

## ***Geotermia: aprovechamiento con BCGT*** ***Energía eficiente bajo la superficie de la tierra***

### 1. Introducción

El modelo energético tradicional, basado en la generación de energía a partir de combustibles fósiles (petróleo, carbón, gas) con una elevada volatilidad en los precios, nos hace cada vez más vulnerables y dependientes, puesto que se trata de recursos limitados, localizados en zonas específicas y con efectos nocivos para el medio ambiente y la salud.

La creciente concienciación con la protección del medio ambiente, unida a la amenaza del cambio climático, obliga a la búsqueda de un **modelo futuro más sostenible e independiente**, que combine seguridad, garantía de suministro, competitividad en los precios, ahorro energético y respeto por el medio ambiente.

**La Geotermia es el aprovechamiento de la energía almacenada en forma de calor bajo la superficie de la tierra.** <sup>[1]</sup>

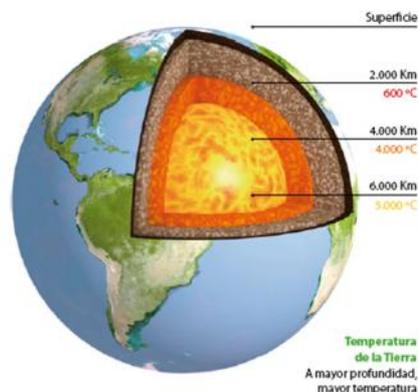


Figura 1. Temperatura de la tierra

La energía geotérmica se renueva como consecuencia del flujo de calor geotérmico, que asciende desde el interior del planeta, y de la radiación solar, que calienta la superficie del

suelo. La energía térmica del planeta es inagotable, lo que la convierte en una fuente limpia y renovable, de producción continua las 24 horas del día.

Las exigencias en cuanto a la limitación y reducción de emisiones de gases de efecto invernadero hacen necesario el desarrollo e implementación de tecnologías altamente eficientes, con objetivos establecidos por la Unión Europea a través de diferentes directivas. Entre ellas, cabe destacar la Directiva 2009/28/CE relativa al **fomento del uso de energía procedente de fuentes renovables**<sup>[2]</sup>, la Directiva 2010/31/UE relativa a la **eficiencia energética de los edificios**<sup>[3]</sup> y la Directiva 2012/27/UE, destinada a superar deficiencias del mercado que obstaculizan la **eficiencia en el abastecimiento y el consumo de energía**<sup>[4]</sup>. El sector edificatorio es crucial para alcanzar los objetivos de reducción de emisiones de gases de efecto invernadero<sup>[3]</sup>, la Directiva 2012/27/UE insta a los Estados miembros a crear una estrategia a largo plazo destinada a movilizar inversiones en la renovación de edificios para mejorar el rendimiento energético.

## 2. Tipos de Geotermia

Se denomina entalpía a la cantidad de energía térmica que un fluido u objeto pueden intercambiar con su entorno. Se expresa en kJ/Kg o en Kcal/Kg. No existen aparatos que determinen la entalpía de un fluido en el subsuelo, pero sí sondas que miden la temperatura, y como temperatura y entalpía pueden considerarse proporcionales, se ha generalizado el empleo de las temperaturas de los fluidos geotermiales en lugar de sus contenidos en calor.

- (a) La energía geotérmica de **alta entalpía** es la que aprovecha un recurso geotérmico que se encuentra en determinadas condiciones de presión y alta temperatura (>150°C). El aprovechamiento de este recurso puede hacerse directamente si se dan de forma natural las condiciones geológicas y físicas para ellos. Si se dan las condiciones físico-geológicas adecuadas pero no existe fluido, éste podría inyectarse para crear un yacimiento de roca caliente seca (geotermia estimulada).
- (b) La energía geotérmica de **baja entalpía** basa sus aplicaciones en la capacidad que tiene el subsuelo para acumular calor y mantener una temperatura constante, entre 10 y 20 m de profundidad, a lo largo de todo el año. Ya que este calor es insuficiente para producir energía eléctrica, los recursos con temperaturas <70°C e incluso hasta 15°C pueden ser utilizados para producción de agua caliente sanitaria (ACS) y para climatización (calefacción y refrigeración), ayudándose de un sistema de bomba de calor.

Se pueden establecer cuatro categorías:

**Alta temperatura (mayor de 150°C):** permite transformar directamente el vapor de agua en energía eléctrica.

**Media temperatura (entre 80°C y 150°C):** permite producir energía eléctrica utilizando un fluido de intercambio, que es el que alimenta a las centrales.

**Baja temperatura (entre 30°C y 80°C):** contenido en calor insuficiente para producir energía eléctrica, pero adecuado para calefacción de edificios y determinados procesos industriales y agrícolas.

**Muy baja temperatura (menor de 30°C):** puede ser utilizada para calefacción y climatización, necesitando emplear bombas de calor.

### 3. Usos y aplicaciones

En función de su contenido en calor (temperatura del fluido geotermal) se determinarán los usos y aplicaciones de la energía geotérmica.

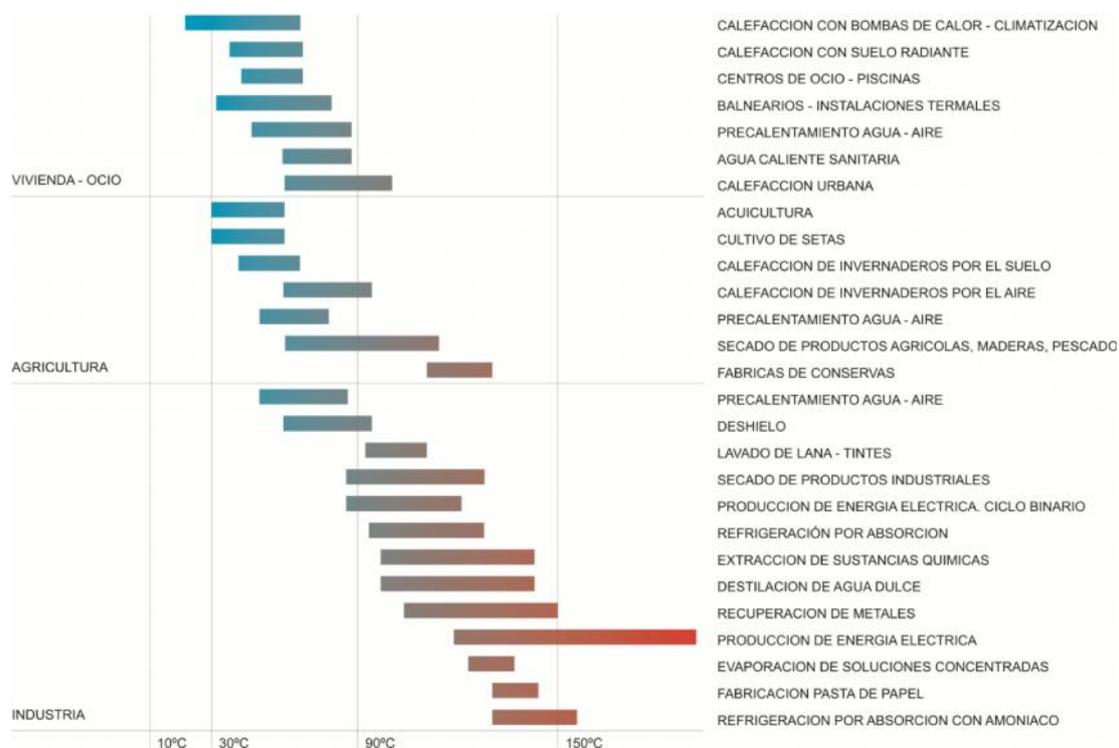


Figura 2. Aplicaciones de aprovechamiento geotérmico.  
Fuente: Site Geothermie-Perspectives de l'ADEME et du BRGM

#### Producción de energía eléctrica (energía geotérmica de alta entalpía)

Uso de vapor de agua a presión para alimentar una turbina y generar electricidad, bien de forma directa (circuito abierto), o mediante un intercambiador de calor (circuito cerrado).

#### Aplicaciones térmicas

Para las aplicaciones directas de calor geotérmico se dispone de un circuito secundario por el que circula un fluido a una temperatura que depende de la del recurso geotérmico a través del circuito primario y de la eficacia del intercambiador de calor. Dichas aplicaciones dependen del rango de las temperaturas del circuito secundario.

##### Viviendas

- Calefacción, suelo radiante, refrigeración de edificios y producción de agua caliente sanitaria (ACS).
- De gran aplicación para calentar grandes superficies – el volumen de los complejos a calentar dependerá de la capacidad del acuífero y del número de pozos, así como de la capacidad de extracción mediante bombeo.

##### Edificios públicos

- Calefacción, suelo radiante, refrigeración de edificios y producción de agua caliente sanitaria (ACS).
- Especialmente importante el uso en climatización de “spas”, balnearios, piscinas...
- Suelo radiante de puentes o aceras.

### Agricultura y acuicultura

- Calefacción de invernaderos, acuicultura, producción agrícola de animales, calefacción e irrigación de suelos para cultivos, cultivo de hongos, producción de biocombustibles.
- Uso significativo para cultivo de plantas en invernaderos, donde lo que se pretende es reproducir las condiciones de humedad y temperatura ideales en ambientes que no las poseen de forma natural.
- Los recursos geotérmicos mejoran los rendimientos en las instalaciones agropecuarias.
- Climatización de aguas de piscifactorías, tanto de carácter fluvial o lacustre como marino, para algunas especies concretas.

### Procesos industriales

- En general, innumerables aplicaciones: todas aquellas que precisen de un tratamiento de calor o vapor de agua en su elaboración, por ejemplo, el manipulado de pasta de celulosa en la industria del papel, los aportes de calor necesarios en la industria del secado y envasado de ciertos alimentos o bien, a temperaturas más elevadas, el propio proceso de los alimentos en la industria conservera.
- Agua caliente para máquinas de lavado, estaciones de lavado de vehículos, refrigeración por absorción a diversas temperaturas, etc.
- Industria química.

## 4. Sistemas cerrados de muy baja temperatura

Los sistemas geotérmicos de baja temperatura constan de un intercambiador de calor subterráneo, que a través de un fluido que circula en su interior extrae calor del subsuelo o introduce calor de la edificación en el terreno, y una bomba de calor que transfiere el calor entre el intercambiador y el sistema de distribución a baja temperatura del edificio.

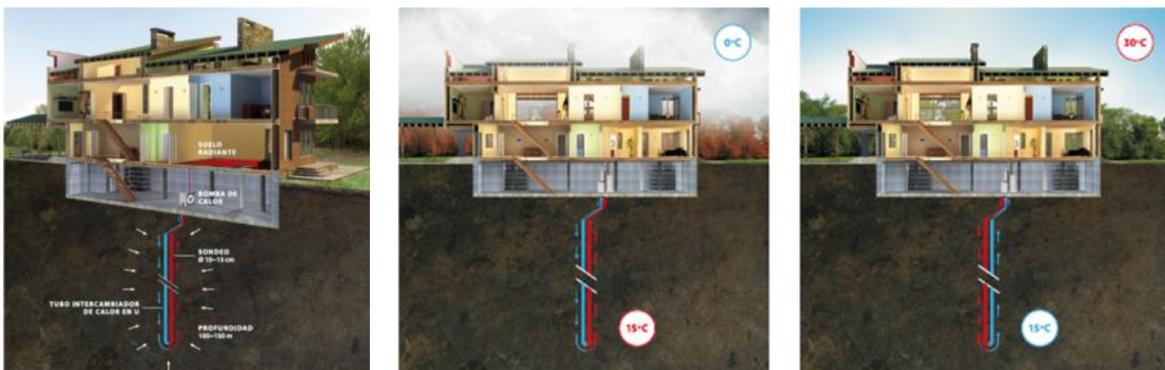


Figura 3. Aprovechamiento geotérmico con intercambiador vertical, BCGT y suelo radiante

En un sistema de bomba de calor geotérmica (BCGT) se absorbe el calor natural del suelo a través del fluido que circula por el interior de las sondas de polietileno y es aprovechado para producir temperaturas de impulsión de 50°C en calefacción o, invirtiendo el ciclo, 7°C en refrigeración.

Los aprovechamientos geotérmicos de muy baja temperatura se basan en que, **el subsuelo tiene una temperatura más constante que el aire exterior**. A partir de los primeros 15 metros de profundidad, la temperatura del terreno no varía en función de las condiciones climáticas. Esta energía está siempre disponible y puede ser aprovechada en cualquier ubicación donde se requiera.

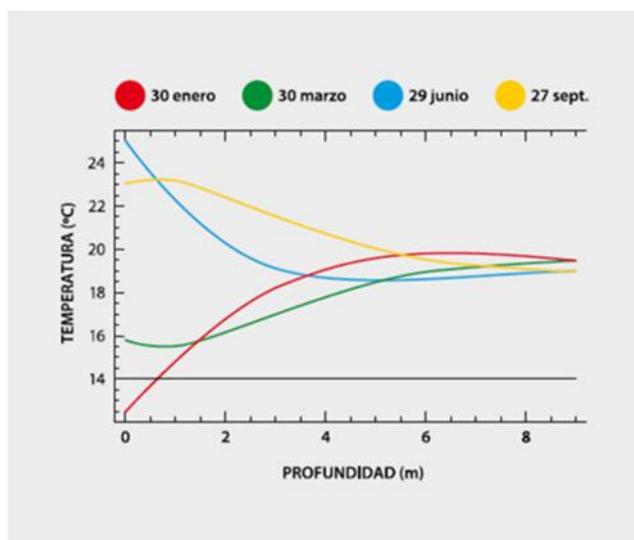


Figura 4. Evolución de la temperatura con la profundidad para diferentes días del año

Los ahorros en las instalaciones con BCGT se generan por el menor consumo de electricidad, por los escasos costes de mantenimiento y por la mayor duración de la vida útil que otros sistemas.

Los **sistemas de suelo radiante** se presentan como **óptimos para complementar el aprovechamiento geotérmico** mediante BCGT, ya que son sistemas de calefacción basados en circuitos de tuberías plásticas, normalmente de polietileno reticulado o multicapa, empotradas en el mortero situado bajo el pavimento, por las que circula agua en torno a 40°C, transmitiendo, básicamente por radiación, el calor al ambiente. También se puede utilizar la instalación para aporte de frío. En las instalaciones de suelo radiante se consigue un mayor confort debido al reparto uniforme de la temperatura y a su estratificación, proporciona aislamiento termoacústico, mejora la estética y contribuye al ahorro energético.



Figura 5. Suelo radiante

## Geotermia

Recurso siempre disponible en cualquier ubicación

## Sistemas climatización radiante

óptimo complemento para el aprovechamiento geotérmico

### 5. Aprovechamientos renovables con Bomba de Calor Geotérmica (BCG)

De acuerdo con la Directiva 2009/28/CE relativa al fomento del uso de energía procedente de fuentes renovables, los aprovechamientos geotérmicos para bomba de calor serán considerados como aprovechamientos de energía procedente de fuentes renovables “siempre que la producción final de energía supere de forma significativa el insumo de energía primaria necesaria para impulsar la bomba de calor”<sup>[2]</sup>.

En su Anexo VII, esta directiva detalla la metodología de cálculo de la cantidad de calor que se ha de considerar como energía procedente de fuentes renovables en usos con equipos de bomba de calor. En este Anexo, se establece que “la cantidad de energía aerotérmica, geotérmica o hidrotérmica capturada por bombas de calor que debe considerarse energía procedente de fuentes renovables”, deberá calcularse de acuerdo con la siguiente fórmula:

$$E_{res} = Q_{usable} \times (1 - 1/SPF)$$

Siendo:

- $E_{res}$ : cantidad de energía procedente de fuentes renovables.
- $Q_{usable}$ : calor útil total proporcionado por la bomba de calor.
- $SPF$ : coeficiente de prestaciones medio estacional proporcionado por la bomba de calor.

En la Decisión de la Comisión 2013/114/UE, de 1 de marzo de 2013, se establecen las directrices para el cálculo por parte de los Estados Miembros de la energía renovable procedente de las bombas de calor, indicando cómo deben estimar los Estados Miembros los parámetros  $Q_{usable}$  y el factor de rendimiento estacional (SPF), teniendo en cuenta las diferencias de las condiciones climáticas existentes<sup>[5]</sup>.

Recientemente, en febrero del presente año 2014, el Ministerio de Industria, Energía y Turismo de España a través del Instituto para la Diversificación y el Ahorro de la Energía (IDAE), publica el documento reconocido “Prestaciones medias estacionales de las bombas de calor para la producción de calor en edificios” al objeto de establecer una metodología sencilla y de mínimos para la identificación de aquellas bombas de calor accionadas eléctricamente que puedan ser consideradas como bombas de calor renovables<sup>[6]</sup>.

## 6. Diseño y cálculo

Los sistemas geotérmicos de baja temperatura están integrados, generalmente, por:

Un **intercambiador de calor subterráneo** (sondas verticales, horizontales...) que, a través de un fluido que circula en su interior (normalmente agua glicolada) extrae calor del subsuelo o introduce calor de la edificación en el terreno.

Una **bomba de calor** que transfiere el calor entre el intercambiador y el sistema de distribución del edificio, mediante un fluido frigorífico.

Un **sistema de distribución** (suelo radiante, radiadores baja temperatura...) que utiliza el calor o el frío en el edificio.

La bomba de calor extrae la energía térmica del subsuelo y, a través de ese aporte, evapora un refrigerante a muy baja presión y temperatura que se comprime a través de un compresor, aumentando su temperatura y su presión. El vapor pasa al condensador y cede calor al medio a calentar. Finalmente, el fluido pasa a través de una válvula de expansión volviendo a reducir su temperatura y presión e iniciando de nuevo el ciclo frigorífico de la bomba de calor. Todo ello proporciona importantes ahorros de energía (30-70%) en comparación con los sistemas convencionales.

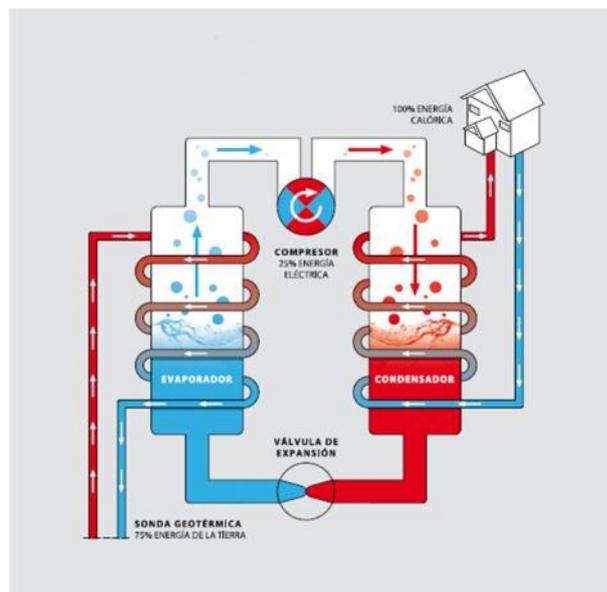


Figura 6. Esquema de funcionamiento de una bomba de calor

Para realizar este proceso la bomba de calor consume una pequeña cantidad de electricidad. El rendimiento de la bomba de calor se mide por el COP ("Coefficient of Performance" o coeficiente de eficiencia energética), que representa la relación entre la energía térmica entregada en el condensador (cantidad de calor producida) y la energía eléctrica consumida en el compresor. Por otra parte, el EER ("Energy Efficient Ratio" o coeficiente de eficacia frigorífica) es la relación entre la energía frigorífica generada en el evaporador (cantidad de frío producida) y la energía eléctrica consumida en el compresor.

Los **intercambiadores geotérmicos verticales** están formados por sondas de polietileno de alta densidad (PE), o de polietileno reticulado (PE-X), en U simple o en U doble, alojados en el interior de sondeos verticales, de profundidad variable entre 50 y 150 m. Se requiere de muy poca superficie para su instalación y se necesita una menor longitud de tubo, al ser mayor la transferencia de calor por metro lineal de sonda. Son sistemas de captación más caros por la necesidad de realizar perforaciones, pero el consumo de la bomba de calor es más regular, al mantenerse una temperatura prácticamente constante todo el año a partir de 15 m de profundidad.



Figura 7: Sondas de Polietileno de alta densidad (PE) y de Polietileno reticulado (PE-X)

Los **intercambiadores geotérmicos horizontales** consisten en sondas de polietileno de alta densidad (PE) o polietileno reticulado (PE-X) que forman circuitos a una profundidad de entre 1,2 y 1,5 m, separados entre 50 y 80 cm. Se necesita una mayor longitud de sonda y una mayor superficie para su instalación, pero el coste es menor debido a su facilidad de ejecución, al no tener que realizar sondeos profundos. La temperatura del terreno a esta profundidad varía con las condiciones climáticas.



Las **cimentaciones termoactivas** son elementos estructurales de hormigón en las que se utilizan como intercambiadores para captar el calor del subsuelo tubos de polietileno alojados en el interior de la cimentación del edificio, en pilotes, pantallas subterráneas, muros de contención, losas... sujetos a las armaduras del hormigón. Son instalaciones económicas, al aprovecharse de instalaciones necesarias en la construcción de las edificaciones.



En instalaciones con una potencia térmica de hasta 30 kW, la directriz **VDI 4640** "Thermal use of the underground" señala unas sencillas reglas de dimensionamiento.

La **Guía Técnica del IDAE** "Diseño de sistemas de bomba de calor geotérmica" aporta una serie de fórmulas que permiten un cálculo más aproximado, si bien para instalaciones de

mayores dimensiones, o con uso de refrigeración es recomendable tomar como base del cálculo un estudio del suelo, realizando un TRT (test de respuesta del terreno).

### El correcto dimensionado del captador es un elemento clave

Para el cálculo de la instalación, en primer lugar es necesario determinar la potencia necesaria para cubrir las necesidades térmicas máximas simultáneas, tanto en frío como en calor, y definir la bomba de calor a instalar. Se determina la potencia extraída del terreno, siguiendo las directrices de la VDI 4640, la SIA, TRT... Se fija la longitud del captador horizontal o vertical y la superficie o número de pozos y profundidad. Por último es necesario diseñar la instalación hidráulica, sus componentes, etc.

Por lo tanto, en primer lugar se realiza el **cálculo de cargas térmicas** de acuerdo a las exigencias de diseño y dimensionado especificadas en el Reglamento de Instalaciones Térmicas, y elegimos una bomba de calor adecuada.

Para calcular la **temperatura máxima y mínima de la tierra durante un ciclo anual** a una profundidad determinada, podemos usar las expresiones:

$$T_L(X_s) := T_m - A_s \cdot e^{\left(-X_s \cdot \sqrt{\frac{\pi}{365 \cdot \alpha}}\right)}$$

$$T_H(X_s) := T_m + A_s \cdot e^{\left(-X_s \cdot \sqrt{\frac{\pi}{365 \cdot \alpha}}\right)}$$

Donde:

$T_L(X_s)$  es la temperatura mínima del terreno

$T_H(X_s)$  es la temperatura máxima del terreno

$T_m$  es la temperatura media de la tierra en °C. Se puede asumir como la temperatura seca media del lugar

$A_s$  es la temperatura media diaria del lugar en °C. Se obtiene de datos tabulados para la cada localización geográfica. En el caso de intercambiadores verticales se considera  $A_s=0$

$X_s$  es la profundidad en cm

$\alpha$  es la difusividad térmica del terreno en  $\text{cm}^2/\text{día}$ . Depende del tipo de suelo

Para el estudio de las temperaturas, cuando la bomba de calor está en modo calefacción (produciendo agua caliente para suministrar al edificio entre 45-55°C), en el evaporador se produce agua fría a unos 5-15°C, que es la que circula por el intercambiador enterrado. En modo refrigeración (produciendo frío entre 7-12°C) por las tuberías del intercambiador circulará el agua de intercambio del condensador a unos 25-35°C.

Las **temperaturas de salida del agua en modo frío y calor** se pueden determinar a partir de los datos de la bomba de calor elegida:

$$T_{\text{salida,c}} := T_{\text{entrada,c}} - \frac{1.000 \cdot P_c \cdot \frac{\text{COP}_c - 1}{\text{COP}_c}}{C_p(Q/3.600)}$$

$$T_{\text{salida,f}} := T_{\text{entrada,f}} + \frac{1.000 \cdot P_f \cdot \frac{\text{COP}_f + 1}{\text{COP}_f}}{C_p(Q/3.600)}$$

Donde:

$T_{\text{salida,c}}$  es la temperatura de salida en modo calor en °C

$T_{\text{salida,f}}$  es la temperatura de salida en modo frío en °C

$T_{\text{entrada,c}}$  es la temperatura en modo calefacción en °C (5-15°C)

$T_{\text{entrada,f}}$  es la temperatura en modo refrigeración en °C (25-35°C)

$P_c$  es la potencia de la bomba de calor en calefacción en kW

$P_f$  es la potencia de la bomba de calor en refrigeración en kW

$\text{COP}_c$  es el coeficiente de eficiencia energética de la bomba en calefacción

$\text{COP}_f$  es el coeficiente de eficiencia energética de la bomba en refrigeración

$C_p$  es el calor específico del fluido en J/Kg. K

$Q$  es el caudal de la bomba de calor en l/h

La temperatura máxima  $T_{\text{MAX}}$  será la media entre  $T_{\text{entrada,f}}$  y  $T_{\text{salida,f}}$ . La temperatura mínima  $T_{\text{MIN}}$  será la media entre  $T_{\text{entrada,c}}$  y  $T_{\text{salida,c}}$ .

La **resistencia de los tubos** del intercambiador al flujo de calor corresponde con:

$$R_p := \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot k_p} \cdot L_N \left( \frac{D_o}{D_i} \right)$$

Donde:

$R_p$  es la resistencia térmica en K m/W

$k_p$  es la conductividad térmica del tubo (0,43 W/m K)

$L_N$  logaritmo neperiano

$D_o$  es el diámetro exterior del tubo en m

$D_i$  es el diámetro interior del tubo en m

La resistencia del terreno  $R_s$  (K m/W) es la inversa de la conductividad térmica del terreno.

Debido a que la bomba de calor se dimensiona para las condiciones de funcionamiento más desfavorables, la bomba funcionará intermitentemente. Tanto en calefacción como en refrigeración debe considerarse la fracción de tiempo que está en marcha la bomba de calor, es lo que se denomina factor de utilización  $F$ , y es el cociente entre la demanda térmica de un edificio durante un período (calefacción o refrigeración) y la potencia de la bomba.

Existen programas informáticos de modelado energético para calcular la demanda anual del edificio, o tablas con "bin hours" elaboradas a partir de bases de datos climatológicas de la ubicación correspondiente.

Con todo lo anterior se pueden determinar las **longitudes de los intercambiadores** horizontales o verticales usando las expresiones:

$$L_{\text{CALEFACCIÓN}} = \frac{Q_{\text{calefacción}} \cdot \frac{\text{COP}_{\text{calefacción}} - 1}{\text{COP}_{\text{calefacción}}} (R_p + R_s \cdot F_{\text{calefacción}})}{T_L - T_{\text{MIN}}}$$

$$L_{\text{REFRIGERACIÓN}} = \frac{Q_{\text{refrigeración}} \cdot \frac{\text{COP}_{\text{refrigeración}} + 1}{\text{COP}_{\text{refrigeración}}} (R_p + R_s \cdot F_{\text{refrigeración}})}{T_{\text{MAX}} - T_H}$$

Donde:

$L_{\text{CALEFACCIÓN}}$  longitud de intercambiador necesaria para modo calefacción en m

$L_{\text{REFRIGERACIÓN}}$  longitud de intercambiador necesaria para modo refrigeración en m

En intercambiadores que funcionen para ambos modos se optará por la más desfavorable.

$$Q_{\text{calefacción}} = 1000 P_c$$

$$Q_{\text{refrigeración}} = 1000 P_f$$

De forma más sencilla, para captadores horizontales en instalaciones de menos de 30 kW es posible considerar los valores de extracción de calor del terreno de la VDI 4640-2.

Extracción Térmica Captación Horizontal	Horas de funcionamiento por año	
	1.800 h	2.400 h
Tipo de Suelo		
Seco. No cohesivo.	10 W/m <sup>2</sup>	8 W/m <sup>2</sup>
Húmedo. Cohesivo.	20-30 W/m <sup>2</sup>	16-24 W/m <sup>2</sup>
Saturado de agua. Cohesivo.	40 W/m <sup>2</sup>	32 W/m <sup>2</sup>

Los diámetros de las sondas horizontales dependen también de la capacidad térmica del subsuelo, se pueden considerar como referencia:

Tipo de suelo	Diámetro
Seco. No cohesivo.	20 mm
Húmedo. Cohesivo.	25 mm
Saturado de agua. Cohesivo.	32 mm

Para captadores verticales en instalaciones de menos de 30 kW es posible considerar valores de extracción de calor del terreno de la VDI 4640-2. Las sondas verticales deben estar a una distancia de las edificaciones de al menos 3 m, y los pozos deben estar separados entre sí un mínimo de 6 m.

Extracción Térmica Captación Vertical	Horas de funcionamiento por año	
Tipo de Suelo - valores Generales	1.800 h	2.400 h
Inapropiado. Sedimento sVco. Conductividad $\lambda < 1,5$ W/mK	25 W/m	20 W/m
Normal. Roca consolidada. Sedimento saturado de agua. Conductividad $\lambda < 3,0$ W/mK	60 W/m	50 W/m
Roca consolidada. Elevada conductividad térmica. Conductividad $\lambda > 3,0$ W/mK	84 W/m	70 W/m
Tipo de Suelo		
Gravilla, arena. Seco	<25 W/m	<20 W/m
Gravilla, arena. Con agua	65-80 W/m	55-85 W/m
Zona freática a través de gravilla y arena	80-100 W/m	55-85 W/m
Arcilla, limo. Húmedo	35-50 W/m	30-40 W/m
Piedra caliza	55-70 W/m	45-60 W/m
Piedra arenisca	65-80 W/m	55-65 W/m
Granito	65-85 W/m	55-70 W/m
Basalto	40-65 W/m	35-55 W/m
Gneis	70-85 W/m	60-70 W/m

## 7. Ejecución

En la ejecución de los **intercambiadores de calor verticales**, se ubicarán las perforaciones y se determinará su sección y profundidad, los acuíferos atravesados y el tipo de relleno.

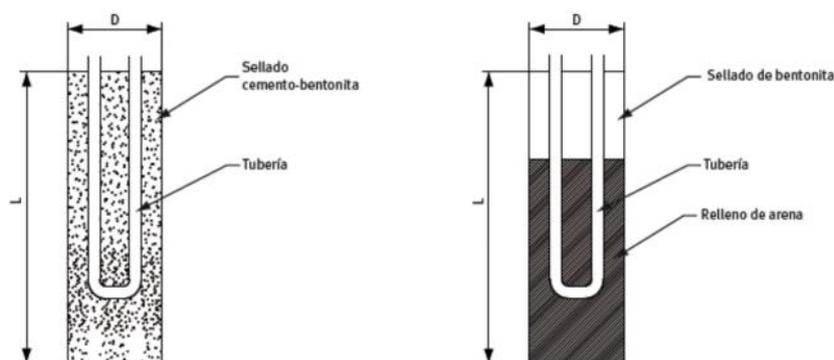


Figura 7. Esquemas de intercambiadores verticales

La perforación se realizará por parte de una empresa especializada, utilizando la tecnología más adecuada para cada tipo de terreno y principalmente con diámetros comprendidos entre los 110 y 165 mm. Los pozos deben estar a una distancia de las edificaciones de al menos 3 m, a 1 m de otras instalaciones, y separados entre sí un mínimo de 6 m.

Para la introducción de la sonda vertical en el pozo, se utiliza habitualmente un elemento desbobinador y se coloca un lastre en la U de la sonda para facilitar la introducción, siendo aconsejable introducir la sonda llena, con el objetivo de evitar colapsos. Una vez introducida la sonda vertical, antes del relleno del pozo, se realiza una prueba de presión y circulación de fluido en la sonda.



Al mismo tiempo que la sonda se introduce el tubo de inyección para poder realizar el relleno del pozo con un mortero especial de alta conductividad desde el fondo hasta la superficie del pozo. Después del relleno se realizarán de nuevo las pruebas correspondientes.

Los extremos de los tubos permanecerán protegidos con los tapones para evitar la introducción de cualquier partícula, hasta la realización de las pruebas de presión.

Es necesaria la realización de zanjas para la instalación de ramales de conexiones de las idas y retornos de los intercambiadores verticales y con el colector de distribución.

Se retirará la capa vegetal, se abrirá la zanja y se limpiará eliminando las rocas presentes en la parte inferior para evitar que se produzcan daños en los tubos.

Sobre un lecho de arena se instalará la tubería, rellenando con arena hasta cubrir totalmente los tubos.

Se señalará el trazado con una cinta plástica y se rellenará con materiales procedentes de la excavación previamente seleccionados (sin cantos punzantes, con diámetros inferiores a 5 cm, etc.).

Se realizarán tongadas de espesor reducido para obtener un mayor grado de compactación (25-30 cm).

Se evitará en lo posible ubicar los tramos horizontales en la zona de afección de otros servicios enterrados. Cuando esto no sea posible, en el cruce de otros servicios la instalación geotérmica será la inferior y a una distancia superior a 40 cm. En el caso de paralelismo con otros servicios también de mantendrá una distancia superior a los 40 cm.

Para la ejecución de los **intercambiadores de calor horizontales**, existen diferentes configuraciones, siendo lo más habitual la instalación de tuberías enterradas formando un circuito en espiral o en serpentin en un plano horizontal a una profundidad de entre 1,2 y 1,5 m, con una separación de 50 a 80 cm.

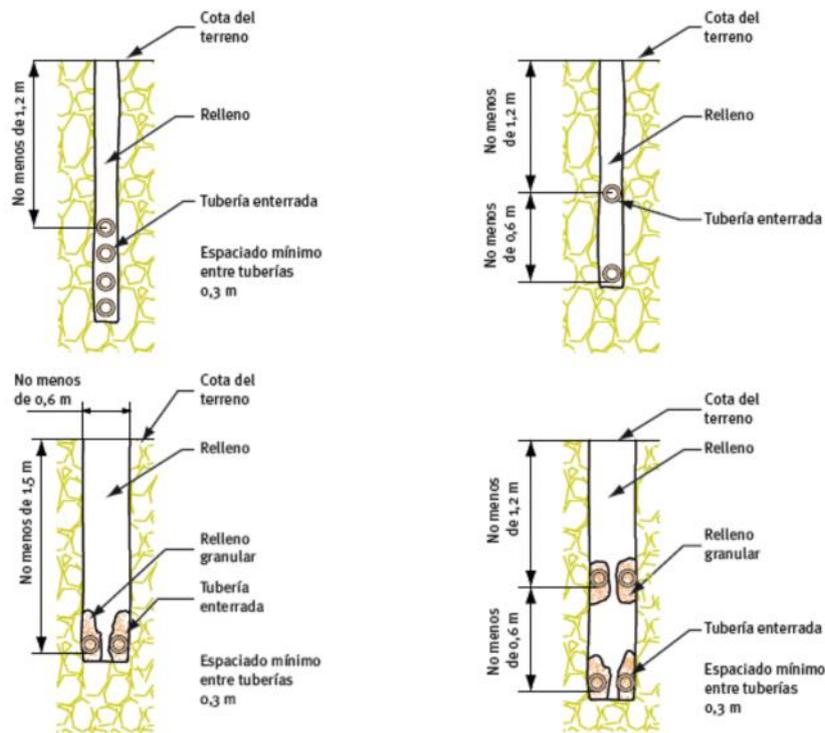


Figura 8. Esquemas de intercambiadores horizontales

No pueden colocarse bajo superficies impermeabilizadas.

No se hormigonará o pavimentará la superficie donde se instale el intercambiador horizontal, con el objetivo de asegurar un buen intercambio de calor.

La longitud máxima recomendada por circuito es de 100 m, por motivos de pérdidas de carga.

No es conveniente instalar las sondas sobre gravas que creen burbujas de aire que resten conductividad al terreno.

Si hay espacio suficiente, es más conveniente realizar el movimiento de tierras en su totalidad. Una vez realizada la prueba de presión se rellenará con arena fina los alrededores de las tuberías para facilitar la conducción de calor, y el resto con material de extracción con unas características adecuadas (sin cantos punzantes, con diámetros inferiores a 5 cm, etc.). Es posible cultivar vegetales en la superficie, pero no plantar árboles de raíces profundas.

El tendido de los circuitos debe hacerse respetando los radios de curvatura del material de las sondas, y se fijarán al terreno cuando sea necesario, bien con elementos auxiliares o con el propio material de relleno o arena.

Los colectores de distribución se dispondrán de forma que queden en el punto más alto de la instalación de captación. La sala de máquinas dispondrá de una pared libre para la ubicación de la bomba de calor y los colectores de entrada y salida a la misma con todos sus elementos, colgados en la pared.

Tanto la bomba de calor como los colectores y accesorios deberán quedar accesibles para trabajos de mantenimiento y reparaciones, dejando como mínimo las distancias especificadas en el catálogo del fabricante de la bomba de calor. En general se cumplirá con todo lo especificado en el Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios.

## 8. Pruebas de presión

Una vez introducidas las sondas de presión en las perforaciones, y antes de proceder al relleno de las mismas, se procederá a su purgado, para ello es necesario que la velocidad del agua en la tubería sea como mínimo de 0,6 m/s, lo que implica los siguientes caudales en función de los diámetros de sondas empleados:

DN (mm)	Q (m <sup>3</sup> /h)
25	0,7
32	1,2
40	1,8

Figura 9. Caudales de purgado (tubería PE100 16 bar)

Tras el purgado se realiza una prueba de estanqueidad y resistencia en cada sonda geotérmica con las siguientes premisas:

- La presión de prueba será como mínimo 3 veces la presión de servicio y como máximo el 80% de la presión nominal de la tubería.
- El tiempo de duración de la prueba será de 1 hora.
- La caída de presión máxima admisible será del 3%.

En los primeros minutos de la prueba se esperará a la correcta estabilización del manómetro, presurizando si es necesario hasta la presión mínima convenida. Una vez rellenado cada pozo se repetirá la prueba.

Es necesario realizar pruebas a los ramales horizontales de conexión entre la sala de máquinas y las sondas geotérmicas verticales y a las tuberías que conforman un intercambiador horizontal.

Se realizará el purgado mediante la circulación de agua a presión con una velocidad mínima de 0,6 m/s en cualquier punto de la instalación. El caudal a inyectar dependerá de la configuración y diámetro de los colectores horizontales. Para la realización de la prueba se mantendrá la instalación a una presión mínima 3 veces la presión de servicio durante dos horas y se comprobará que el descenso de la presión transcurrido en este tiempo es inferior a 0,2 bares. En el inicio de la prueba se esperará a la correcta estabilización del manómetro, ya que en los primeros momentos de la prueba. Si esto ocurre, se procederá a la presurización del circuito hasta la presión mínima de prueba.

En instalaciones de un cierto tamaño es recomendable ejecutar estas pruebas por tramos, realizándose a medida que se finaliza el montaje de cada uno de ellos. En estos casos, una vez validadas las pruebas, se procederá a cubrir la zanja dejando al descubierto las uniones hasta la realización de una prueba del conjunto consistente en:

- Circular agua por la instalación a una velocidad de 6 m/s durante 15 minutos.
- Mantener la instalación a 6 bares durante 30 minutos.

Una vez conectado todo el conjunto, llenado con el fluido caloportador (que generalmente se trata de agua con un porcentaje de anticongelante) y purgado, se procederá a una prueba preliminar de estanqueidad a la presión de llenado para comprobar la continuidad de la red y verificar la estanqueidad de las uniones. A continuación se someterá la instalación a una presión de prueba de 1,5 veces la presión máxima efectiva de trabajo con un mínimo de 6 bares.



Figura 10. Colectores de ida y retorno del intercambiador geotérmico

**Bomba de calor geotérmica + Superficie radiante**  
Ahorro económico y energético siempre disponible  
Combinación eficiente

## Referencias

- |  |  |
|--|--|
| [1] <a href="#">VDI 4640</a>             | Norma Alemana "Utilización térmica del subsuelo". Definición adoptada por el Consejo Europeo de Energía Geotérmica (EGEC).   |
| [2] <a href="#">Directiva 2009/28/UE</a> | Directiva del Parlamento Europeo y del Consejo, de 23 de abril de 2009, relativa al fomento del uso de energía procedente de fuentes renovables.   |
| [3] <a href="#">Directiva 2010/31/UE</a> | Directiva del Parlamento Europeo y del Consejo, de 19 de mayo de 2010, relativa a la eficiencia energética de los edificios.   |
| [4] <a href="#">Directiva 2012/27/UE</a> | Directiva del Parlamento Europeo y del Consejo, de 25 de octubre de 2012, relativa a la eficiencia energética.   |
| [5] <a href="#">2013/114/UE</a>          | Decisión de la Comisión, de 1 de marzo de 2013, por la que se establecen las directrices para el cálculo por los Estados miembros de la energía renovable procedente de las bombas de calor de diferentes tecnologías. |
| [6] <a href="#">IDAE (2014)</a>          | Prestaciones medias estacionales de las bombas de calor para producción de calor en edificios.   |