

Contenido

1.	Descripción técnica.....	4
1.1.	Clasificación de los tipos de yacimientos.....	7
1.2.	Estudios previos y sondeos.....	8
1.2.1.	Colectores horizontales enterrados.....	11
1.2.2.	Sondas geotérmicas.....	12
1.2.3.	Sondeos de captación de agua someros.....	13
1.2.4.	Cimientos geotérmicos.....	14
1.3.	Tipos de sistemas geotérmicos.....	16
1.4.	Bombas de calor.....	18
1.4.1.	Introducción.....	18
1.4.2.	Bombas de calor geotérmicas.....	19
1.5.	Tipos de plantas geotérmicas.....	20
1.6.	Almacenamiento.....	24
1.6.1.	Almacenamiento de energía térmica subterránea.....	24
1.7.	Ventajas e inconvenientes.....	25
2.	Entidades e iniciativas relevantes.....	27
2.1.	Plan de Energías Renovables-2010.....	27
2.2.	Programa conjunto EERA sobre Energía Geotérmica.(JPGE).....	29
2.2.1.	Asociación Geotérmica Internacional.(IGA).....	30
2.3.	Plataforma Europea de Frío y Calor Renova.....	31
2.4.	European Geothermal Energy Council.....	32
3.	Potencial.....	32
3.1.	Potencial a nivel nacional.....	32
3.2.	Potencial a nivel europeo.....	35
4.	Barreras.....	40
5.	Otras aplicaciones.....	40
6.	Proyectos destacados.....	44
6.1.	Proyectos I+D+i Geotermia Norvento.....	44
6.2.	Programa Geotcasa.....	45
6.3.	Climatización de la estación de Patricio de Madrid.....	46
6.4.	Colegio público Ciudad de Capadocia en Trillo (Guadalajara).....	47
6.5.	Edificio de viviendas con climatización geotérmica en Mataró.....	47

6.6.	Nueva sede del BBVA.....	47
6.7.	Proyectos en Estados Unidos.....	48
6.7.1.	Proyectos innovadores seleccionados por el DOE.....	48
6.7.2.	Aeropuerto de Portland.....	49
6.7.3.	Proyecto Greenfire.....	50
7.	Referencias.....	51

BORRADOR

1. Descripción técnica

Se define como energía geotérmica a la energía almacenada en forma de calor por debajo de la superficie sólida de la Tierra. Los orígenes del calor interno de la Tierra se encuentran en los siguientes fenómenos:

Desintegración de isótopos radiactivos en la corteza y en el manto

Calor inicial que se liberó durante la formación del planeta

Movimientos diferenciales entre las diferentes capas que constituyen la Tierra, principalmente entre manto y núcleo.

Cristalización del núcleo. El núcleo externo (líquido) está cristalizando continuamente, y en la zona de transición con el núcleo interno (sólido) se libera calor.

Las grandes diferencias de temperatura entre la superficie de la Tierra y las existentes en su interior originan un flujo continuo de calor hacia la superficie, estimándose que la energía que llega cada segundo a la superficie terrestre, en forma de calor, por conducción, convección y radiación, es de 42 X 10¹⁰ W.

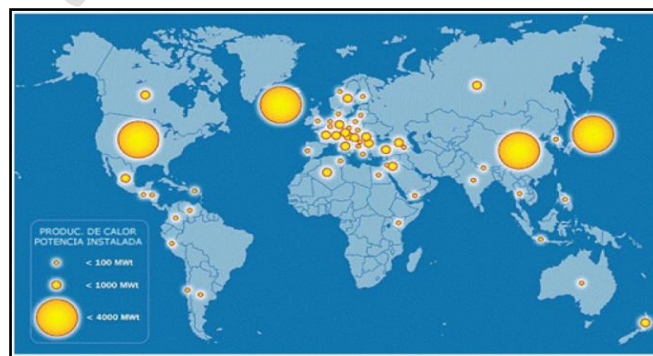
En la siguiente figura observamos la distribución mundial de los principales países productores de energía eléctrica de origen geotérmico en el año 2000.

Figura: Mapa mundial con los principales países productores de energía eléctrica geotérmica señalados (potencia instalada en el año 2000).



Fuente: Site Geothermie

Figura: Mapa mundial con datos de la producción de calor por países (potencia instalada en el año 2000)



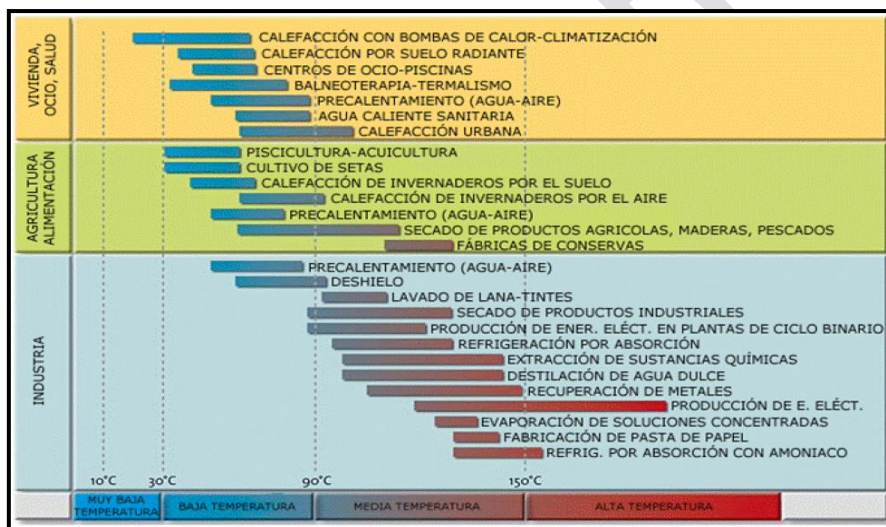
Fuente: Site Geothermie

Las aplicaciones que se pueden dar a un fluido geotermal dependen de su entalpía en calor).

La práctica habitual consiste en el uso de sondas térmicas que miden la temperatura de los fluidos geotermales, en lugar de su contenido en calor; ya que son las temperaturas las que determinan su futura aplicación industrial.

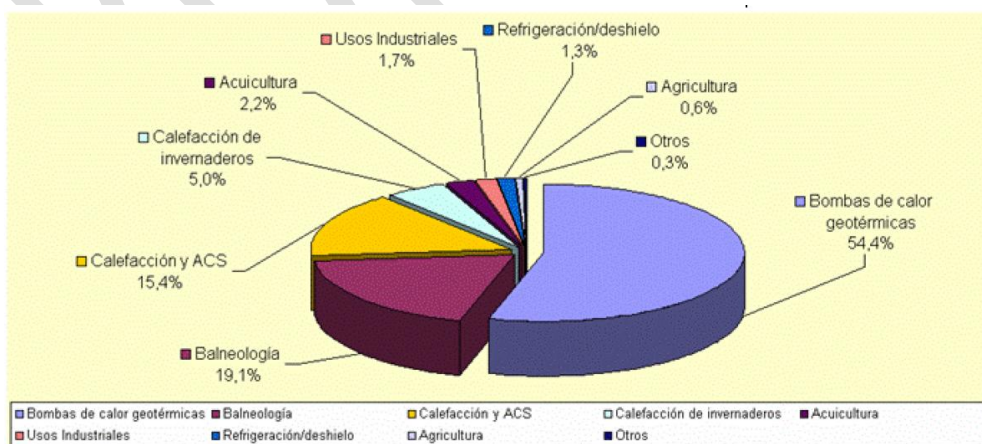
En la tabla a continuación podemos ver los principales usos de la energía geotérmica en función de la temperatura:

Figura: Tabla en la que se clasifican los principales usos de la energía geotérmica en las áreas principales que son vivienda, ocio y salud, agricultura y alimentación e industria. En cada una de estas áreas se enumeran los distintos usos en función de los rangos de temperatura



Fuente: Site Geothermie

Figura: Distribución del calor geotérmico en el mundo (TJ/año) en 2005. En la figura se muestra como el máximo lo alcanzan las bombas de calor geotérmicas con un 54.4%. Por debajo se encuentran la Biotecnología (19.1%) y Calefacción y ACS (15.4%) porcentajes muy inferiores se encuentran otros usos.



Fuente: Direct Heat Utilization of Geothermal Resources World Wide 2005. Oregon Institute of Technology.

¹ La entalpía es la cantidad de energía térmica que un fluido o un objeto pueden intercambiar con su entorno. Se expresa en kJ/kg o en kcal/kg.

Se establecen las siguientes cuatro categorías para la energía geotérmica de la temperatura:

- Alta temperatura más de 150 °C

Una temperatura superior a 150 °C permite transformar directamente el vapor de agua en energía eléctrica. La explotación de un campo de estas características se hace por medio de perforaciones según técnicas casi idénticas a las de la extracción del petróleo.

- Media temperatura entre 90 y 150 °C.

Permite producir energía eléctrica utilizando un fluido de intercambio, que es el que alimenta a las centrales. La conversión a electricidad se realiza con un rendimiento menor, y debe explotarse mediante un fluido volátil. Estas fuentes permiten explotar pequeñas centrales eléctricas, pero el mejor aprovechamiento puede hacerse mediante sistemas urbanos de reparto de calor para su uso en calefacción y en refrigeración (mediante máquinas de absorción)

- Baja temperatura entre 30 y 90 °C.

Su contenido en calor es insuficiente para producir energía por lo que es adecuado para calefacción en edificios y en determinados procesos industriales y agrícolas. La energía geotérmica de temperaturas bajas es aprovechable en zonas más amplias que las anteriores; por ejemplo, en todas las cuencas sedimentarias.

- Muy baja temperatura menos de 30 °C.

Puede ser utilizada para calefacción y climatización, necesitando emplear bombas de calor. Esta energía se utiliza para satisfacer necesidades domésticas, urbanas o agrícolas.

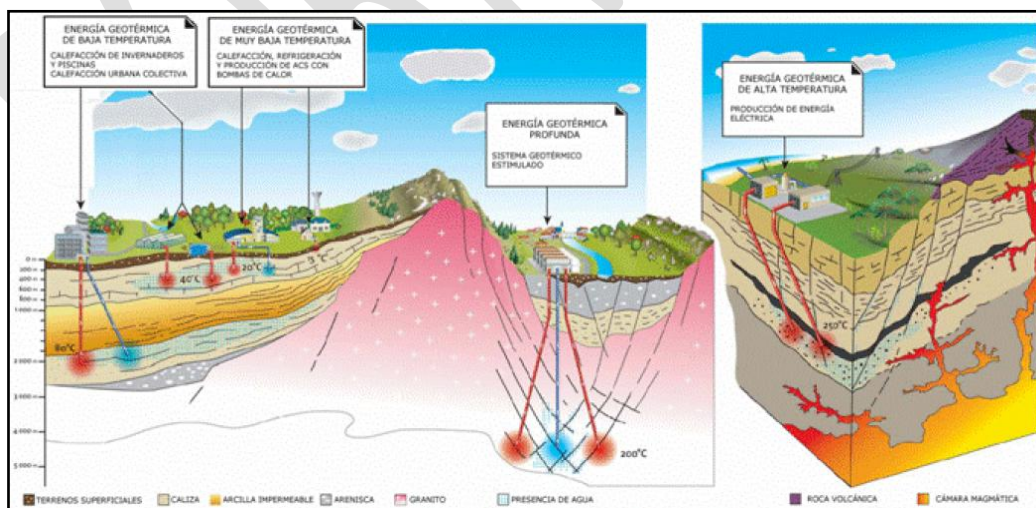


Figura Diferentes tipos de energía geotérmica en función de la temperatura.

Fuente: Site Geothermie

1.1. Clasificación de los tipos de yacimientos

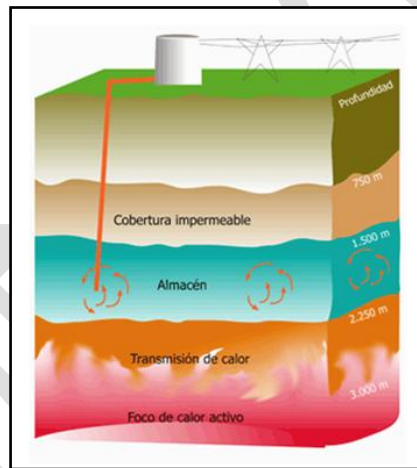
Las condiciones geológicas para la existencia de yacimiento geotérmico de alta temperatura son:

Estar presente en una zona en la que exista un foco de calor activo que proporcione un flujo calorífico anómalo.

Existencia de profundidad adecuada (1,5) de capas de materiales permeables o almacén que permiten la circulación de fluidos capaces de extraer el calor

Estos fluidos han de permanecer en profundidad, de forma que se evite la disipación continua de la energía de la roca. Para ello es necesaria la presencia de materiales impermeables que actúen de sello de los almacenes

Figura: Se muestran distintas capas que componen un yacimiento de alta temperatura en función de la profundidad: cobertura impermeable, almacén, transmisión de calor y foco de calor activo



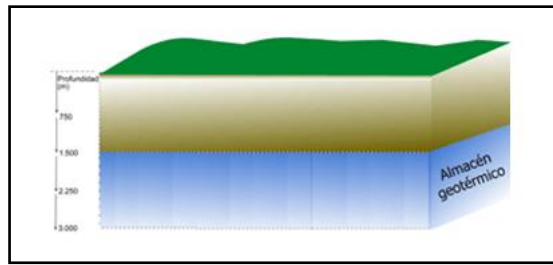
Fuente: Instituto Geológico y Minero de España

Para la existencia de yacimientos de alta temperatura son necesarias estas condiciones geológicas tan estrictas. La única condición geológica que se requiere es la existencia de materiales geológicos permeables a una profundidad adecuada (1,5) capaces de contener y dejar circular el fluido que extraigan el calor a la roca.

Debido al bajo nivel térmico del fluido, este ha de ser utilizado en aplicaciones directas del calor; lo que requiere la existencia en sus proximidades de un centro de consumo adecuado.

² <http://www.igme.es/internet/geotermia/yacimientoalta.htm>

Figura: Se muestran las distintas capas que componen un yacimiento de baja temperatura



Fuente: Instituto Geológico y Minero de España

Las limitaciones del concepto de yacimiento geotérmico dependen mucho del estado de desarrollo de la tecnología de extracción de los fluidos y de transformación del calor contenido en ellos en una forma de energía útil para el hombre.

Si la tecnología sigue avanzando en el sentido actual, habrá que definir un tercer tipo de yacimiento geotérmico: el de roca caliente seca (HDR) el que no existe fluido portador de calor ni material permeables. Ambos elementos introducidos artificialmente por el hombre.

O

han conducido a la denominación de Sistemas Geotérmicos Simulados (EGS) en los que se engloba a todos los yacimientos creados o desarrollados por el hombre y en los que se utilizan las técnicas desarrolladas en HDR para la creación y/o estimulación del yacimiento.

Los recursos geotérmicos pueden ser aprovechados directamente, tal y como se encuentran en la tierra. Por ello es necesario convertirlos en una forma de energía utilizable. El primer paso es trasladar el recurso hasta la superficie. Esto se consigue por la presencia de un fluido que actúa de vehículo transportador de la energía. Este fluido accede a la superficie mediante los sondeos perforados por el hombre. Una vez que alcanza la superficie, el fluido geotérmico se ha de someter a las transformaciones necesarias para que la energía potencial pueda ser aprovechada. Los procesos empleados en la transformación dependen del nivel térmico del fluido.

Los fluidos de alta temperatura se utilizan para la producción directa de electricidad, los de media temperatura se pueden utilizar para producir electricidad mediante el uso de ciclos binarios y los de baja temperatura se emplean en uso directo de calor.

1.2. Estudios previos y sondeos

Para que un recurso geotérmico pueda ser explotado económicamente se necesita verificar su existencia y localización en suelos, rocas o acuíferos, y posteriormente determinar sus características para estimar su potencial energético.

La amplitud y complejidad de los estudios previos que hay que llevar a cabo serán de mayor o de menor envergadura dependiendo del tipo de recurso que se tenga intención de explotar.

Se trata de un recurso energético que está debajo de cualquier terreno de cualquier lugar habitado del planeta, próximo a la superficie; y su aprovechamiento está supeditado al uso forzoso de bombas de calor geotérmicas.

Por todo ello, son los recursos que mejor se adaptan a las necesidades de climatización de viviendas unifamiliares y de edificios de pequeñas o grandes dimensiones.

Las investigaciones se centran en encontrar la mejor explotación para que, sin llegar a agotarlo, pueda satisfacer la demanda energética que se necesita para dar el servicio requerido en el interior de los edificios.

La diferenciación entre energía geotérmica somera y energía geotérmica profunda se suele establecer, arbitrariamente, en una profundidad de 400m por debajo de la superficie. Los recursos geotérmicos de muy baja temperatura se enmarcan dentro de energía geotérmica somera.

Exceptuando las fuentes termales que manan espontáneamente, la mayoría de las explotaciones geotérmicas necesitan un sondeo de producción que permita elevar el agua caliente y/o el vapor hasta la superficie.

En terrenos duros, la técnica más sencilla, y la más antigua para realizar un sondeo es la de percusión con cable. La roca se fractura al ser golpeada por un útil pesado llamado trépano, que se eleva y se deja caer repetidamente, colgado de un cable de acero, sobre la que quiere fracturar.

La altura de caída y la frecuencia de los golpes se varían en función de las rocas. La extracción de los fragmentos de roca del fondo del sondeo se realiza de forma discontinua mediante una cuchara cilíndrica hueca, provista de una retención en su fondo. Este método más empleado en España en la realización de sondeos de captación de agua para consumo humano o para riego, hasta 600 m de profundidad.

Otro procedimiento muy eficaz para terrenos duros y homogéneos, y profundidades de hasta 300 m, es la perforación a rotopercusión con martillo del sondeo. Un martillo neumático que termina en una boca con herramientas de corte, se fija a la base de un tren de varillas, y se le dota de un movimiento de rotación desde el exterior del sondeo, y de percusión, mediante el envío de aire comprimido a alta presión (10 a 25 bares) al interior del varillaje. El aire comprimido permite el ascenso de los detritos de perforación hasta la superficie.

Existe una alternativa que consiste en inyectar una espuma por el conducto del aire comprimido, para favorecer la estabilidad de las paredes del pozo, y el ascenso de los fragmentos de roca.

El método más empleado es el de perforación por rotación, mediante equipos autónomos montados sobre camión, para sondeos de poca profundidad, o en enormes plataformas para realizar sondeos hasta 5.000 m de profundidad. Esta técnica de perforación, llamada también Rotary, consiste en utilizar un trépano³ provisto de conos dentados en los que van engarzadas piezas de carburo de tungsteno, o de diamantes industriales, que destruyen las rocas por trituración, corte y abrasión, bajo el efecto de rotación.

³ Un trépano es un dispositivo que se coloca en el sitio de perforación para que rompa, corte y muele las formaciones rocosas mientras se perfora un pozo. Ya sea éste un pozo de gas, agua o petróleo.

Un lodo, que circula en circuito cerrado, refrigera el trépano, asegura el arrastre de los fragmentos de roca a la superficie y mantiene la estabilidad de los pozos hasta que se proceda a la entubación e inyección de cemento entre las paredes del pozo.

El cemento asegura la estabilidad de las paredes, protege las tuberías contra la corrosión y las capas de agua subterránea contra la contaminación, asegurando el aislamiento térmico.

Tanto los tubos de los sondeos, como las canalizaciones que enlazan los pozos, los intercambiadores de calor, juntas y todos los materiales en contacto con el agua geotérmica están expuestos a diferentes tipos de corrosión:

Química: porque el fluido está cargado de sales minerales muy agresivas

Galvánica provocada por la presencia de corrientes eléctricas parásitas

Bacteriológica pues algunas cepas bacterianas presentes en el yacimiento, pueden reactivarse con el descenso de la temperatura del agua, y los sulfuros, producidos por su metabolismo, aumentan la corrosión del acero.

Las partículas en suspensión que arrastra el agua pueden depositarse en las canalizaciones formando incrustaciones que pueden llegar a destruirlas o a reducir las secciones útiles, provocando disminución de caudal.

Para proteger las instalaciones, se usan tratamientos preventivos como inyecciones de productos inhibidores para obtener una capa protectora o evitar la cristalización de sales y la formación de depósitos; y productos bactericidas para eliminar los microorganismos.

Si la presión del yacimiento geotérmico es superior a la atmosférica, el agua puede brotar de forma natural en el cabezal del pozo de producción, formando un pozo artesiano. Si la presión no es bastante elevada, o si el agua no llega a remontar completamente hasta la superficie, que es el caso más común, habrá que proceder a bombearla.

Cualquiera que sea el tipo de bomba empleada, todas conllevan una parte hidráulica sumergida, a profundidades comprendidas entre 100 y 400 m, y un motor,

El motor puede estar sumergido bajo el nivel hidráulico (bombas sumergidas), o situado en superficie (bombas de árbol largo). En algunos casos, la bomba puede funcionar gracias a la sobrepresión del agua geotérmica en superficie (turbobomba).

Las bombas sumergidas permiten obtener caudales de hasta 30 m³/h. Son las más utilizadas en el acuífero del Dogger de la Cuenca de París). Las bombas de árbol largo (hasta 140 m de profundidad) son las más utilizadas en Islandia. Las turbobombas tienen un bajo rendimiento energético, pero su vida útil es más larga de las bombas sumergidas.

Si el agua que remonta del subsuelo está poco cargada de sales minerales, se podrá evacuar en superficie sin perjuicio para el medioambiente.

Pero si el fluido está muy cargado de sales disueltas, o porque se agota el recurso, tendrá que volver a reinyectarse a su acuífero original, después de su aprovechamiento, mediante un pozo de inyección. Para la reinyección se emplean bombas de superficie de tipo clásico.

El fluido geotérmico, una vez cedido su calor, debe devolverse al subsuelo en un punto relativamente alejado del punto de extracción, pues, al haber cedido gran parte de su calor en los intercambiadores de superficie, es devuelta al acuífero a menor temperatura que la de captación.

Si es de baja salinidad puede ser utilizado en riegos o eliminado directamente en la red de alcantarillado o corrientes superficiales.

Sin embargo, cuando su salinidad sobrepasa los 5 g/l no se puede utilizar y la ley no permite su eliminación en superficie por lo que se hace necesario su inyección en el subsuelo, en la misma formación acuífera de la que procede.

Este sistema de explotación con sondeo de extracción y sondeo de inyección se conoce como "doble geotérmico".

La explotación del recurso ha de hacerse entonces con un sondeo de producción dotado, si es necesario, de bombas de extracción; una red de conducción de agua geotérmica hasta el intercambiador principal; la estación de intercambio; una red de retorno hasta la estación de inyección; una estación de bombeo si así lo requieren las condiciones de inyección y, finalmente, el sondeo de inyección.

Para que el fluido existente en el entorno del sondeo de extracción no se enfríe, es necesario alejar suficientemente el sondeo de inyección.

En zonas urbanas, para evitar las molestias que produciría duplicar las obras que conlleva la perforación desde la superficie, el par de pozos (de producción y de reinyección) se perforan con una sola plataforma de sondeo, siguiendo la trayectoria de uno o de ambos sondeos.

La complejidad de los estudios previos necesarios para poder aprovechar el recurso dependerán de la potencia que se tenga que suministrar, del tipo de instalación que tenga que extraerlo, de las horas de funcionamiento anual y de la modalidad de la demanda (calefacción y/o refrigeración, y producción de agua caliente sanitaria).

Estas instalaciones las agruparemos en:

- Colectores horizontales enterrados.
- Sondas geotérmicas.
- Sondeos de captación de agua oscura.
- Cimientos geotérmicos.

En los siguientes apartados, analizaremos estas instalaciones de forma detallada.

1.2.1. Colectores horizontales enterrados

Con tan sólo una capa superficial de suelo de 0,8 m de espesor es posible enterrar unos colectores horizontales de polietileno de 25 a 40 mm de diámetro, por los que circula agua con un anticongelante que, conectados a una bomba de calor geotérmica, pueden satisfacer las necesidades de calefacción de una vivienda familiar de tipo medio, alrededor de 150 m².

Sólo se necesita que la parcela de terreno disponga de un espacio despejado que sea 1,5 veces la superficie habitable a calentar, en el caso de vivienda nueva, y hasta tres veces para casa antiguas con malos aislamientos térmicos.

Debido a la escasa profundidad a la que están enterrados los tubos, el clima tiene una gran influencia en esta modalidad de explotación.

El terreno sirve de acumulador de energía solar. La energía geotérmica propiamente dicha no reviste más que un papel secundario.

Dependiendo de la altitud topográfica del terreno, las capas de tubos que forman los serpentines o bucles geotérmicos permiten obtener de 20 a 30 W de energía² térmica por m² ocupado por el bucle.

1.2.2. Sondajes geotérmicos

Se trata de tubos de plástico que están conectados y con el sistema de refrigeración y calefacción del edificio. Dentro de ellos circula un líquido portador de calor, que absorbe el calor de la tierra circundante y lo conduce a la bomba térmica.

Se pueden utilizar sondas geotérmicas si:

- la capa de suelo no tiene espesor suficiente
- la superficie disponible para enterrar los colectores horizontales es insuficiente
- existen canalizaciones en el subsuelo
- la demanda energética es mayor que la que pueden proporcionar los colectores horizontales

Un parámetro clave para el dimensionamiento de una sonda geotérmica es la potencia de extracción de calor por metro lineal de sonda, y varía, generalmente, entre 20 y 70 W/m.

En el caso de requerir mayores potencias, puede recurrirse al empleo de campos de sondas geotérmicas (de 4 a 50) dispuestas lo más cerca posible de las edificaciones o incluso debajo de ellas, con profundidades de 50 a 300 m; dependiendo de la potencia requerida y de las condiciones geológicas locales.

En el caso de instalaciones para potencias inferiores a 30 kW no se requieren estudios previos extensos, ya que suelen dimensionarse para terrenos estándar, a partir de valores tabulados proporcionados por los fabricantes de equipos, o a partir de guías técnicas y normas publicadas por asociaciones de ingenieros y arquitectos en países donde estos sistemas geotérmicos están muy implantados (por ejemplo Alemania, Austria, Francia, Suecia y Suiza).

Para poder dimensionar una sonda geotérmica es necesario conocer previamente:

- Conductividad térmica del terreno: La potencia de extracción es proporcional a la conductividad térmica.
- Humedad natural del suelo: Mejora la conductividad térmica y garantiza un buen contacto entre sonda y suelo.
- Presencia o ausencia de aguas subterráneas: Cuando una sonda geotérmica penetra en una capa freática (primera capa con agua subterránea que se encuentra en el

subsuelo), o en un acuífero somero, en los que el agua presente una velocidad de flujo superior a varios centímetros por día, la cantidad útil aumenta sensiblemente. Tipo de prestaciones de la instalación puede determinarse a partir de las temperaturas del exterior y del interior del edificio, horas de funcionamiento, modalidad (calefacción/refrigeración/ACS), meses de funcionamiento, etc.

En suelos y rocas secos, y en los materiales de revestimiento del sondeo que aloja el material de relleno y los tubos de la sonda geotérmica, la propagación del calor se realiza por conducción. Las propiedades físicas más importantes de los materiales de la sonda son la conductividad térmica y la capacidad térmica volumétrica.

En el seno del líquido que circula por el interior de la sonda, el calor se propaga por convección natural y por convección forzada. Si la sonda atraviesa un medio saturado de agua, existirá también propagación de calor por convección natural y forzada. Las propiedades físicas más importantes para la transferencia de calor por convección es la permeabilidad del terreno.

Conductividad térmica es el flujo de calor transmitido por conducción a través de un cuerpo sometido a un gradiente de temperatura de 1 K/m (1 grado Kelvin por metro). Se expresa en W/m·K, o en W/m·°C.

Capacidad térmica volumétrica es la cantidad de calor necesaria para elevar la temperatura de 1 m³ de terreno en 1 K. Se expresa en kJ/m³·K.

Permeabilidades la capacidad de un suelo o roca para ser atravesado por el agua. Se expresa en m/s. Permite determinar la velocidad de flujo del agua subterránea.

La capacidad de las sondas geotérmicas se puede determinar experimentalmente realizando Tests de Respuesta Térmica o varios sondeos piloto. A partir de las medidas de temperatura realizadas en el interior del tubo de una sonda geotérmica, se puede tener una imagen exacta de las temperaturas encontradas a lo largo del mismo.

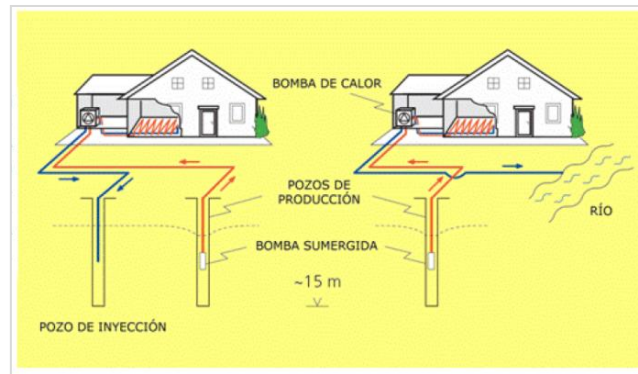
1.2.3. Sondeos de captación de agua someros

Si la permeabilidad del terreno es suficientemente elevada puede explotarse la capa freática mediante dos sondeos, uno de producción, con una bomba sumergida que cuando la bomba de calor para, una vez extraída su energía y enfriada, ser devuelta a la capa freática por un pozo de reinyección, o ser vertida a un cauce fluvial.

⁴El Test de Respuesta Térmica es un método que permite conocer tanto el valor de la conductividad térmica efectiva del terreno así como la resistividad térmica.

⁵El nivel freático corresponde, en un acuífero libre, al lugar en el que se encuentra el agua en este nivel la presión de agua del acuífero es igual a la presión atmosférica.

Figura: Esquema para calefacción de una casa familiar utilizando sondeos de captación de agua en la capa freática



Fuente: Cattin, S. InfoGéothermie n° 4. Suisse énergie. 2002)

Para evitar el enfriamiento continuo del agua subterránea, los sondeos de toma y restitución de agua deben situarse respectivamente aguas arriba y abajo del flujo subterráneo.

Para una instalación con una potencia calorífica que sea necesario un caudal de agua de alrededor de 3 l/s

Para demandas energéticas superiores a 75 kW, los sistemas abiertos que explotan acuíferos poco profundos, por debajo de la capa freática, mediante pozos de captación y de reinyección, ofrecen ventajas económicas con respecto a los campos de sondas geotérmicas, derivadas del ahorro que supone tener que perforar menos metros de sondeos.

En sistemas abiertos se explotan acuíferos poco profundos, se requiere un estudio hidrogeológico local y la perforación de al menos dos pozos, de extracción y de reinyección, en los que se realicen ensayos hidráulicos para comprobar que no se vean interferidos entre ellos hidráulica y térmicamente, y ensayos de calidad del agua, vigilando que tenga bajos contenidos en hierro y bajo potencial redox, para evitar problemas de corrosión, sarro y colmatación de tuberías y conducciones, que puedan afectar al funcionamiento de la instalación a largo plazo.

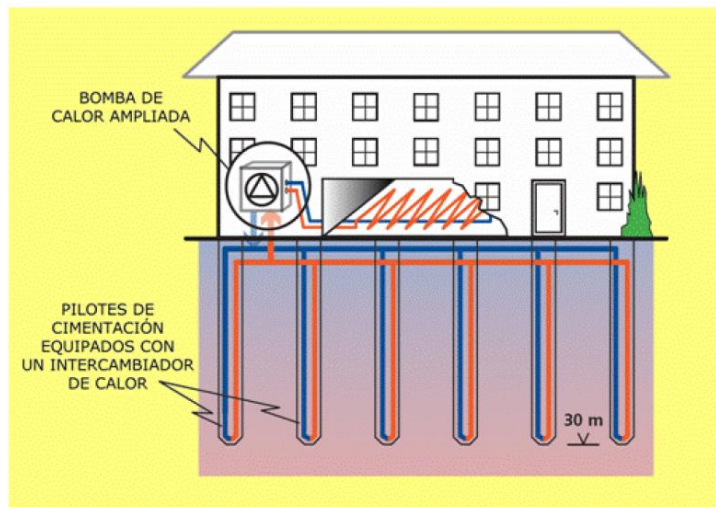
Los estudios deben ir acompañados de modelización numérica como apoyo en el diseño del sistema, y para la evaluación del impacto asociado a su funcionamiento.

Otro aspecto a tener en cuenta en la fase de estudios es el de las autorizaciones para captación de agua, por la cantidad de disposiciones a nivel local, autonómico y nacional sobre protección de las aguas subterráneas que anteponen el abastecimiento de agua potable a las poblaciones para consumo humano a la captación con fines climatización de edificios.

1.2.4. Cimientos geotérmicos

En una excavación, cuando es necesario asegurar la estabilidad de los terrenos circundantes, o porque un suelo no tiene suficiente resistencia para soportar las cargas de una estructura mediante cimentaciones superficiales, se emplean pilotes, pantallas subterráneas, muros de contención o losas, fabricados con hormigón armado, que se clavan en el terreno, generalmente a nivel de la capa freática, a profundidades entre 10 y 40 m.

Figura: Sistema de pilotes energéticos para calefacción y climatización.



Fuente: Cattin, SfnosGéothermie n° 1. Suisse énergie. 2001

De forma indirecta, se están creando unas condiciones propicias para el intercambio de energía geotérmica de baja temperatura con el terreno, dado el volumen que se ve afectado.

Sería suficiente con insertar en el interior de parte, o de la totalidad, de esas piezas de hormigón, una red de tubos de polietileno por los que circule agua con un anticongelante, conectarlos en circuito cerrado con una bomba de calor o con una máquina de refrigeración,

A finales de los años setenta y principios de los ochenta, esta tecnología se empleaba en casas familiares, pero actualmente es una de las más utilizadas para edificios de grandes dimensiones en invierno y para enfriarlos en verano, mediante el almacenamiento subterráneo estacional de calor y de frío. Recibe diferentes denominaciones como cimientos geotérmicos, energéticos o termoactivos, geoestructuras, pilotes, intercambiadores de calor, etc.

Por lo que respecta a los estudios previos necesarios para poder implantar una instalación geotérmica de este tipo, mucho de lo indicado para los campos geotérmicos es aplicable.

Previamente a la implantación de una instalación geotérmica es importante conocer:

Características geotécnicas de los estratos del subsuelo en que han de hincarse las cimentaciones activas.

Nivel de la capa freática, oscilaciones anuales, dirección y velocidad de flujo.

Características del terreno necesarias para definir el potencial geotérmico: capacidad térmica volumétrica, conductividad térmica y permeabilidad.

Existencia de manantiales cercanos o construcciones subterráneas que desvíen o calienten las aguas freáticas.

Rango de temperaturas del subsuelo (máxima, mínima y media anual)

Distribución mensual y semanal del consumo de energía en calefacción y refrigeración, así como sus rendimientos de punta.

La capacidad de un conjunto de pilotes intercambiadores para energía térmica estacionalmente, depende directamente de la velocidad de flujo de la capa freática. Basta una velocidad de 0,5 a 1 metro por día para que se disipe la energía transferida por los pilotes impida su almacenamiento.

El diseño de una instalación de calefacción y de climatización utilizando cimientos geotérmicos debe ser concebido al principio del proyecto, pues los pilotes serán colocados en obra a que las instalaciones de calefacción y refrigeración hayan sido dimensionadas.

Es muy importante que, desde el principio de la planificación del proyecto constructivo, colaboren arquitectos, geólogos, ingenieros, especialistas en cimentaciones, expertos en proyectos de climatización de edificios, la dirección de obra y otros profesionales en el proyecto, para que la empresa encargada de la cimentación proceda al cálculo y simulación, en tres dimensiones, de los diferentes parámetros que influyen y determinan los límites del rendimiento de las instalaciones.

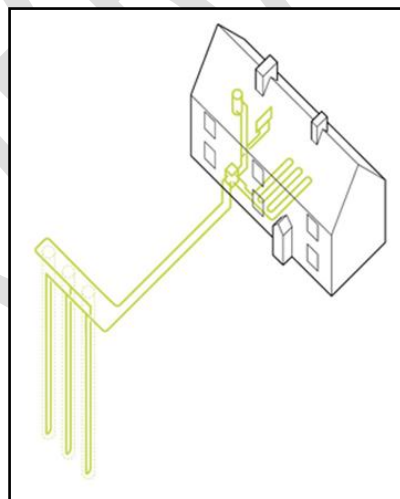
1.3. Tipos de sistemas geotérmicos⁶

Existen distintos tipos de sistemas térmicos, en función de la disposición de los conductos destinados a la absorción de calor. Detallamos la clasificación de sistemas geotérmicos a continuación:

Circuito cerrado vertical

El terreno disponible tiene una superficie limitada. Una máquina de perforación es usada para hacer pozos de diámetro pequeño hasta profundidades de 50m a 150m

Figura: Esquema de un circuito cerrado vertical



Fuente: Geothermal International España (www.giesp.es)

Circuito horizontal

Son considerados frecuentemente donde una superficie adecuada está disponible. Los tubos son colocados en zanjas que varían en longitud de 30m a 120m.

⁶<http://www.geoclima.es/residencial/geothermalbasics.html>

Planta doble flash:

En el ciclo de doble flash, el agua caliente restante (de desecho) en vez de reinyectarla, es conducida a un vaporizador (flasher) de baja presión para separar el vapor secundario por flasheo. Este vapor es conducido a continuación a una turbina de baja presión o a la misma turbina de media presión entrando por sus etapas ("stages") intermedias.

Las principales ventajas de un ciclo de doble flash, son las siguientes:

Se produce entre un 15 y un 20% más de energía con el mismo suministro geotérmico que el ciclo de simple flash.

Aunque el coste de inversión de la planta es alrededor de un 5% más alto que el de simple flash, el coste neto de la energía por kwh es alrededor de 10 a 15% más bajo.

Se consigue una presión óptima de entrada a la turbina, un 30% más alta que con el sistema de simple flash; de forma que se pueden usar tuberías de vapor y válvulas más pequeñas.

Figura: Ciclo y sistema de transmisión en una planta geotérmica de tipo agua caliente

Fuente: OLADE

Plantas Ciclo Binario

Este tipo de plantas permiten extraer energía de forma más eficiente de yacimientos de media temperatura ($>100^{\circ}\text{C}$) y de recursos geotérmicos con elevada salinidad. Se basan en evitar el uso directo del fluido termal y utilizar un fluido secundario como medio termodinámico mejor que éste.

El fluido geotermal entrega el calor al fluido secundario a través de un intercambiador de calor, que se calienta, vaporiza y se expande a través de la turbina. Se condensa en un condensador de aire o agua y se bombea de nuevo al intercambiador de calor para ser re-vaporizado. Las turbinas binarias pueden ser de tipo Ciclo Orgánico Rankine (ORC).

