencias industriales e, incluso, de concentración de viviendas (edificios completos). Estos puntos de demanda serán el punto de partida para el dimensionamiento de un sistema de aprovechamiento de la energía geotérmica de muy baja temperatura.

Por lo tanto, el primer paso consiste en analizar el consumo térmico que se requerirá en el punto de demanda. Este consumo, dependerá del clima, de la orientación del inmueble y las horas de sol, y de la forma final de la entrega de calor o frío con sus correspondiente rendimientos.

Por otro lado, en el punto de suministro (lado geotérmico), la capacidad de intercambiar calor con la fuente de energía geotérmica, dependerá de las características del terreno. Dado que las mismas son inamovibles, debe trabajarse en la capacidad del intercambiador para absorber o ceder calor en función de las necesidades de la bomba de calor calculada y de su rendimiento.

Entonces, para optimizar el intercambiador en los captadores, se suele trabajar sobre:

- El material de fabricación de los mismos. Si bien la mejor conductividad la poseen los materiales metálicos, debido a que son tubos simples y de poca sección para mejorar el contacto del fluido con las paredes del tubo, presentan problemas de corrosión que supondrían un elevado costo de mantenimiento. Por lo tanto, suelen utilizarse intercambiadores de PVC (o familia de propilenos) que presenten una buena conducción del calor y que tengan flexibilidad para facilitar su instalación.
- El tiempo de contacto del intercambiador con el terreno y la superficie de contacto. Ambos son fundamentales para dimensionar correctamente el captador. En general, los tubos captadores son de una sección estándar y estas dos variables (tiempo/superficie) se consideran en conjunto para el cálculo de la longitud del tubo del captador.

Por lo tanto la longitud del captador será una función del calor capaz de ser absorbido o cedido por el terreno, de las temperaturas del suelo y del fluido intercambiador, de la resistencia térmica del terreno y de las características conductivas del material del que está compuesto el tubo captador.

Otro factor a tener en cuenta en la implementación, es el costo del sistema elegido de los tubos captadores. El mismo, además de los materiales constitutivos, depende de la sencillez de la instalación sobre el terreno y la posibilidad de aprovechar otras obras para instalar la red. A continuación se analizan distintas alternativas.

Imagen Nº3. Ejemplo de captador geotérmico horizontal utilizado en una vivienda.

CAPTADORES HORIZONTALES ENTERRADOS

En la Imagen Nº3 se puede apreciar un ejemplo de utilización de este tipo de sistema de captación de energía geotérmica.

Entre sus principales ventajas se destacan:

- Bajo costo, debido a que la excavación es poco profunda.
- No requiere permisos ni autorizaciones especiales (además del permiso de obra).
- Es limpio y ecológico. El volumen de tierra excavado se repone como relleno del hueco originado.
- El mantenimiento de la red de captadores es prácticamente nulo.

Sin embargo, presenta algunas desventajas:

- Limitación impuesta por la superficie del terreno que se dispone.
- Restricción en el empleo de dicha superficie. Por ejemplo, no se podrá colocar plantas de raíces profundas.
- Implicará una dificultad para añadir cualquier servicio posterior que deba atravesar el subsuelo.

Para la climatización de una o varias viviendas unifamiliares adosadas, se precisarían más bombas de calor o una de mayor potencia. Ello requeriría mayor cantidad de calor a intercambiar con el terreno, lo cual se traduciría en una mayor longitud de tubos captadores.

SONDAS GEOTÉRMICAS O SISTEMAS DE CAPTACIÓN VERTICAL

Ante la imposibilidad de contar con un sistema de captación horizontal (por ejemplo, por no disponer de suficiente terreno), debe optarse por una instalación vertical.

Debido a que el sondeo puede realizarse en un espacio reducido, no es necesario implementarlo en un lugar distante a la casa. En el pozo creado se instalarán los tubos verticales. En los primeros metros del sondeo es necesario realizar un entubado para garantizar su estabilidad, ya que se trata de la zona más alterada e inestable. Además, el sondeo debe ser rellenado con algún material que permita una transmisión de calor fluida a los tubos captadores que están en su interior y una circulación del agua que hubiera en el terreno, ya sea por la existencia de algún nivel freático a poca profundidad o por la presencia de aguas provenientes de filtraciones pluviales. Ejemplos de relleno pueden ser: gravas o arenas permeables.

La Imagen Nº4 muestra un ejemplo de la maquinaria utilizada para la realización del sondeo.

Imagen Nº4. Ejemplo de maquinaria utilizada para realizar el sondeo.

En la Imagen Nº5 se exhibe un ejemplo de la sala de calderas de una vivienda con la acometida de los tubos captadores a la bomba de calor (1), conexionada a un acumulador de agua caliente (2) que distribuye a un suelo radiante (3).

En la Imagen Nº5. Ejemplo de sala de calderas de una vivienda.

Las sondas geotérmicas son, por lo general, más caras que los captadores horizontales enterrados a poca profundidad debido a su mayor costo de implementación. Sin embargo, presentan mejores niveles de conductividad térmica, por lo que la longitud del tubo captador es menor en la sondas geotérmicas que en los captadores horizontales para igualdad de necesidades energéticas. Así mismo, los rendimientos para refrigeración son muy superiores en las sondas geotérmicas.

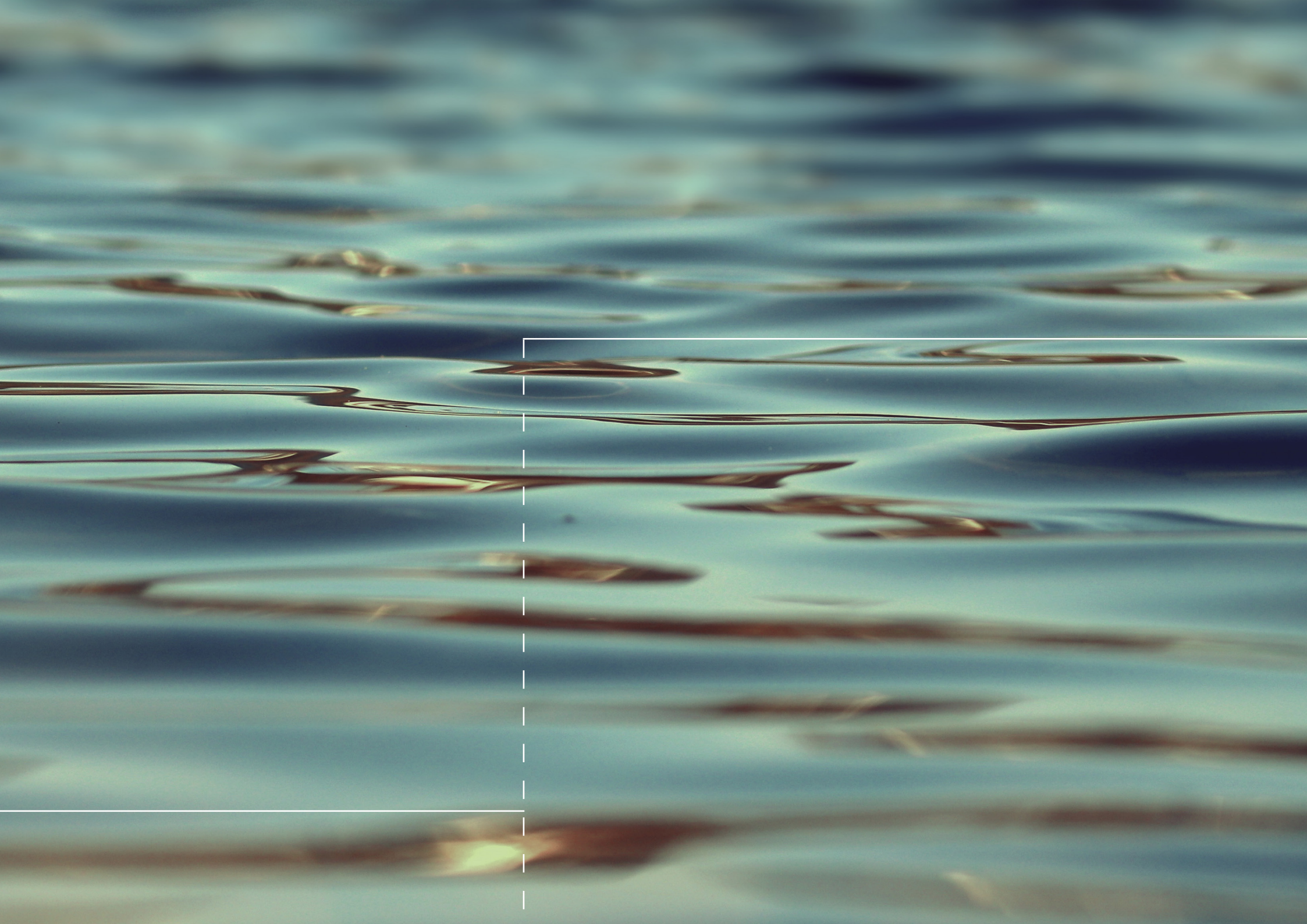
CIMENTACIONES GEOTÉRMICAS

En este caso, se trata de convertir la estructura resistente de cimentación a base de pilotes de un edificio, en un campo de sondas geotérmicas, en las cuales el propio pilote de la cimentación actúa como una de las sondas mencionadas. Para ello se utiliza hormigón con "bentonita"[7] que es una arcilla blanca que tiene mucha conductividad térmica. Todo el circuito de intercambio se situaría debajo del propio edificio, con un considerable ahorro de trabajo y espacio, por el simple hecho de incluir el proyecto de climatización en el proyecto de construcción, desarrollando ambos en conjunto. La Imagen Nº6 ilustra esta situación.

Esta red de tubos intercambiadores embutidos en los cimientos, y que confluyen en un colector común, sería la alimentación a una bomba de calor geotérmica y conformarían la dotación de climatización, e incluso, de agua caliente sanitaria del edificio. En función del tamaño del mismo, una o varias bombas de calor atenderían a las necesidades del edificio en cuestión, concentrando en el piso más inferior, o en las propias paredes del mismo, todos los accesorios necesarios, como válvulas, distribuidores por plantas, separación del ACS y la climatización, etc.

7. Guillermo LLOPIS TRILLO y Vicente RODRIGO ANGULO, "Guía de la Energía Geotérmica. Fundación de la Energía de la Comunidad de Madrid".

Imagen Nº6. Columnas de cimentación con sondas geotérmicas embutidas.



#03

EJEMPLO DE APLICACIÓN

Se plantea dimensionar un sistema de climatización geotérmico para una vivienda que posee 120 m2 y se encuentra habitada por 4 personas. El sistema será utilizado durante todo el año. Es decir, se empleará para calefacción en invierno y como refrigeración en verano. Por lo tanto, se considera una temperatura exterior máxima en verano de 36 ºC y mínima en invierno de 2 ºC.

Las temperaturas de confort se consideran en 24°C para verano y 22 °C para invierno.

Para implementarlo es necesario seguir los siguientes pasos:

1) Determinar la demanda de climatización de la vivienda.
2) Selección de bomba de calor geotérmica.
3) Selección de fluido geotérmico.
4) Analizar el terreno donde se colocaran las sondas geotérmicas para determinar la dimensión y disposición de las mismas.
5) Calcular las unidades terminales de climatización.

3.1. DEMANDA DE CLIMATIZACIÓN DE LA VIVIENDA

Para determinar la demanda de climatización de la vivienda planteada, se utilizó una calculadora del sitio web: https://www.luisllamas.es/calculadora-necesidades-climatizacion/.

Para el cálculo se considera:

- Altura de la vivienda: 2,7 m.
- Superficie de ventanas: 7,5 m2.
- Metros lineales: 12 m para Zona Sur y Norte. 10 m para zona Este y Oeste. 22 para medianera.
- Transmitancias: Parámetros estándar propuestos por el sitio Web.

Como resultado se obtiene una carga térmica de 8,12 kW para calefacción en invierno y 6,74 kW para refrigeración en verano.

3.2. SELECCIÓN DE LA BOMBA DE CALOR

Los datos de partida para la selección de la bomba de calor geotérmica son las cargas térmicas de calefacción y refrigeración calculadas anteriormente. La potencia teórica de la bomba para cubrir la climatización vendrá dada por la mayor de las demandas, dado que la potencia instalada deberá cubrir las necesidades térmicas de ambos escenarios. Por tanto, ésta vendrá dada por la previsión de demanda térmica en los meses de invierno, con un valor de 8,12 kW.

Además, se requerirá aplicar un factor de seguridad de sobredimensionamiento de la potencia teórica a modo de gap, de manera que exista un colchón de potencia en los puntos de máxima demanda. Este sobredimensionamiento será del 10 % aproximadamente.

Existen numerosas empresas que se dedican a fabricar bombas de calor, pero entre las más importantes se puede encontrar IDM-ENERTRES, GRUPO CIAT, THERMIA, DANFOSS, SEDICAL, AVENIR ENERGIE, FERROLI, etcétera. En este caso, se selecciona la bomba GEO 7[8] de la empresa CIATEMA[9]. La misma posee las siguientes características (Imagen Nº7) :

- Potencia frigorífica [kW]: 8,99 kW.
- Rendimiento EER: 4,68.
- Potencia calorífica [kW]: 10,91 kW.
- Rendimiento COP: 5,68.

8. http://www.ciatema.com.ar/img/productos/geo/CIATEMA.GEO.CT.01.pdf

9. Empresa de origen nacional (ubicada en CABA), que cuenta con el respaldo del GRUPO CIAT.

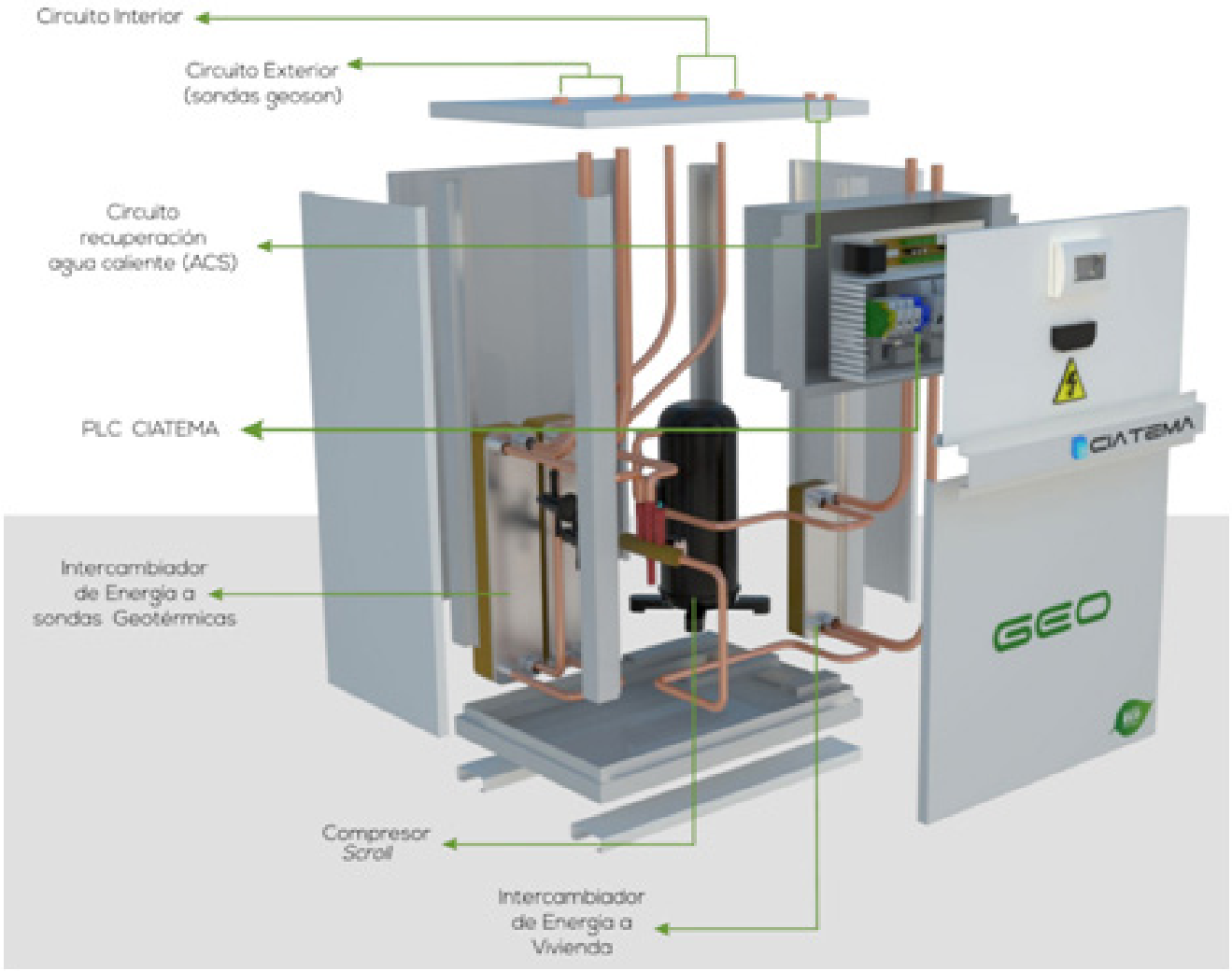


Imagen Nº7.Bomba Geotérmica marca CIATEMA.

3.3. FLUIDO GEOTÉRMICO

La elección del fluido dependerá de distintos factores:

- Características de transferencia de calor (conductividad térmica y viscosidad).
- Punto de congelación.
- Requerimientos de presión y caídas de presión por rozamiento.

- Corrosividad, toxicidad e inflamabilidad.
- Costo.

En este caso se selecciona agua con anticongelante Etilenglicol al 30% de volumen, cuyas propiedades son:

- Composición: Agua 70% + Etilenglicol 30%.
- Temperatura de congelación: -12,8 ºC.
- Temperatura de ebullición: 102 ºC.
- Densidad (20ºC): 1046 kg/m3
- Calor específico (20ºC): 3672 J/ Kg K.
- Conductividad térmica (20ºC): 0,48 W/m K.
- Viscosidad dinámica μ (20ºC): 0,001428 Kg/m s.

3.4. ELECCIÓN DE LA CONFIGURACIÓN

Se ha decidido intercambiar calor con el suelo mediante una configuración de tubos en vertical puesto que la horizontal requeriría de una superficie a perforar muy extensa (dos veces a la superficie a climatizar), y por ende muy costosa. Además, las fluctuaciones debidas a la radiación solar se notarían de forma más notable en las horizontales, debido a la menor profundidad en la que se encuentran.

Para determinar la longitud del intercambiador de calor enterrado se pueden utilizar las siguientes fórmulas, situadas a la derecha.

$$Lcalefacción = \frac{Qcalefacción \cdot \frac{COP-1}{COP} \cdot (Rp+Rs \cdot fcalefacción)}{TL-TMIN}$$

$$Lrefrigeración = \frac{Qrefrigeración \cdot \frac{EER+1}{EER} \cdot (Rp+Rs \cdot frefrigeración)}{TMAX-TH}$$

En donde,

- Q: Potencia calorífica/frigorífica de la bomba.
- COP/EER: Eficiencia de la bomba.
- Rp: Resistencia de los tubos al flujo de calor.
- Rs: Resistencia de la tierra.
- f: Fracción de tiempo que está en marcha la bomba de calor.
- TH/TL: Temperaturas máxima y mínima de la tierra.
- TMAX/TMIN: Temperaturas máximas y mínimas de entrada del fluido a la bomba de calor.

En función de dichas ecuaciones, y considerando el peor caso (longitud máxima entre Lcalefacción y Lrefrigeración), puede determinarse una longitud necesaria de 140 m de profundidad. Por lo tanto, se decide repartir esa distancia y colocar dos sondas a 70 m[10]. Las mismas deberán ser colocadas a una distancia mínima entre ellas de 5 a 6 m para obtener un rendimiento máximo y el diámetro de la perforación debe ser de 150 mm según lo especificado en la hoja de datos del fabricante (CIATEMA).

El Gráfico Nº16 muestra una imagen de las sondas geotérmicas seleccionadas.

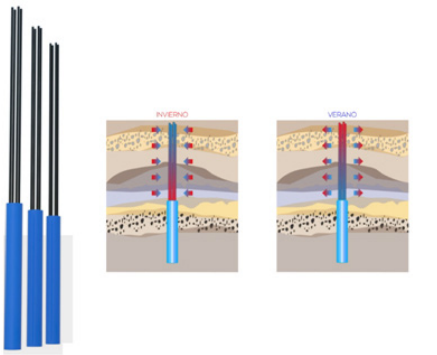


Gráfico Nº16 Ejemplo de sondas Geotérmicas verticales.

[10]. A modo comparativo, un edificio de oficinas de seis pisos requiere de 20 sondas a 120 m cada una.

3.5. SELECCIÓN DE UNIDADES TERMINALES

Por último, el conjunto de unidades terminales del sistema de climatización estaría compuesto por los denominados Fan Coils (Imagen Nº8).

El sistema de climatización final es una red de conductos, situada en el falso techo de cada una de las plantas que conforman a la casa. En la misma, se podrá optar por disponer de

un Fan Coil con su respectiva rejilla en cada una de las salas en las que se divide la vivienda (Imagen Nº9) o armar un sistema centralizado (Imagen Nº10).

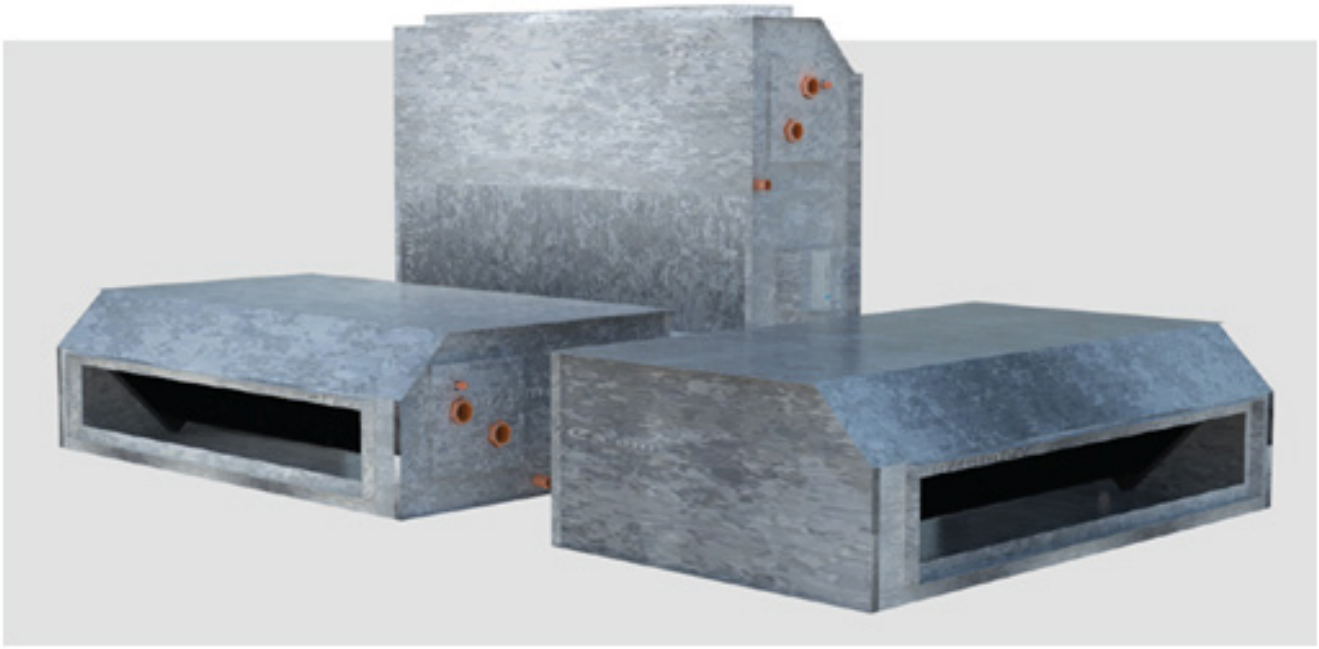


Imagen Nº8. Fan Coils Hidros V del fabricante CIATEMA.

Imagen Nº9. Fan Coil Imagen Nº10. Fan CoilSistema centralizado

El principio de funcionamiento del Fan Coil se basa en un ventilador centrífugo que aspira el aire a través de una rejilla de retorno de chapa perforada. El aire se filtra, y se calienta o enfría, a través de una batería de intercambio alimentada con agua caliente o con agua fría.

A continuación, se incluye un esquemático de un Fan Coil para que aclarar su funcionamiento (Gráfico Nº17) :

1) El aire de entrada, atraviesa unos filtros para quitar impurezas y olores.

2) Luego se dirige a la zona de las baterías térmicas (Coils) que están constituidas por tuberías por las cuales circula agua caliente o fría de acuerdo al control de las válvulas.

3) El ventilador expulsa el aire caliente/frío al ambiente a climatizar.

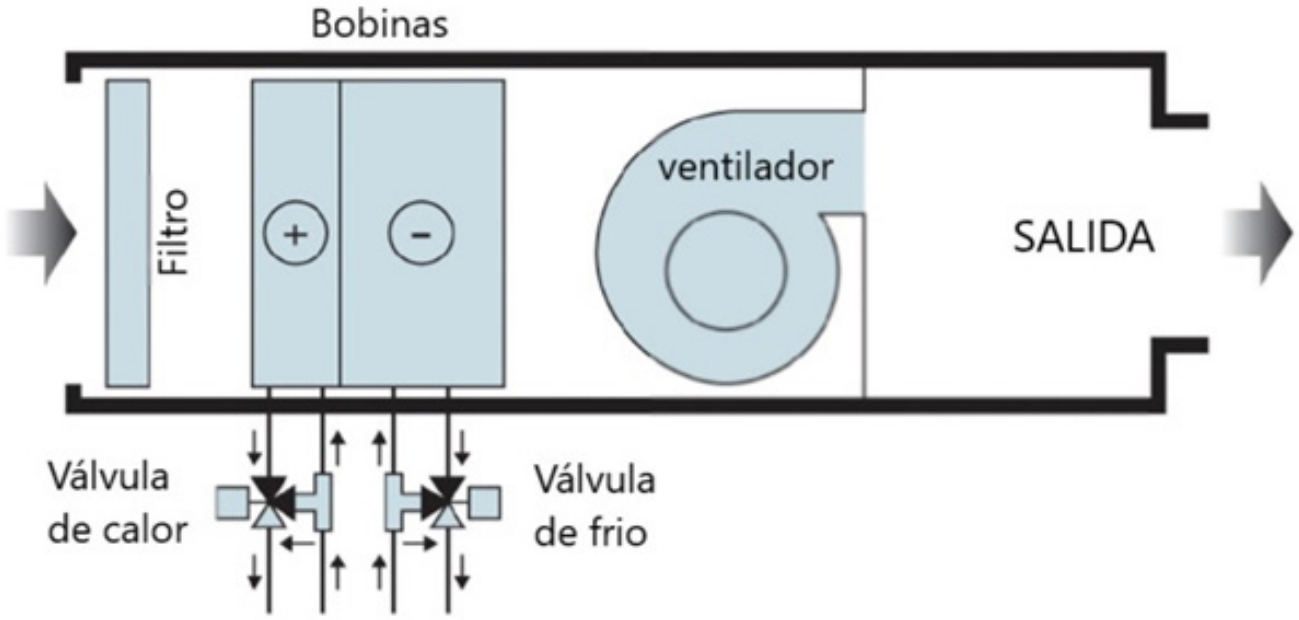


Gráfico Nº17. Esquemático de un Fan Coil.

En el caso de este ejemplo, y siguiendo con el mismo fabricante, CIATEMA ofrece equipos con potencias frigoríficas de entre 3,3 kW - 9,6 kW, y potencias caloríficas de entre 3,7 kW – 10,3 kW.

A modo de resumen, en la Imagen Nº11 se incluye un diagrama con la solución integral implementada. En la misma, se observa como la bomba geotérmica también podría ser utilizada para implementar un piso radiante/refrescante.

Imagen nº 11. Esquemático de la solución implementada.

#04

COMPARATIVA CON OTRAS ENERGÍAS RENOVABLES Y NO RENOVABLES

Es muy importante tener en cuenta que la explotación de un yacimiento geotérmico debe efectuarse de manera tal que el volumen de agua caliente o vapor que de él se extrae, no sea mayor que la recarga natural de agua que alimenta al acuífero. Sólo bajo estas condiciones, el recurso energético puede ser considerado como una fuente de carácter “renovable”.

La obtención de la energía geotérmica puede considerarse continua, ya que no está condicionada por ningún factor externo. Es el calor del interior del planeta lo que la genera, y está presente a lo largo de toda su superficie, con lo cual, no se circunscribe a ningún territorio en particular. El calor tendrá distintos niveles, lo cual posibilita su empleo en distintas actividades (Tabla Nº4)

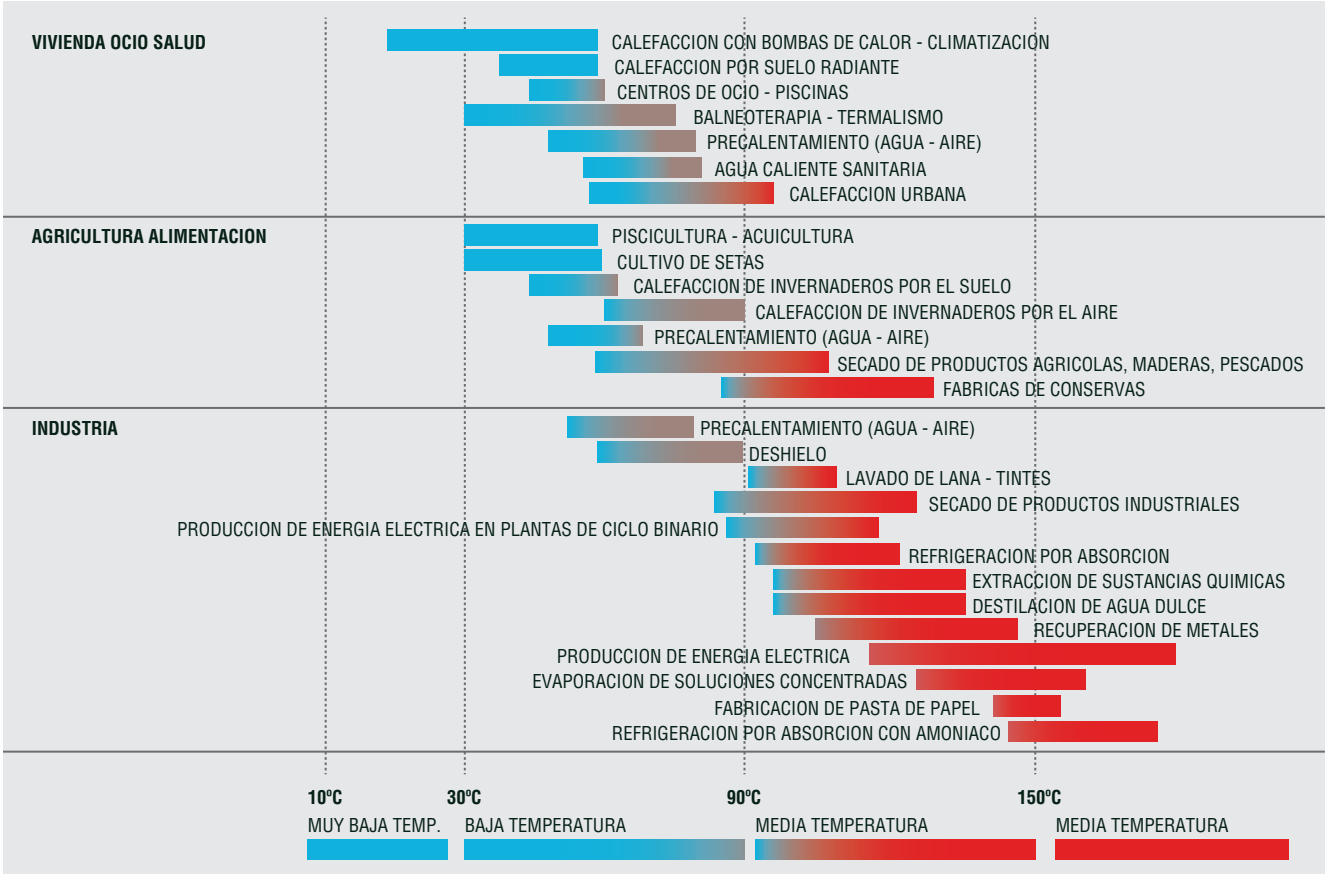


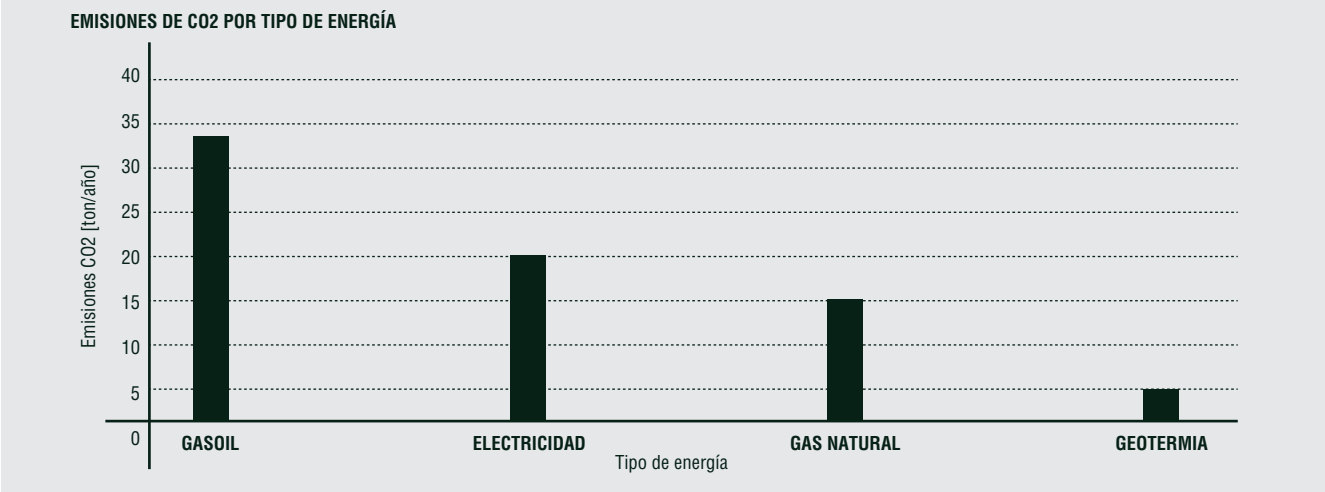
Tabla Nº4. Aplicaciones de la Energía Geotérmica en función de la temperatura del yacimiento.

Siempre y cuando los usos sean racionales, la fuente energética es inagotable. Lo cual es lo opuesto a las energías fósiles. Ya sea que se recurra al agua subterránea como medio de extracción o a sondas geotérmicas (transmisores verticales del calor del subsuelo), el proceso es ilimitado. El agua puede renovarse naturalmente a través de la recarga con aguas superficiales o bien, de manera artificial mediante su inyección en el subsuelo.

La energía geotérmica también es considerada "limpia", ya que no quema combustibles y, por lo tanto, genera un menor impacto ambiental que el originado por los derivados del petróleo.

Las bombas de calor geotérmicas utilizadas para la producción de agua caliente sanitaria, solamente se alimentan de energía eléctrica para hacer funcionar los compresores eléctricos, las bombas de circulación y los ventiladores del interior del edificio, con lo cual, al existir un menor consumo eléctrico, las emisiones de gases también disminuyen.

En el Gráfico Nº18, se diferencian las emisiones de CO2 emanadas por la calefacción de una vivienda tipo de 150 m2 con diferentes tipos de energía:



En el Gráfico Nº18. Emisiones de CO2 por tipo de energía para calefaccionar una casa de 150 m2.

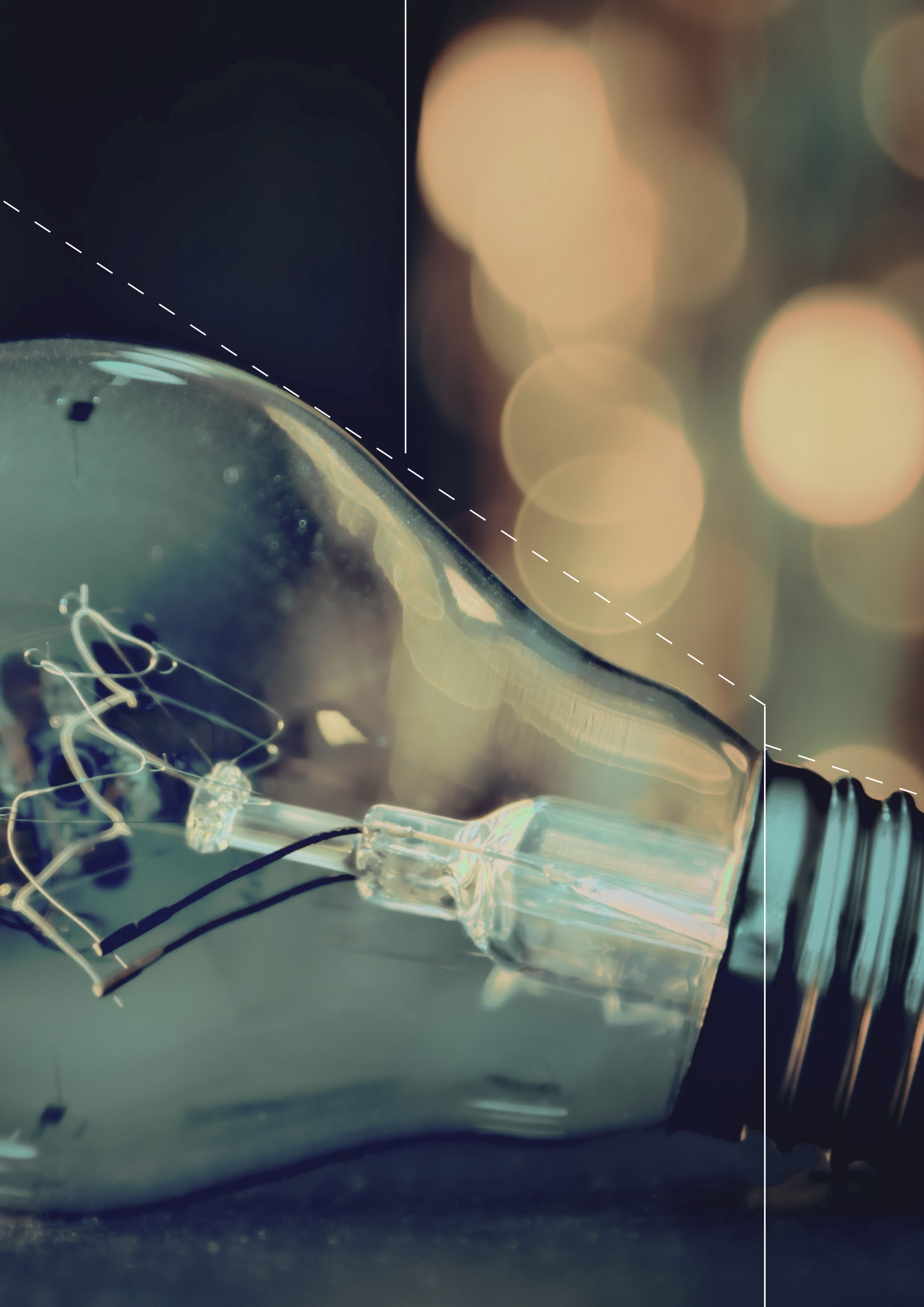
A su vez, si comparamos la media de CO2 emitido por las centrales geo termoeléctricas en el mundo versus el emitido por una central de gas natural, hallamos que las de gas natural arrojan 10 veces más contaminantes que las primeras, para las cuales se calcula 55 g/kWh.

En cuanto a la valoración a nivel microeconómico (hogar), se aprecia que la creación de un sistema con bomba de calor geotérmica demanda una inversión inicial un poco más elevada que el de una instalación común de calefacción y refrigeración, pero los costos de explotación son por demás inferiores. Ya que, prácticamente no requiere de mantenimiento, además de reducir el consumo de energía (con su consecuente pago) dado su buen rendimiento energético.

A nivel macro podría concluirse que lo costoso está dado por la exploración de terrenos, pero esta situación también la padecen los sectores petroleros y mineros. Con esto se constata que – compartiendo la misma característica de inversión con las energías fósiles – gracias a un costo de explotación bajo, el negocio será cada vez más rentable, ya que la energía derivada del petróleo irá escaseando con su lógico encarecimiento.

La eficiencia es otra característica que define a la energía geotérmica (ver sección Eficiencia Energética).

Otra ventaja que conlleva el uso de la energía geotérmica, es que podría organizar el abastecimiento de energía de manera local, y por extrapolación a nivel general, hallándose siempre disponible el suministro necesario para el desenvolvimiento de la vida diaria. Aquí es donde se habla de la retroalimentación del proceso, dado que es posible adecuar los recursos geotérmicos a las necesidades y disponibilidad que se presente del recurso. Esta situación redunda paralelamente en más industrias, más fuentes de trabajo, y un alentador desarrollo regional.



#05

EFICIENCIA ENERGÉTICA

Las instalaciones para calefacción y climatización de edificios se diseñan, generalmente, para condiciones extremas. Gracias a la energía geotérmica, por la mayor estabilidad de las temperaturas del subsuelo, se podrán instalar bombas de calor de menor capacidad que si tuviesen que utilizar la temperatura ambiente exterior.

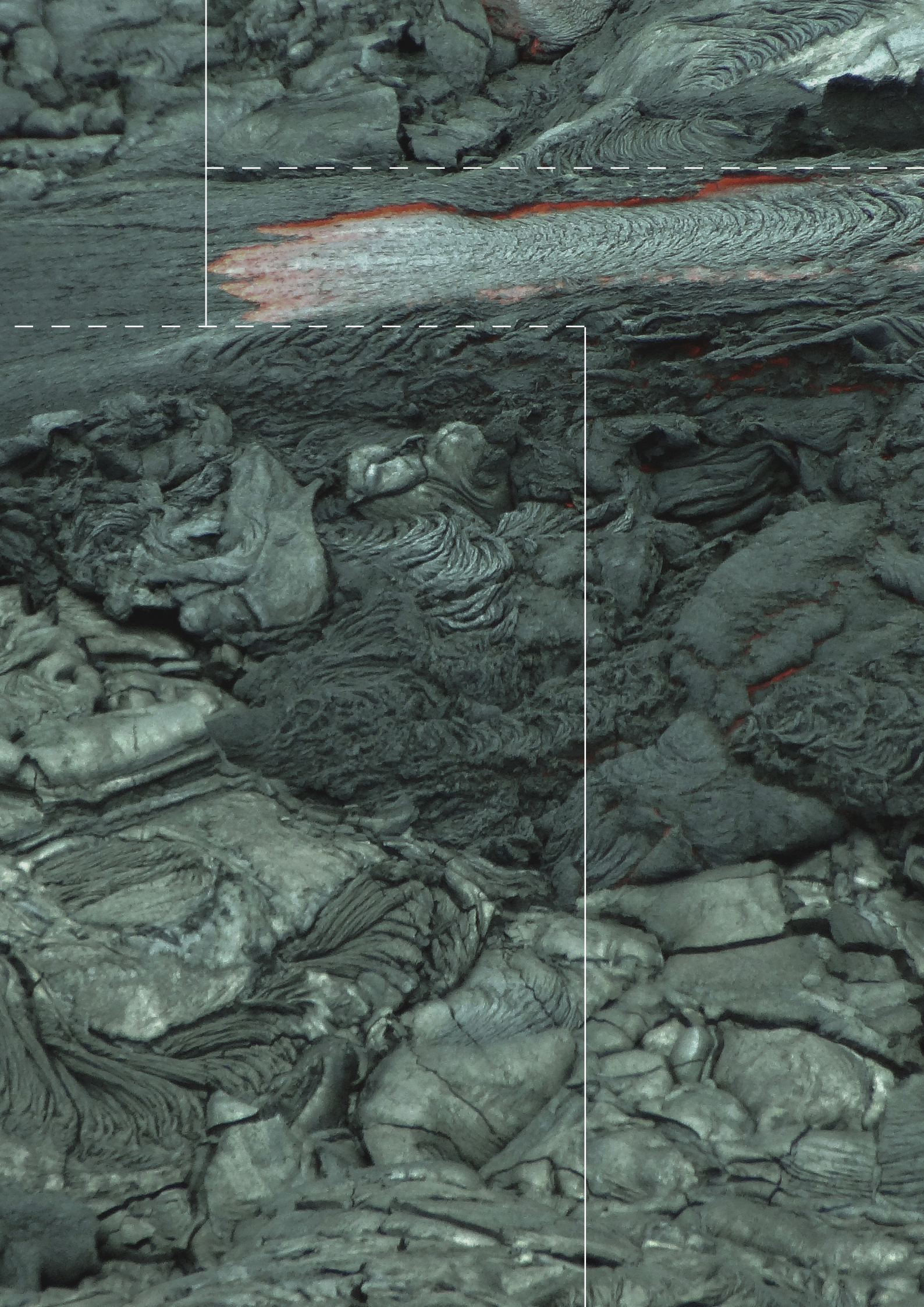
En climas con variaciones de temperatura importantes, las bombas de calor geotérmicas tienen mejores prestaciones que las bombas de calor que utilizan aire exterior, cuyo rendimiento baja considerablemente con las temperaturas extremas.

Un sistema geotérmico utiliza la electricidad para activar el compresor de la bomba de calor, los ventiladores del interior del edificio, las bombas de circulación de los circuitos de intercambio con el subsuelo y en el edificio, y los sistemas de control. En general, se produce entre 2 y 4 veces más energía térmica o frigorífica que la energía eléctrica que se consume. Eso significa que estos sistemas tienen rendimientos de 200 a 400%, muy superiores a las resistencias eléctricas, donde el rendimiento máximo es del 100%.

También son superiores a los sistemas clásicos de climatización (aires acondicionados frío/calor). Una instalación que utilice energía geotérmica, comparada con instalaciones clásicas de bombas de calor o de climatización, permite ahorros de energía de 30 a 70% en calefacción y de 20 a 50% en climatización. Un sistema geotérmico también compite ventajosamente con otros sistemas de calefacción, incluso con los sistemas con mejores prestaciones de gas natural.

La tecnología que emplean las bombas de calor geotérmicas ha sido calificada por la Agencia de Protección del Medio Ambiente de Estados Unidos como la más eficiente para calefacción y refrigeración existente hoy en día.

El Departamento de Energía de EE.UU. considera que la bomba de calor geotérmica es ideal para aplicaciones en edificios residenciales, comerciales y gubernamentales.



ISBN 978-987-4401-40-3

FO
DE
CO

FONDO PARA EL DESARROLLO
DE LA CONSTRUCCION

CÁMARA ARGENTINA
DE LA CONSTRUCCIÓN