

La energía Geotérmica

General

El aprovechamiento de la energía Geotérmica empleando captadores enterrados unidos a bombas de calor, es una práctica extendida en los países centroeuropeos, donde el interés por utilizar energías renovables, ha hecho que este tipo de sistemas haya experimentado grandes avances.

Una bomba de calor permite “bombear” calor desde un punto a baja temperatura a otro a alta temperatura consumiendo una pequeña cantidad de energía eléctrica. El consumo eléctrico depende de la eficiencia de la bomba de calor, de la fuente de la que se extrae la energía y de la temperatura a la que se entrega.

La fuente de energía puede ser aire, agua (de un pozo, lago, río,...) o tierra. El fluido a calentar puede ser agua o aire. Los sistemas más eficientes son los que aprovechan la energía del agua o de la tierra (sistemas geotérmicos) y calientan agua.



Climatización de un auditorio mediante una climatizadora aire-aire

Tipos de captación geotérmica

Los sistemas más utilizados y seguros, son los sistemas con captadores que extraen la energía almacenada en la tierra (denominados sistemas tierra – agua).

Dentro de las instalaciones que aprovechan la energía de la tierra existen dos variantes en función del tipo de captación empleado: **captación horizontal** y **captación vertical**.

En el sistema con **captación horizontal** se entierran las sondas a 1,5-2 metros de profundidad para extraer la energía del terreno. Suelen ocupar una superficie bastante grande, en la que no se pueden plantar árboles pues podrían dañar las tuberías con sus raíces.



Captación horizontal de 1500 m de tubería, 900 m² de superficie y 2,5 m de profundidad

En la **captación vertical** se realizan perforaciones en el terreno de unos 150 mm de diámetro en las que se introducen las sondas de captación. Posteriormente se sellan los pozos con una mezcla de bentonita, arena, cemento y agua de abajo hacia arriba.

El sistema de captación vertical es más eficiente que el horizontal, ya que a partir de los 10-15 metros de profundidad la temperatura del terreno no se ve afectada por las condiciones atmosféricas. La temperatura de la tierra aumenta con la profundidad. Existe un gradiente geotérmico de aproximadamente 3 °C por cada 100 metros de profundidad.

En algunos casos existe la posibilidad de aprovechar las aguas subterráneas (aprovechamiento de la **capa freática**) para la captación de la energía directamente mediante una bomba de calor. Para ello el agua debe ser limpia y su nivel más o menos constante en la temporada de demanda térmica. Estos sistemas necesitan un pozo para extraer el agua y otro, aguas abajo, para el retorno del agua empleada.



Perforación geotérmica vertical a 140 m de profundidad con 2 sondas de doble U y tubo de inyección de la mezcla geotérmica

Aplicaciones

Las instalaciones geotérmicas permiten calentar agua a baja temperatura (temperatura máxima de 65°C), por lo que son ideales para la producción de ACS; calefacción por suelo radiante, fan-coils y radiadores de baja temperatura; climatización de piscinas cubiertas y cualquier tipo de aplicación en la que se necesite agua caliente a baja temperatura.



Climatización de piscina con bomba de calor geotérmica



Instalación geotérmica en fase de ejecución

Además, las instalaciones geotérmicas se pueden emplear para refrigeración en sistemas de climatización (suelo radiante, fan-coils, etc.). El rendimiento del sistema geotérmico para la producción de calor es inversamente proporcional a la temperatura de impulsión de la bomba de calor.



Calefacción y refrigeración de un hotel con energía geotérmica mediante suelo radiante y fan-coils

Ventajas

Los sistemas geotérmicos presentan excelentes ventajas sobre los sistemas tradicionales de calefacción y refrigeración, pues los consumos son muy inferiores y el impacto ambiental mínimo.



Instalación geotérmica y de biomasa en la vivienda bioclimática del parque experimental de Sotavento

Las principales ventajas de este tipo de sistemas son

- Reduce entre un 40% y un 70% los gastos de operación de la instalación
- La energía procedente de la tierra no produce contaminación y se renueva de forma natural
- Son capaces de proporcionar calefacción y refrigeración en un solo sistema y sin necesidad de sistemas auxiliares (chimeneas y depósitos de combustible).
- Su rendimiento y su vida útil es muy superior al de los sistemas tradicionales.

- Son sistemas altamente flexibles, pues permiten cubrir nuevas necesidades energéticas, simplemente aumentando el número de pozos.



Instalaciones geotérmicas para ACS y calefacción en viviendas unifamiliares

Cómo funciona una instalación Geotérmica

El funcionamiento de una instalación Geotérmica es sencillo y se basa en el ciclo de refrigeración.

En un ciclo frigorífico, el refrigerante (fluido de trabajo con bajo punto de ebullición) sufre una serie de cambios de estado al pasar por los componentes de una máquina frigorífica (compresor, condensador, válvula de expansión y evaporador) de forma cíclica.

En estos sistemas, empleando una pequeña cantidad de energía de alto nivel (generalmente energía eléctrica), se puede “bombear” energía no útil a baja temperatura a un nivel de temperatura superior, de tal modo que puede ser empleada para cubrir las necesidades de calentamiento de una instalación.

Este sistema se puede emplear de forma inversa para retirar el exceso de calor de sus instalaciones en las épocas más calurosas y enviarlo al subsuelo.

Por tanto, en contraposición a los sistemas convencionales de calefacción, los sistemas geotérmicos trasladan calor de un lugar a otro empleando el ciclo frigorífico.



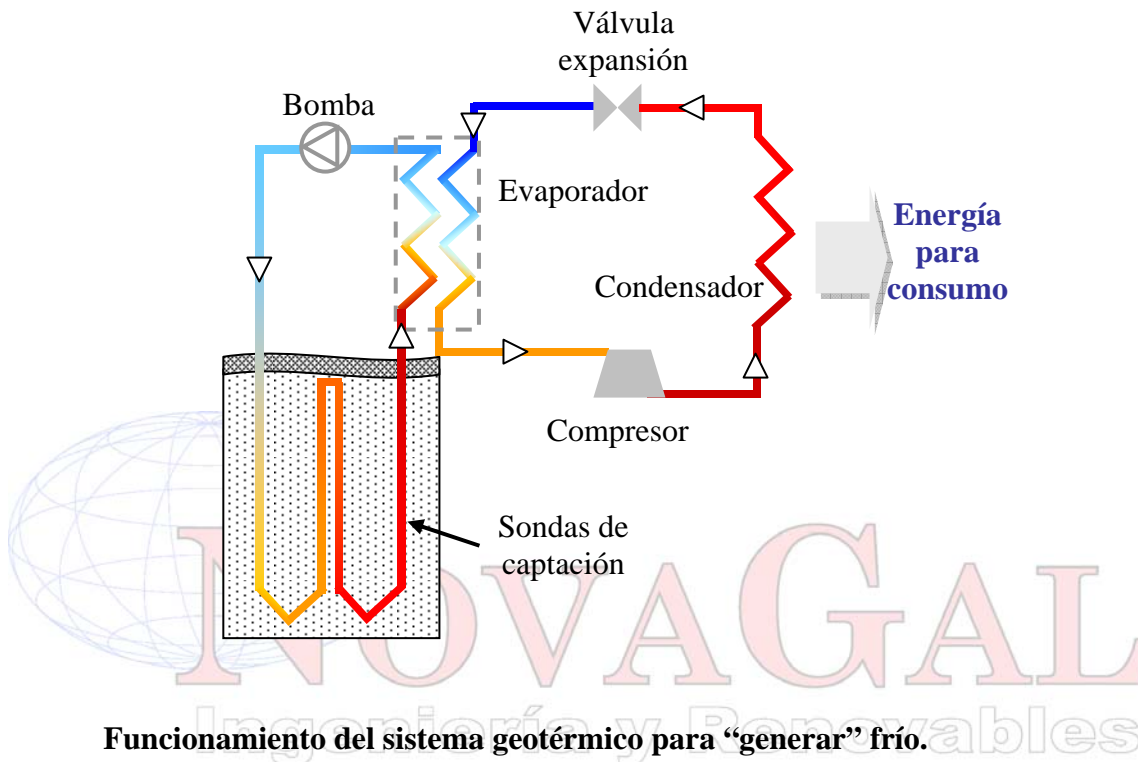
Calefacción geotérmica en vivienda unifamiliar con almacenamiento de calor en depósitos de inercia (2 X 5.000 l) para funcionamiento en período de discriminación horaria reducida (anteriormente tarifa nocturna).

Los siguientes diagramas representan el funcionamiento de este tipo de sistemas, tanto para calentamiento como para enfriamiento.

Funcionamiento del sistema geotérmico para generar calor.

- El fluido (mezcla de anticongelante) contenido en las sondas de captación enterradas, absorbe el calor del terreno aumentando su temperatura, hasta llegar a unos 15 °C.
- Este fluido se pone en contacto, a través de un intercambiador de calor con el fluido refrigerante que circula por el evaporador de la bomba de calor. El fluido de las sondas de captación está más caliente que el fluido frigorífico de la bomba de calor (4 - 10 °C), por lo que el fluido frigorífico se calienta y evapora al pasar por el evaporador.
- El fluido frigorífico pasa al compresor de la bomba de calor al dejar el evaporador. El compresor, accionado generalmente con energía eléctrica, se encarga de aumentar la presión del fluido frigorífico. Este aumento de presión lleva consigo un aumento en la temperatura del vapor de refrigerante hasta 50 – 60 °C.
- El calor contenido en el fluido frigorífico se aprovecha para calefacción, A.C.S., climatización de piscinas, etc. retirando la energía a través del condensador. Esta pérdida de energía del fluido frigorífico, hace que baje su temperatura, condensándose el fluido refrigerante.

- El último paso que debe seguir el fluido frigorífico para cerrar el ciclo, es volver a la presión inicial. Este proceso tiene lugar en la válvula de expansión, en la que fluido pierde presión y, en consecuencia temperatura, antes de volver a entrar en el evaporador para extraer el calor del subsuelo.

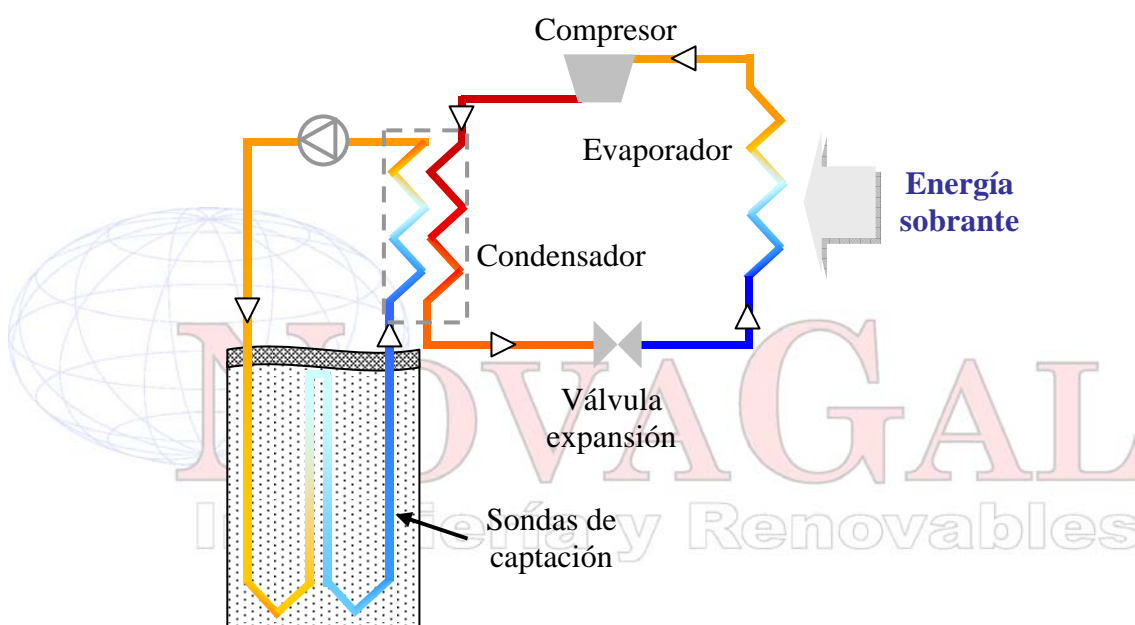


Funcionamiento del sistema geotérmico para “generar” frío.

- El fluido que circula por las sondas de captación, entra caliente en el suelo, enfriándose al entrar en contacto con el terreno que está más frío.
- El fluido frío de las sondas de captación se utiliza a continuación para enfriar el fluido frigorífico que circula por el condensador de la bomba de calor. El fluido frigorífico se encuentra en fase vapor a alta presión y alta temperatura a la entrada del condensador, cede calor al fluido que circula por las sondas de captación, de tal forma que se enfría y condensa.
- El fluido frigorífico pasa a continuación por la válvula de expansión donde se baja la presión. Esta pérdida de presión lleva consigo una bajada de temperatura del fluido refrigerante.
- El fluido refrigerante frío pasa por el evaporador, donde enfría los circuitos de techo, suelo radiante o fan – coils, eliminando así el calor sobrante de las

instalaciones que se desean refrigerar. En este proceso, el fluido refrigerante se calienta (4 - 10 °C) y se evapora.

- El fluido refrigerante entra entonces en el compresor, donde se aumenta su presión. Este aumento de presión del vapor de refrigerante lleva consigo un aumento de temperatura (50 – 60 °C).
- El calor retirado en el evaporador a baja temperatura, se elimina en el condensador, al entrar en contacto con el fluido que circula por las sondas de captación, cerrándose así el ciclo.



El funcionamiento de la bomba de calor en verano y en invierno es muy similar, intercambiándose la función condensador – evaporador según la época del año. En la bomba de calor el fluido refrigerante sufre unos cambios de fase, lo que permite absorber y entregar calor mediante procesos de evaporación y condensación. Los cambios en la presión del fluido refrigerante se llevan a cabo en el compresor y en la válvula de expansión, lo que provoca además cambios en la temperatura del refrigerante y permite el trasiego de energía de baja temperatura a alta temperatura.

Eficiencia energética de un sistema geotérmico

Generalmente, el rendimiento energético de un sistema se calcula dividiendo la energía que se obtiene entre la energía que se gasta para obtenerla. Para una bomba de calor, el rendimiento se mide de dos formas, según se emplee en modo de calentamiento o de enfriamiento.



Geotérmica en vivienda unifamiliar

- **Bomba de calor para calentamiento**

En el caso de un sistema geotérmico para calentamiento, la energía que consume el sistema es la energía necesaria para accionar el compresor (W_c) y la energía que se extrae del ambiente (Q_e), mientras que la energía obtenida es el calor cedido por la bomba de calor a través del condensador (Q_c).

La energía que cede la bomba de calor es la suma de la energía extraída del ambiente y la electricidad consumida por el compresor.

$$Q_c = Q_e + W_c$$

Ya que la energía extraída del terreno es gratuita, al contrario que en las calderas convencionales, en este tipo de sistemas se suele comparar la energía obtenida entre la

energía eléctrica consumida. A este cociente se le denomina C.O.P. (Coefficient Of Performance).

$$C.O.P. = \frac{Q_c}{W_c}$$

Así, un C.O.P. de 4 significa que, por cada kWh de energía eléctrica consumida, la bomba de calor es capaz de suministrar 4 kWh; así, cuanto mayor es el C.O.P. de una máquina, más ahorro energético se obtiene.

- **Bomba de calor para refrigeración**

En este caso los conceptos a emplear son un poco distintos, ya que la energía útil es la que se retira del local o fluido que se pretende enfriar. El compresor consume energía eléctrica para su accionamiento y, a través del condensador, se cede al terreno la energía retirada y la energía consumida por el compresor.

En este caso la eficiencia se mide empleando el E.E.R. (Efficiency Energy Rate), que considera la energía útil retirada por el evaporador (Q_e) y la energía consumida es la del compresor (W_c).

$$E.E.R. = \frac{Q_e}{W_c}$$

De nuevo, cuanto mayor sea el E.E.R., mayor será el ahorro que se consigue con este tipo de sistemas.

Si la bomba de calor trabajase entre las mismas temperaturas de condensación y evaporación y, teniendo en cuenta que el calor que se retira por el condensador es igual a la suma de la energía eléctrica consumida por el compresor y la energía retirada por el evaporador, se cumplirá:

$$C.O.P. = \frac{Q_c}{W_c} = \frac{Q_e + W_c}{W_c} = 1 + E.E.R.$$

En la realidad las temperaturas de condensación y evaporación son distintas para calentamiento y enfriamiento, por lo que el C.O.P. y el E.E.R. para los dos procesos son muy similares.

Conductividad térmica del terreno

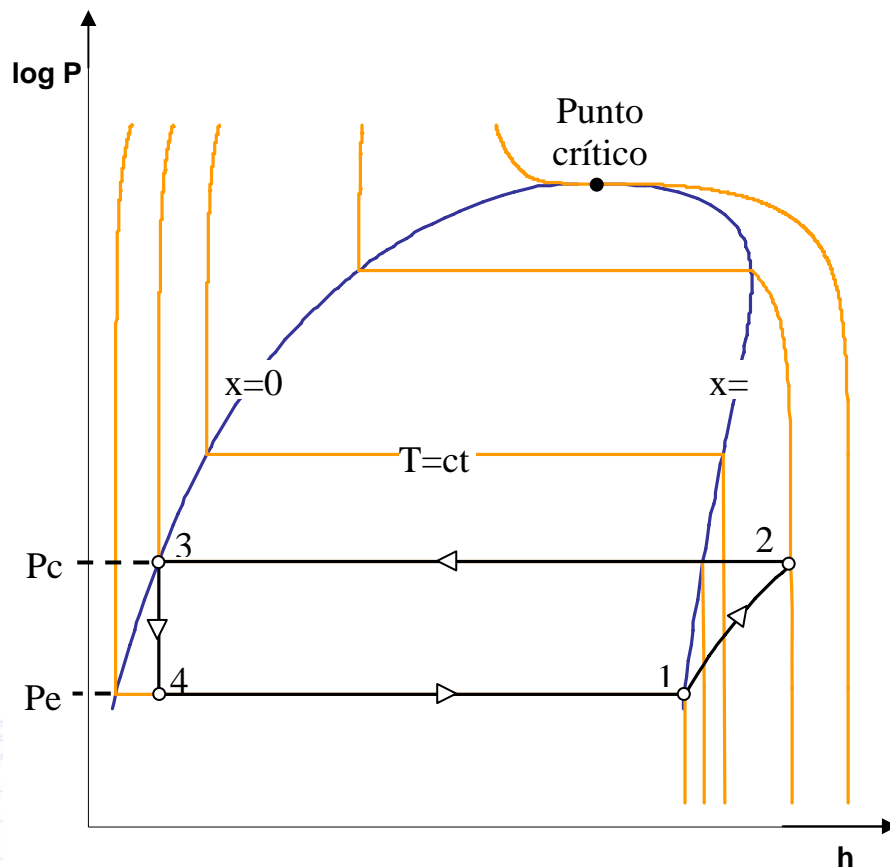
El tipo de terreno que rodea las sondas de captación y, en particular, la conductividad térmica del suelo, es un factor clave en el dimensionado de un sistema geotérmico. La conductividad térmica de un terreno depende fundamentalmente de su densidad, humedad y textura del suelo. En determinadas instalaciones es recomendable realizar un TRT (Test de Respuesta Térmica) del terreno para conocer su conductividad y dimensionar correctamente el sistema.

Más información sobre Geotérmica

El fluido refrigerante debería recorrer el ciclo lo más próximo posible al ciclo ideal de “Carnot”.

Diagrama log P – h

En el diagrama log P – h (logaritmo de presión – entalpía específica) se puede apreciar el funcionamiento del ciclo. En el eje de ordenadas se representa la presión, mientras que en el eje de abscisas se puede medir la energía transportada mediante las diferencias de entalpías específicas (energía por kilogramo de fluido).



La curva de líquido saturado ($x = 0$), separa la fase líquida de la zona de vapor húmedo, mientras que la curva de vapor saturado ($x = 1$) separa la zona de vapor húmedo de la fase vapor. Cualquier ciclo debe funcionar por debajo del punto crítico del fluido (punto donde se encuentran las curvas de líquido saturado y de vapor saturado)

La curva 1 – 2 – 3 – 4 representa el ciclo ideal de funcionamiento, en el que el vapor se comporta como un gas ideal y todos los componentes trabajan sin pérdidas.

En la realidad, el punto de salida del evaporador no coincide con el punto 1, ya que se correría el riesgo de que entrase algún líquido en el compresor, para evitar esto se aprovecha el evaporador para sobrecalentar el vapor antes de la entrada del compresor.

El proceso de compresión (1 – 2) no es isoentrópico, ya que el vapor de refrigerante no es un gas ideal y se producen pérdidas por fricción en el movimiento del compresor. En consecuencia esta curva será más plana, por lo que la temperatura a la salida del compresor será superior para la misma presión de condensación. Esto provoca

que se necesite más energía de compresión para alcanzar la misma presión y temperatura de condensación.

Para asegurar que en la válvula de expansión llegue todo el refrigerante en fase líquida, el punto 3 no estará sobre la curva de saturación, sino que se aprovechará el condensador para subenfriar el fluido de trabajo.

Además de estas diferencias sobre el ciclo ideal de funcionamiento, se deben considerar las pérdidas de presión del fluido al circular por las tuberías y distintos componentes de la máquina, por lo que la curva real de funcionamiento diferirá de la representada en el gráfico.

El futuro de la energía geotérmica

En los últimos años está aumentando el número de instalaciones geotérmicas, debido a sus excelentes prestaciones y a los beneficios medioambientales que ofrece. Esto ha hecho que se intensifique el estudio y desarrollo de las bombas de calor, alcanzando actualmente un gran incremento en su rendimiento. Los sistemas son cada vez más seguros y baratos, por lo que este tipo de instalaciones se han convertido en importantes competidoras de los sistemas convencionales.

NOVAGAL
Ingeniería y Renovables