

# Intercambiadores de calor subterráneos

en sondeos geotérmicos superficiales

The use of underground heat-exchangers in shallow geothermal drillings

**José Carlos Losilla Rayo.** Ingeniero Técnico de Minas. Máster Oficial Universitario en Prevención de Riesgos Laborales. Perito Judicial en Investigación de Accidentes Laborales.

## RESUMEN

La energía geotérmica es un recurso energético en alza. La calefacción y refrigeración de edificios mediante bombas de calor geotérmicas exigen, en muchos casos, la instalación de los intercambiadores de energía dentro de los sondeos o taladros ejecutados en el subsuelo. La función de un intercambiador de calor subterráneo es servir de vía de conexión entre el terreno, que es la fuente o el pozo de calor (en modo calefacción o en modo refrigeración), y el intercambiador de la bomba de calor geotérmica, donde se produce el intercambio de calor con el refrigerante de la misma. La elección del tipo de intercambiador y su dimensionamiento están supeditados a una serie de decisiones previas que son responsabilidad de la empresa contratista responsable de la climatización del edificio.

## ABSTRACT

Geothermal energy is a renewable energy source on the raise. There is also considerable potential for development in the use of geothermal heat-pumps to tap geothermal energy close to the surface for the purposes of heating and cooling buildings. Underground heat-exchangers are required for connecting the ground to a geothermal heat-pump. The choice of using an underground heat-exchanger depends on the individual installation parameters.

**PALABRAS CLAVE:** Energía geotérmica, sistema geotérmico, sondeos geotérmicos superficiales, bomba de calor geotérmica, intercambiadores de calor subterráneos, intercambiadores de calor horizontales, intercambiadores de calor verticales, intercambiadores de calor de agua subterránea, sonda geotérmica vertical.

**KEYWORDS:** Geothermal energy, geothermal system, shallow geothermal drillings, geothermal heat-pump, underground heat-exchangers, horizontal shell-and-tube heat-exchangers, vertical heat-exchangers, ground water heat-exchangers, vertical geothermal probe.





*Energía geotérmica (Fuente: infoguia.com).*

## INTRODUCCIÓN

Una de las características más importantes de una bomba de calor del tipo que sea, es que su rendimiento, y la energía necesaria para hacerla funcionar, están directamente relacionadas con el rango de temperaturas entre las que funcione, concretamente, con la diferencia entre la temperatura de la fuente de calor y la de pozo al que el calor es evacuado (salto de temperatura). Cuanto más pequeño es este salto de temperatura, más elevado es el rendimiento de la termo-bomba.

Idealmente, la fuente de calor debería ser tan caliente y estable como fuera posible durante la estación de calefacción, y el pozo de calor tan fresco como fuese posible en la estación de refrigeración.

## CONCEPCIÓN DE UN SISTEMA GEOTÉRMICO

Antes de proceder a la elección del tipo de intercambiador subterráneo y a su dimensionamiento, se debe proceder a concebir el sistema geotérmico completo, pues las especificaciones y dimensiones del conjunto dependen de una serie de decisiones previas, como son: la elección de los sistemas de distribución de la calefacción y de la refrigeración, y de los de producción de agua caliente sanitaria del edificio, los rendimientos de la bombas de calor, de si el bucle subterráneo deberá responder a todas las exigencias térmicas o solo a parte y, de ser así, a cuáles, etc.

La evaluación de las cargas de calefacción y de refrigeración del edificio constituye la etapa inicial y es una de las más importantes

de un proyecto geotérmico de muy baja temperatura, habida cuenta del coste inicial más elevado de estos sistemas. El sobredimensionamiento de las bombas de calor o del intercambiador subterráneo puede reducir mucho su interés económico.



*Sistema geotérmico: intercambiador calor subterráneo, bomba de calor y sistema de distribución (Fuente: geotermikoa.com).*

## DISEÑO DE UN INTERCAMBIADOR SUBTERRÁNEO

Para unas condiciones del terreno dadas, la carga del edificio (calefacción y/o refrigeración), es el factor principal que influye en el tamaño (capacidad), del intercambiador subterráneo, pero las temperaturas de salida y de retorno del fluido caloportador al subsuelo son fijadas por el proyectista del sistema geotérmico.

Otros factores que influyen en la longitud de un intercambiador de calor son:

- Tipo y propiedades del fluido portador de calor.

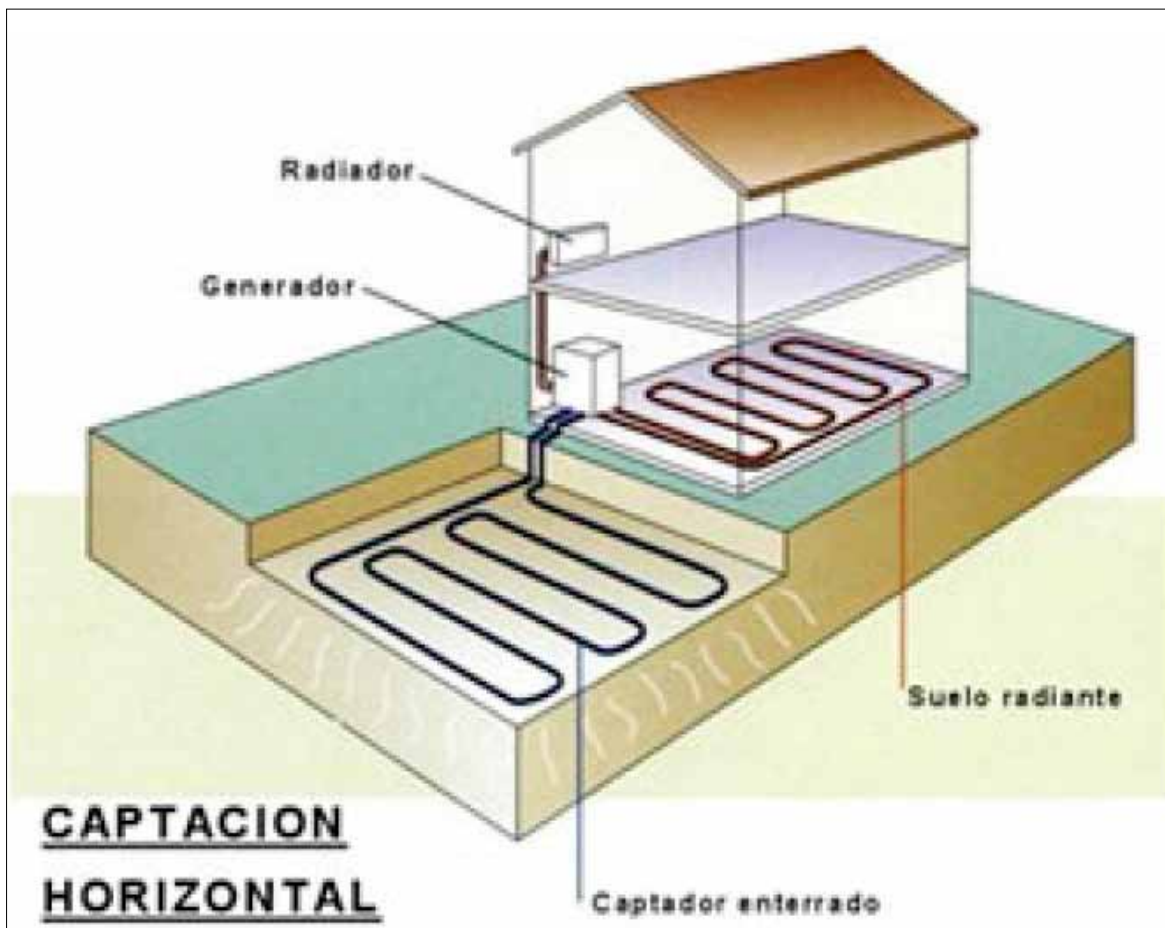
- Disposición del bucle subterráneo (distancia entre sondeos, entre colectores horizontales y entre zanjas).
- Profundidad de los sondeos y de las zanjas.
- Configuración del intercambiador (número de tubos por zanja, por sondeo, y conexión en serie o en paralelo).
- Temperatura media del terreno.
- Propiedades del terreno y de los morteros para relleno de sondeos.
- Condiciones hidrogeológicas locales (velocidad de desplazamiento del agua subterránea).
- Diámetro del tubo (o caudal) para conocer la turbulencia y las temperaturas de funcionamiento extremas.
- Rendimientos de las bombas de calor y consumo de energía necesaria para el bombeo del líquido portador de calor.

En los países que cuentan con varias décadas de experiencia en la utilización de bombas de calor acopladas al terreno, como Suiza, Suecia, Austria, Alemania, Canadá y Estados Unidos, existen reglas simplificadas basadas en la utilización de fórmulas empíricas o ábacos obtenidos de simulaciones realizadas por ordenador, que pueden utilizarse para obtener estimaciones preliminares de longitudes de intercambiadores de calor subterráneo

## INTERCAMBIADORES DE CALOR HORIZONTALES

Para casos simples de operaciones de calefacción con bombas de calor geotérmicas, como pueden ser los de residencias unifamiliares separadas, con tiempos de utilización anual de 1.800 a 2.400 horas, la Norma VDI 4640-Parte 2 "Aprovechamiento térmico del terreno" (Verein Deutscher Ingenieure –Alemania–), indica que el





*Intercambiadores de calor horizontales (Fuente: ecobabitar.org).*

diseño de un intercambiador de calor horizontal puede hacerse utilizando valores de extracción de calor específicos, en  $W/m^2$  de intercambiador, y recomienda unos valores dependiendo del tipo de suelo y de las horas anuales de funcionamiento.

Los tubos individuales pueden ubicarse en zanjas entre 1,2 y 1,5 metros de profundidad, entre capas de arena, debidamente compactadas.

La distancia entre tubos dependerá de su diámetro y estará comprendida entre 0,3 y 0,8 metros.

Al objeto de poder extraer suficiente calor también durante largos períodos fríos, la extracción específica anual no debe exceder de  $50-70 \text{ kWh}/(m^2 \cdot a)$ .

La diferencia entre la temperatura de retorno del fluido portador de calor al intercambiador subterráneo y la temperatura del suelo no puede exceder de  $\pm 12 \text{ K}$  en baja temperatura y de  $\pm 18 \text{ K}$  en condiciones de carga máxima.

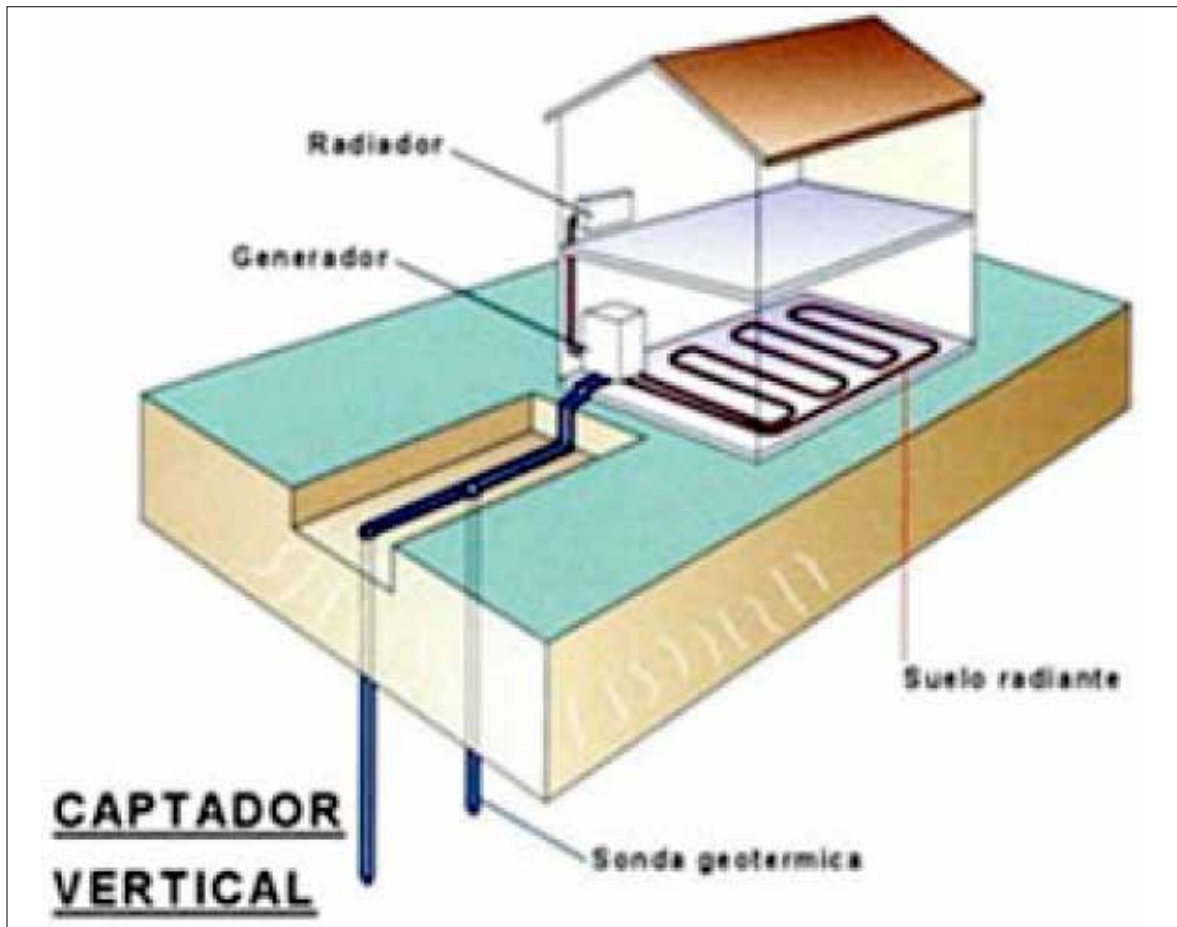
La SIA-Dokumentation D0136 (Suiza, 1996) facilita un nomograma para calcular las dimensiones de un intercambiador horizontal enterrado que, además de la superficie que ocuparía, proporciona la longitud total de los tubos del mismo.

### INTERCAMBIADORES DE CALOR VERTICALES

El diseño de un intercambiador de calor vertical depende, generalmente, de las propiedades térmicas del terreno en el que se ubique.

Los factores del terreno con mayor influencia en la longitud del sondeo que ha de alojar las sondas geotérmicas son la conductividad térmica del terreno y la humedad, especialmente la velocidad de flujo de agua subterránea que pueda haber en el subsuelo.

Las propiedades térmicas del subsuelo se pueden calcular con un Ensayo de Respuesta Térmica del Terreno (ERT), que se realiza una vez perforado el terreno.



*Intercambiador de calor vertical (Fuente: grupovisiona.com).*

La norma alemana VDI 4640-Parte 2 (Verein Deutscher Ingenieure), establece una diferenciación entre sistemas geotérmicos con intercambiadores de calor verticales para operaciones de calefacción de hasta 30 kW de potencia calorífica y otros sistemas más grandes. Para las primeras, de menos de 30 kW, puede utilizarse para calcular la longitud del sondeo, una tabla con valores de extracción de calor específico, en W/m, y un nomograma, mientras que para operaciones mayores, remite a la realización previa de simulaciones con ordenador.

Para utilizar la tabla con los valores de extracción de calor específico, la longitud del intercambiador de calor vertical, individual, debe estar comprendida entre 40 y 100 metros (se refiere a la profundidad del sondeo), la distancia mínima entre dos sondeos debe ser, al menos, de 5 metros para sondeos de 40 a 50 metros de longitud y, al menos, de 6

metros para sondeos de 50 a 100 metros de longitud. Además, los tubos intercambiadores de calor deben tener forma de doble U con DN 20, 25 o 32, o tubos coaxiales con un diámetro mínimo de 60 mm.

La diferencia de temperatura entre el fluido del intercambiador y el terreno sin alterar no debe exceder de  $\pm 10\text{K}$  en condiciones de baja carga y de  $\pm 15\text{K}$  en carga máxima.

En España, CIATESA y el Departamento de Termodinámica Aplicada de la Universidad Politécnica de Valencia han desarrollado un programa de simulación simplificado, GEO CIATESA, basado en el método de la 'International Ground Source Heat Pump Association' (Universidad de Oklahoma, EE.UU.) para la resolución del problema de conducción de calor alrededor de una tubería de gran longitud y pequeño diámetro con una temperatura uniforme, enterrada en un terreno también uniforme.





## INTERCAMBIADORES DE CALOR DE AGUA SUBTERRÁNEA

La mayoría de los sistemas geotérmicos de agua subterránea emplean un intercambiador de calor intermedio para separar el circuito cerrado de distribución en el edificio del agua subterránea. Se necesita cuando el líquido del bucle del edificio no es agua y se recomienda para prevenir daños en el intercambiador de calor de la termo-bomba.

Se puede realizar una evaluación preliminar considerando una diferencia de temperatura de 3°C entre el agua subterránea y el líquido del circuito cerrado del edificio a la salida del intercambiador de calor intermedio, antes de que la primera sea restituida al acuífero por un pozo de inyección.

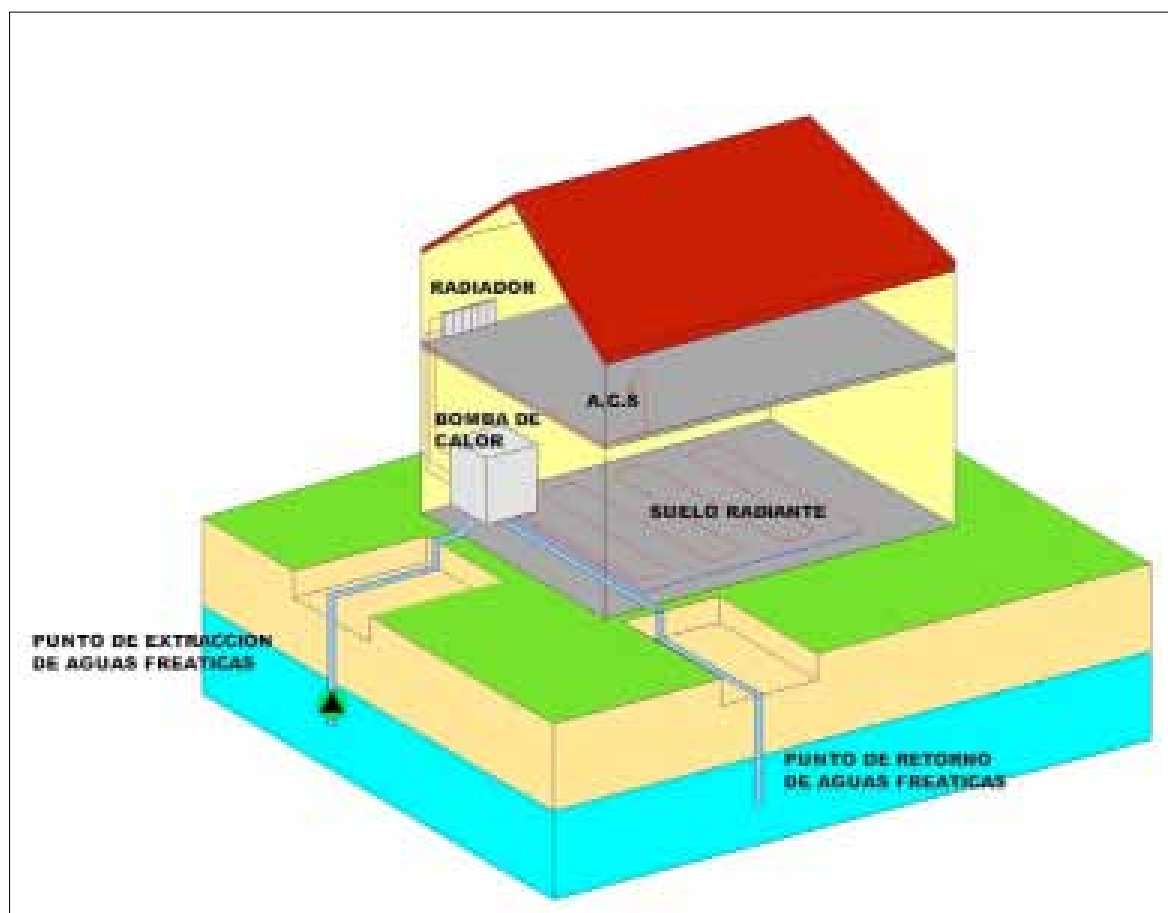
La publicación “Les systèmes géothermiques commerciaux: guide de l’acheteur”. Ressources Naturelles Canadá (2002), propone como regla aproximada para el diseño de un

intercambiador de calor de agua subterránea considerar el valor más elevado resultante de unas expresiones que calculan el caudal de calefacción y el caudal de refrigeración. No obstante, se pueden estimar esos valores considerando un caudal tipo en el circuito cerrado del edificio de 0,04 l/s por kW de potencia, que es el valor que recomiendan algunos fabricantes de bombas de calor de agua subterránea.

Además, se considera:

- Para calefacción:  $T_{\text{salida calefacción}} = T_{\text{agua subterránea}} - 5^{\circ} \text{C}$
- Para refrigeración:  $T_{\text{salida refrigeración}} = T_{\text{máxima entrada en verano}} + 2^{\circ} \text{C}$

En la última expresión, la temperatura máxima de entrada en verano representa la temperatura máxima del bucle del edificio a la entrada en las bombas de calor.



---

Las sondas geotérmicas son la parte más cara de un sistema geotérmico. Tienen una vida útil de 50 años y, una vez introducidas en el terreno y cementadas, no admiten posibilidad de efectuar sobre ellas ningún mantenimiento preventivo o correctivo, de ahí la importancia de que estén adecuadamente dimensionadas y correctamente instaladas

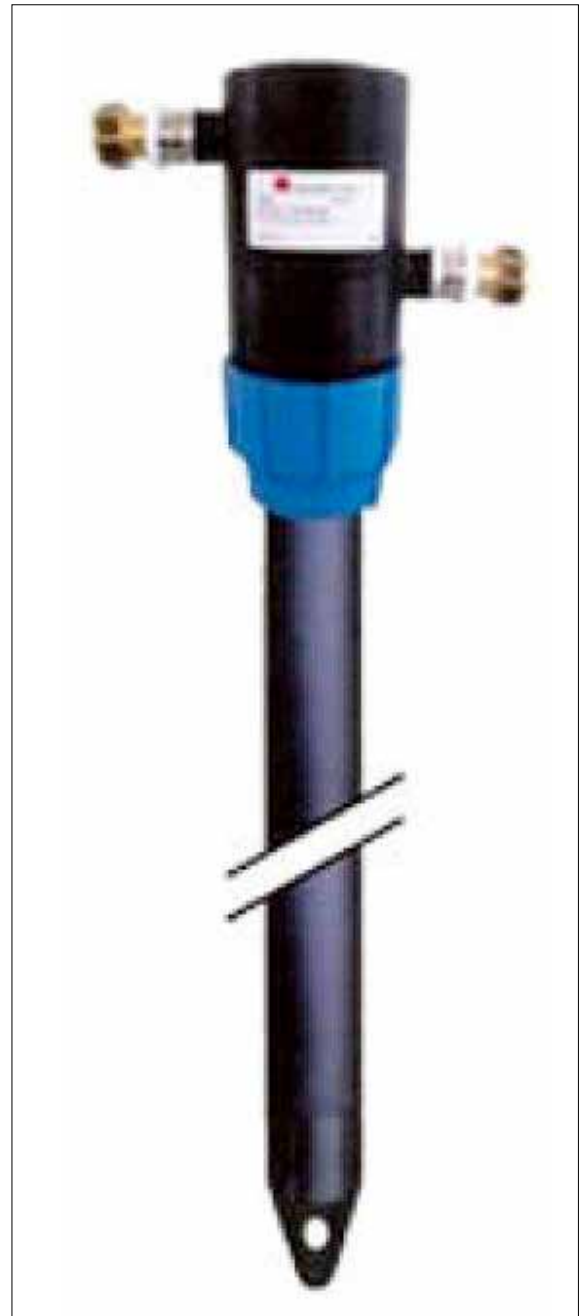
---

Los caudales de agua subterránea son, habitualmente, de 0,05 l/s por kW o inferiores

### SONDAS GEOTÉRMICAS VERTICALES

Una sonda geotérmica vertical está formada, esencialmente, por los tubos verticales, el pie y el material que rellena el espacio anular entre los tubos y las paredes del sondeo.

Las sondas geotérmicas más utilizadas constan de dos tubos (simple U) o de cuatro tubos (doble U) unidos por su extremo inferior por una o dos piezas del mismo material, que constituyen el pie de la sonda. Otros componentes accesorios de las sondas son: un peso o lastre que se cuelga del pie para facilitar la introducción en el sondeo, un tubo para inyectar material de cementación, piezas en forma de Y que se sitúan en la cabeza de la sonda para juntar dos entradas y dos salidas de las tuberías en U, manguitos para conectar estas últimas piezas a los colectores horizontales, y la tapa de la sonda. Con excepción del lastre, el resto de los componentes están fabricados, generalmente, con polietileno.



*Sonda geotérmica (Fuente: archiexpo.es).*

Las sondas geotérmicas son la parte más cara de un sistema geotérmico. Tienen una vida útil de 50 años y, una vez introducidas en el terreno y cementadas, no admiten posibilidad de efectuar sobre ellas ningún mantenimiento preventivo o correctivo, de ahí la importancia de que estén adecuadamente dimensionadas y correctamente instaladas.

La vida útil de una sonda geotérmica es varias veces mayor que la de una bomba de calor



y la de todos los componentes que constituyen el sistema geotérmico. En ese tiempo, se conectarán a las sondas varias generaciones de bombas de calor y se tendrán que sustituir algunos componentes (tuberías y grifería) del circuito del fluido caloportador, que tienen una vida útil de unos 20 años.

Aunque las sondas son ensayadas a presión, con aire, en fábrica antes de su expedición, es aconsejable someterlas a una prueba de estanqueidad, con aire o agua, al hacer la recepción de las mismas y antes de su montaje.

### OTROS SISTEMAS

Otros subsistemas para intercambio de calor con el terreno o para captar calor de aguas subterráneas o superficiales son: cimientos geotérmicos, sistemas de aguas de minas y túneles, sistemas de aguas residuales urbanas, sistemas de aguas superficiales y pozos canadienses o provenzales.

En general, se trata de aprovechamientos complementarios de otros proyectos cuyo objetivo principal no es la explotación de la energía geotérmica superficial.

### COSTES DE LOS INTERCAMBIADORES DE CALOR O SONDAS GEOTÉRMICAS Y MATERIAL AUXILIAR

Los precios de los intercambiadores de calor o sondas geotérmicas, así como del material auxiliar dependerán del tipo elegido y del fabricante, siendo habituales los siguientes:

- Intercambiadores de calor o sondas geotérmicas: 1.014 a 1.465 €/100 m
- Interconexión: 4,50 a 7,90 €/m
- Material relleno con propiedades termoconductoras: 3,90 a 5,60 €/m
- Fluido caloportador (concentración anticongelante 25%): 5,60 a 7,90 €/m
- Retirada de residuos o lodos: 112,70 a 225,40 €/m<sup>3</sup> ■

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ADEME (2006): "Les pompes a chaleur". Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie. Angers. Francia.
- CONNECTICUT DEP. OF PUBLIC HEALTH (2007): "Recommendations for regulation of geothermal Wells". Hartford. CT. EE.UU.
- GARCÍA LÓPEZ, A. (2004): "Ahorro de energía, aprovechamiento de la energía geotérmica en las instalaciones de climatización". CIATESA. Montilla. Córdoba. España.
- IGSHA (1988): "Close-Loop / Ground-Source Heat Pump Systems. Installation Guide". Oklahoma State University. Stillwater. EE.UU.
- MCCRAY, K. (1999): "Guidelines for the construction of vertical boreholes for closed loop heat pump systems". National Ground Water Association. Westerville. Ohio. EE.UU.
- REUSS, M. y SANNER, B. (2000): "Design of closed loop heat exchangers". International Summer School on Direct Application of Geothermal Energy. IGA.
- RNCAN (2002): "Les systèmes géothermiques commerciaux: Guide de l'acheteur". Centre de la technologie de l'énergie de CANNET-Varenes. Ressources Naturelles Canada. Ottawa. Ontario. Canadá.
- VDI (2001): "VDI 4640, Part 1, Part 2. Thermal use of the underground". Verein Deutscher Ingenieure. Düsseldorf. Alemania.
- LLOPIS TRILLO, G., LÓPEZ JIMENO, C. y FRANQUEZA PALACIOS, J. (2009): "Guía Técnica de Sondeos Geotérmicos Superficiales". FENERCOM. Madrid. España.
- ZAMORA, M. (2008): "Diseño de intercambiadores de calor enterrados. Modelo de cálculo y análisis de sensibilidad a los parámetros de mayor relevancia". CIATESA. Montilla. Córdoba. España.