

ENERGIA GEOTERMICA A POCA PROFUNDIDAD

por Dr. Erich Mands y Dr. Burkhard Sanner
UBeG GbR, Industriestrasse 3, D-35580 Wetzlar



UBeG GbR Dr. E. Mands & Dipl.-Geol. M. Sauer
Industriestrasse 3 D-35580 Wetzlar Germany
Tel.: ++49(0)6441/2129-10 Fax.: -11
eMail: UBeG@UBeG.de www: UBeG.de

Aproximadamente los primeros 100m bajo tierra son muy aptos para proveer y almacenar energía térmica. El cambio de la temperatura climática de las estaciones se reduce a una temperatura constante entre 10 y 20 metros de profundidad (cuadro 1), y a mayor profundidad las temperaturas aumentan de acuerdo a la gradiente geotérmica (promedio de 3°C por cada 100 m de profundidad).

Los métodos principales para hacer uso de esta energía son:

- Bombas para calor de fuente terrestre (Bombas de calor geotérmicas)
- Almacenamiento de energía térmica subterránea (UTES)

Esta presentación dará una visión general de estos métodos, su posible aplicación y sistemas, y algunos ejemplos de realizaciones exitosas.

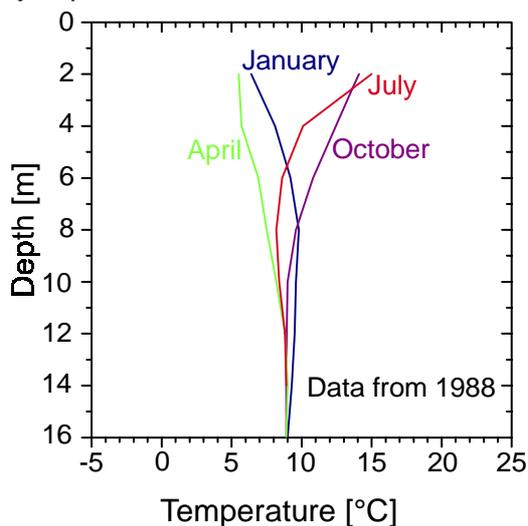


Fig 1: Temperaturas subterráneas en una perforación hecha al sur de Wetzlar, sin injerencia de una bomba para calor

BOMBAS PARA CALOR DE FUENTE TERRESTRE

La figura 2 muestra el principio básico de una bomba para calor de fuente terrestre. Se puede extraer el calor del subsuelo a una temperatura relativamente baja. La bomba de extracción de este calor aumenta la temperatura que es utilizada en un sistema de calefacción. Para cada kWh de calefacción, se requiere sólo 0.25 – 0.3 kWh de electricidad para operar el sistema (p. ej. el factor de funcionamiento estacional es de 3.3 – 4.0). Para refrigerar durante el verano se puede invertir el sistema, y calor proveniente de la refrigeración de edificios se puede inyectar en la tierra para refrigerar con un alto grado de efectividad el espacio.

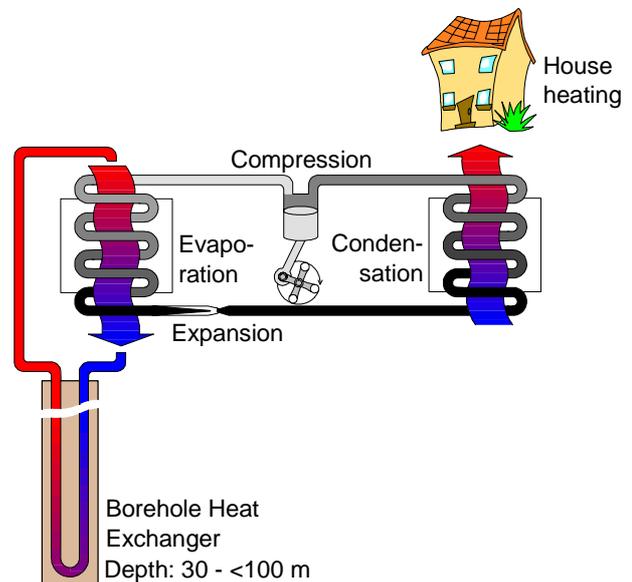


Fig.2: Esquema de una bomba para calor de fuente terrestre

El sistema de tierra une a la bomba de calor con el subsuelo y permite la extracción de calor o la introducción de frío a la tierra. Estos sistemas se pueden clasificar generalmente como sistemas abiertos y cerrados:

- **Sistemas abiertos:** se utiliza agua subterránea como portador de calor y se lleva directamente a la bomba de calor.
- **Sistemas cerrados:** intercambiadores de calor son ubicados en el subsuelo (ya sea en forma horizontal, vertical u oblicua), y un medio portador de calor circula dentro de los intercambiadores de calor, transportando el calor de la tierra a la bomba y viceversa.

El sistema no siempre se puede atribuir exactamente a una de las categorías anteriormente mencionadas; hay ejemplos como agua en minas, agua en túneles o pozos en forma de columnas. Para elegir el sistema más apropiado para una instalación específica, hay que considerar varios factores: las características geológicas e hidrogeológicas del subsuelo (para los sistemas abiertos debe haber suficiente permeabilidad), área y utilización en la superficie (sistemas horizontales y cerrados requieren de un cierto área), la existencia de fuentes potenciales de calor como las minas, y las características de calefacción y refrigeración de el/los edificio/s. En la fase del diseño datos más exactos son absolutamente necesarios para los parámetros básicos e importantes para seleccionar la tecnología. Hay que medir el sistema de tierra de tal forma que se obtenga un rendimiento óptimo con costos mínimos.

Sistemas abiertos

El aspecto técnico más importante de los sistemas abiertos son pozos de agua subterráneos para extraer o introducir agua de/hacia capas productoras de agua en el subsuelo ("aquifers"). En la mayoría de los casos, se requieren dos pozos ("doublette", figura 3), uno para extraer el agua subterránea y otro para volver a introducir el agua al mismo "aquifer" del cual fue extraído.

Con sistemas abiertos se puede explotar una fuente poderosa de calor a un costo comparativamente bajo. En cambio, pozos con agua subterránea requieren de cierta mantención, y generalmente los sistemas abiertos son ubicados en lugares con "aquifers" apropiados. Los requisitos principales son:

- Suficiente permeabilidad para permitir la obtención de la cantidad deseada de agua subterránea a poca profundidad.
- Una buena característica química del agua subterránea, es decir, poco contenido de hierro, para evitar problemas de sarro, obstrucción y corrosión. Se suele utilizar sistemas abiertos para instalaciones de mayor envergadura. El sistema universal más poderoso de bomba para calor de fuente terrestre utiliza pozos con agua subterránea para proveer cerca de 10 MW de calor o frío a un hotel y oficinas en Louisville, Kentucky, USA

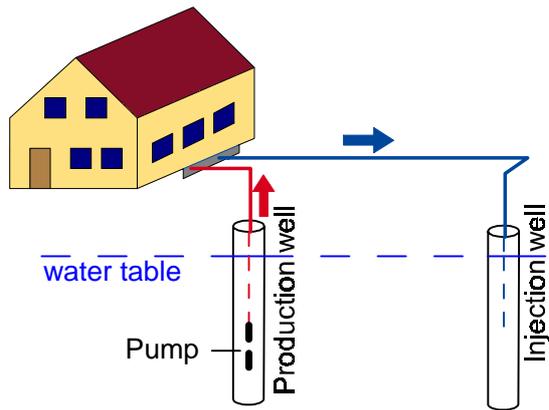


Fig. 3: Bombas para calor de aguas subterrdneas (doublette)

Sistemas cerrados

a) horizontal

El sistema cerrado más fácil de instalar es el intercambiador de calor terrestre horizontal (sinónimo: colector de calor horizontal, 'loop' horizontal). Debido a restricciones en el área disponible, en Europa Central y Occidental se instalan las cañerías individuales en forma relativamente densa, conectadas en serie o en paralelo (fig.4).

Se han desarrollado algunos intercambiadores de calor de fuente terrestre especiales para ahorrar espacio con los colectores de calor de fuente terrestre. Para explotar un área más pequeña con el mismo volumen, estos colectores son los más apropiados para sistemas de bombas de calor para calefaccionar o refrigerar, donde la recarga de temperatura natural de la tierra no es vital. Formas en espirales (Fig. 5) son muy populares en los EE.UU.,

principalmente colectores "ondulantes", colocados en forma horizontal en una amplia zanja (ver figura) o en forma vertical en una zanja reducida.

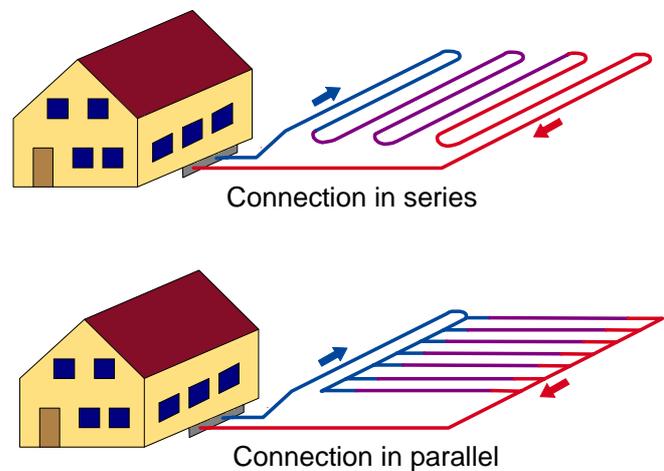


Fig. 4: Intercambiador de calor horizontal terrestre (estilo europeo)

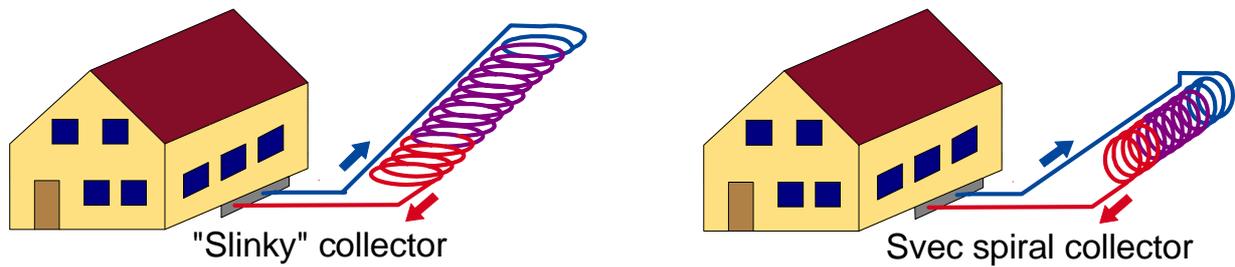


Fig 5: Intercambiador de calor terrestre de tipo espiral (Estados Unidos)

La recarga térmica principal para todos los sistemas horizontales la provee principalmente la radiación solar sobre la superficie de la tierra. Es importante no cubrir la superficie sobre el colector de calor de tierra.

b) Vertical

Debido a que la temperatura a cierta profundidad (cerca de 15 a 20 m) permanece constante durante el año, y debido a la necesidad de instalar una capacidad suficiente de intercambio de calor bajo un área específica, los intercambiadores de calor terrestres verticales (intercambiadores de calor en perforaciones) son ampliamente favorecidos. En un intercambiador de calor de tipo estándar en una perforación, se instalan las cañerías plásticas de polietileno o polipropileno en perforaciones y el espacio restante en la perforación se llena con material que se pueda bombear.

Se han utilizado y evaluado distintos tipos de intercambiadores de calor en perforaciones. Hay dos conceptos básicos posibles (fig. 7) :

- cañerías en forma de U, que consisten de un par de cañerías rectas unidas por una curva de 180° en el fondo. Una, dos o incluso tres de este tipo de cañerías en forma de U se instalan en una perforación. La ventaja de esta cañería tipo U es su bajo costo. En Europa, las cañerías tipo doble U son los intercambiadores de calor osados más frecuentes en perforaciones.
- Cañerías coaxiales (concéntricas), ya sea simples o con dos conductos rectos de diferente diámetro, o en una configuración compleja.

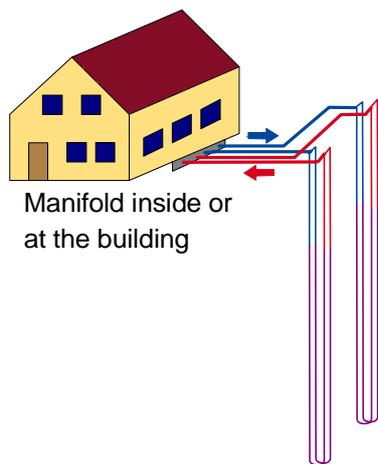


Fig.6. intercambiador de calor de perforación (cañería doble tipo U)

Cañería de tipo U simple Cañería de tipo U doble

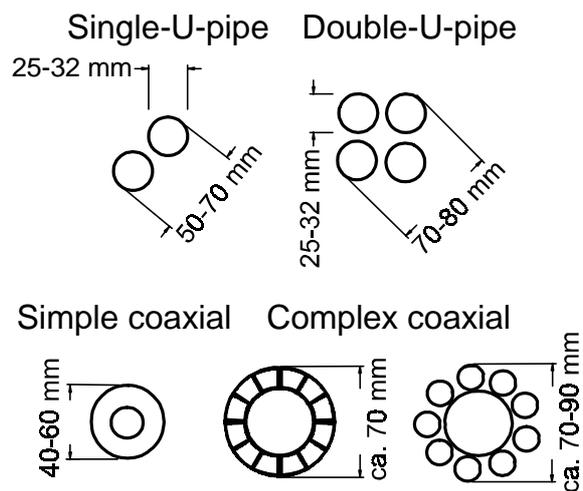


Fig. 7: Cortes de diferentes tipos de intercambiadores de calor en perforaciones

El material de relleno de la perforación y las paredes del intercambiador de calor provocan una baja de la temperatura, que se puede resumir como una resistencia térmica de la perforación. Para evitar estas bajas se han desarrollado materiales térmicos de relleno.

Se han llevado a cabo plantas con bombas para calor de fuente terrestre de distintos tamaños con intercambiadores de calor en perforaciones. Estas plantas varían desde pequeñas casas con una sola perforación a grandes edificios con grandes extensiones de terreno con intercambiadores de calor en perforaciones. La mayor cantidad de

perforaciones para una sola planta en Europa se ubica en la oficina central de Control de Tráfico Aéreo Alemán (German Air Traffic Control – Deutsche Flugsicherung), con 154 intercambiadores de calor en perforaciones de 70 m de profundidad (fig. 8). La única planta más grande en el mundo con 400 perforaciones, cada una de 130m de profundidad, tempera y refrigera al Richard Stockton College en New Jersey.



Fig. 8: El lugar de la planta de la institución Control de Tráfico Aéreo Alemán

Otra tendencia son las áreas residenciales con suministro de calor provenientes de las bombas para calor de fuente terrestre. Un ejemplo de ello es el área residencial conformado por cerca de 130 casas con este tipo de bombas individuales y uno o dos intercambiadores de calor en perforación ubicado en Weme, Alemania, en un área de cerca de 50.000 m (fig.9).

Un ejemplo perfecto para la integración total de sistemas de bombas para calor de fuente terrestre es el uso para sitios de relleno. La primera planta fue instalada para la cadena Philipps 66 en Prarie Village, Kansas. La bomba de calor utilizada para calefaccionar y refrigerar espacios está acoplada a diez intercambiadores de calor en perforaciones de 99 m de profundidad cada una. Los dispositivos de almacenamiento (*walk-in* enfriadores, congeladores y máquinas para hacer hielo de 14 kW,) tienen sus propios compresores separados refrigerados con agua. El calor residual de estos dispositivos es enviado a los mismos "loops" terrestres por medio del sistema de acondicionamiento de espacio (fig. 10). Esta instalación redujo el consumo de Electricidad en un 40% comparado con el equipo refrigerado por aire del mismo tamaño.



Fig.9: El concepto del arquitecto del sector residencial "Am Fürstenhof" in Werne

Para el funcionamiento del lavado de autos durante el invierno, la bomba para calor de fuente terrestre es acoplada a la calefacción de suelo por sistema radiante en la zona de lavado de los autos y debajo del concreto en las entradas y salidas de los lavaderos de auto.

Otros locales de Philipps 66 utilizan bombas para calor de fuente terrestre en Colorado, Oklahoma y Texas. Otro ejemplo es la Estación de Servicio "Skunk Creek" de Conoco, en Sandstone, Minnesota. Se han evaluado sistemas similares para cadenas de locales de comida rápida (p.ej. McDonalds).

El diseño de intercambiadores de calor en perforaciones para uso individual y pequeño se puede hacer con tablas, valores empíricos a guías (existen en Alemania y Suiza). Un parámetro general para calcular el largo necesario de un intercambiador de calor en una perforación es la extracción de calor específica, que se expresa en Watt por el largo en metros de la perforación (fig. 11). Los valores típicos se mueven entre 40-70 W/m, dependiendo de la geología (conduetividad térmica), funcionamiento de la bomba de calor en horas por año, la cantidad de perforaciones adyacentes, etc.

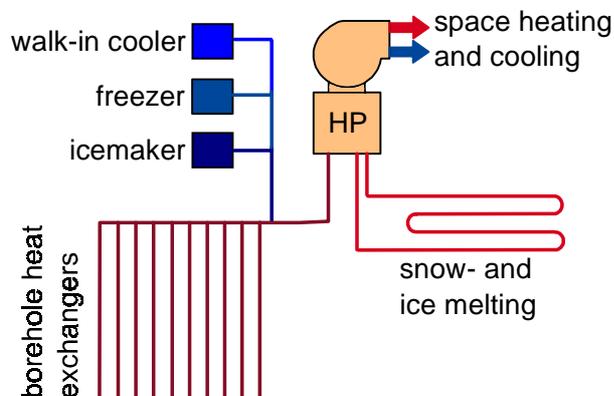


Fig. 10: Esquema de un sistema de suelo para una estación de llenado en EE. UU.

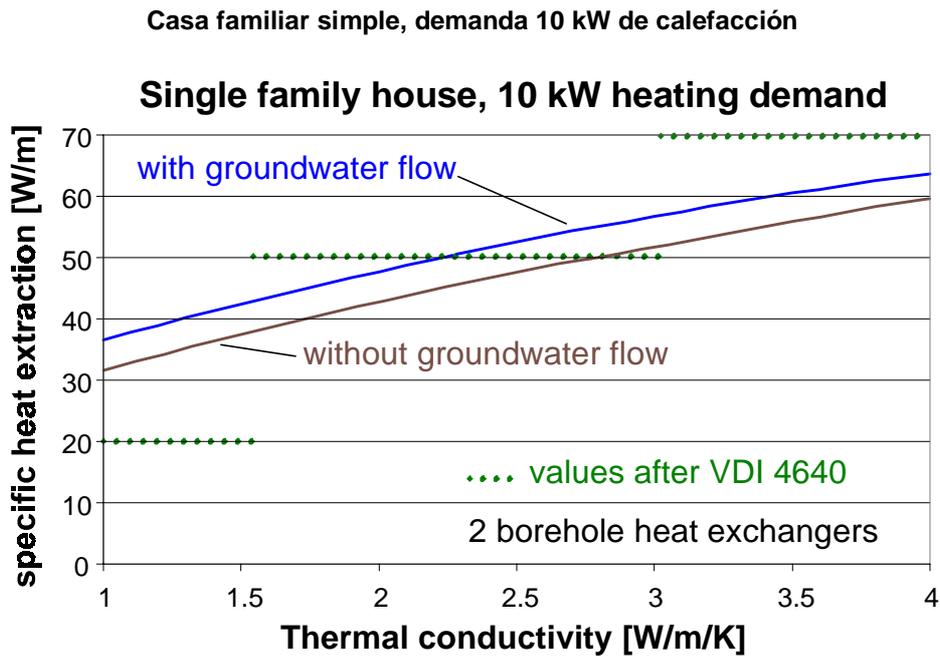


Fig. 11: Ejemplo de valores específicos de extracción de calor para una bomba para calor de fuente terrestre pequeña, sin uso de agua caliente con fines domésticos (el tiempo de funcionamiento de la bomba de calor es 1800h/a); VDI 4640 es la directriz alemana para bombas para calor de fuente terrestre.

Para plantas de mayor envergadura con intercambiadores de calor en perforaciones hay que hacer cálculos para determinar la cantidad de intercambiadores de calor en perforaciones y su largo. En los EE.UU. y en Europa existen programas para ser utilizados en el PC. Para casos más difíciles hay que hacer simulaciones con modelos numéricos. El **Thermal Response Test** (Test de Respuesta Térmica) (fig. 12) fue desarrollado para obtener parámetros confiables para dichos cálculos. Este test determina los parámetros térmicos del subsuelo en el terreno.

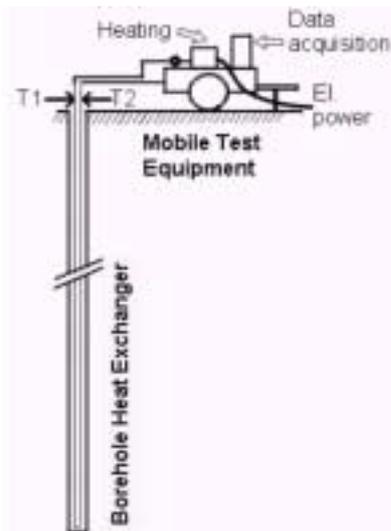


Fig. 12: Esquema del Thermal Response Test y el equipamiento en terreno

Un caso especial de sistemas cerrados verticales son los "pilares energéticos", es decir, pilares con función de fundamento de una casa con cañerías para el intercambiador de calor (fig. 13). Se puede utilizar todo tipo de pilares (prefabricados) y su diámetro puede variar entre 40cm y por sobre de un metro.

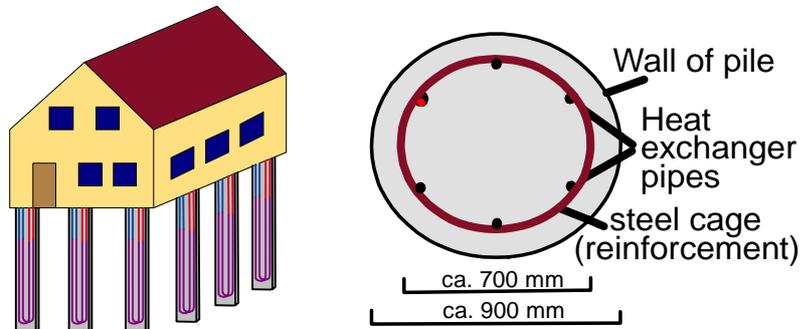


Fig 13. : Pilares energéticos y un corte de un pilar con 3 "loops"

Otros sistemas

Hay una cantidad de sistemas terrestres que no se pueden clasificar ni como cerrados ni como abiertos.

En un pozo de tipo columna se bombea el agua desde el fondo y, luego de dejar la bomba de calor, se filtra a través de la grava en la corona circular del pozo. Pozos de tipo columna requieren de cierta profundidad para proveer suficiente energía sin que el agua se congele, no obstante, muchas plantas tienen perforaciones de varios cientos de metros de profundidad. En Europa se conocen algunos casos (Suiza y Alemania), y también en los EE.UU. Cuando la perforación es cara, no se recomienda la tecnología para instalaciones pequeñas.

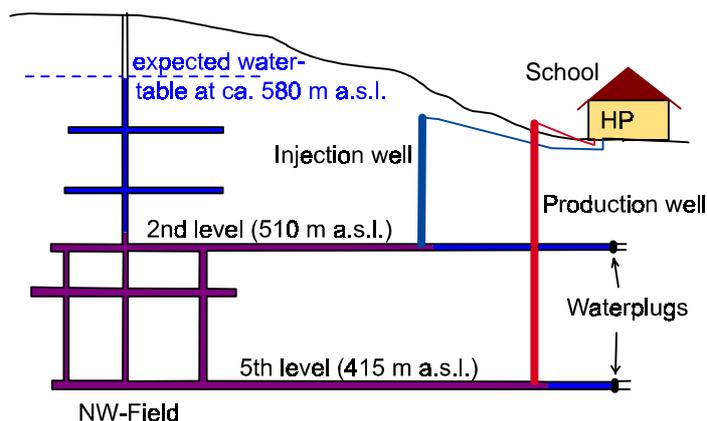


Fig. 14 Bomba de calor utilizando agua de una mina (Ejemplo en Ehrenfriedersdorf, Alemania, una mina de estaño abandonada)

Un concepto muy promisorio es la utilización del agua de las minas y los túneles. La temperatura de esta agua es todo el año uniforme y se puede acceder fácilmente a ella. Ejemplos utilizando el agua de una mina hay en Alemania (Sajonia, fig 14) y en Canadá. El agua de túnel se utiliza en el pueblo de Oberwald y en el acceso occidental del túnel ferroviario de Furka en Suiza y en Airolo. Aquí el agua del túnel carretero Gotthard provee la fuente calórica a una bomba de calor en las instalaciones para la mantención de la carretera. En las construcciones que se están realizando en los grandes túneles en los Alpes, se está desarrollando un nuevo potencial para este tipo de fuente calórica.

ALMACENAMIENTO DE ENERGIA TERMICA SUBTERRÁNEA (UTES)

En las UTES se almacena calor, frío o ambos bajo tierra. Los métodos de acoplamiento en el suelo (fig.15) son principalmente los mismos como los para las bombas de calor provenientes del suelo, con sistemas abiertos (ATES) y sistemas cerrados (BTES).

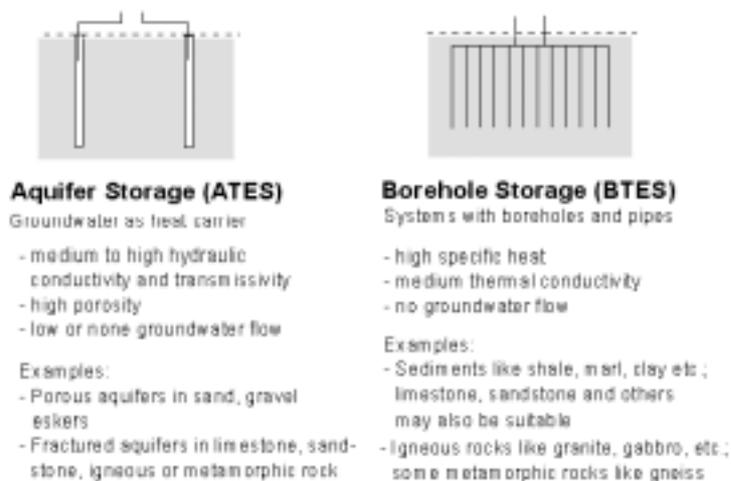


Fig. 15: Tipos de almacenamiento subterráneo de energía térmica y sus preferencias geológicas

El almacenamiento en frío se está tomando muy popular, puesto que la refrigeración de espacios es normalmente muy caro. Una combinación de almacenamiento de calor y frío es la conexión de superficies de calles y carreteras a una UTES (fig. 16). El calor proveniente de la radiación solar sobre la superficie se puede almacenar y utilizar en invierno para descongelar y derretir la nieve en esa superficie. Este sistema se utiliza principalmente en puentes, pero también se puede utilizar para cualquier otra superficie de la carretera, en las pistas de aterrizaje, etc.

El almacenamiento de calor puede hacer uso durante el verano del calor solar o calor residual para utilizarlo como calefacción en el invierno. Plantas de mayor envergadura hay en Alemania en Neckarsulm, donde el sistema BTES se carga con calor provenientes de colectores solares, y también calefacciona un distrito residencial. O en Berlín, donde el calor residual proveniente de un cogenerador de calor y energía se almacena durante el verano en ATES para calefaccionar en invierno (fig. 17). La planta de Berlín provee de calor y frío a los edificios del Parlamento Alemán (el Reichstag y las oficinas que lo rodean), e incorpora por primera vez dos sistemas ATES a distintos niveles: el superior para el almacenamiento de frío y el inferior para el almacenamiento de calor (hasta 70° C).

Los parámetros del sistema son:

La demanda total de energía es como sigue:

- Energía 8'600 kW 19'500 MWh/a
- calor 12'500 kW 16'000 MWh/a
- frío 6'200 kW 2'800 MWh/a

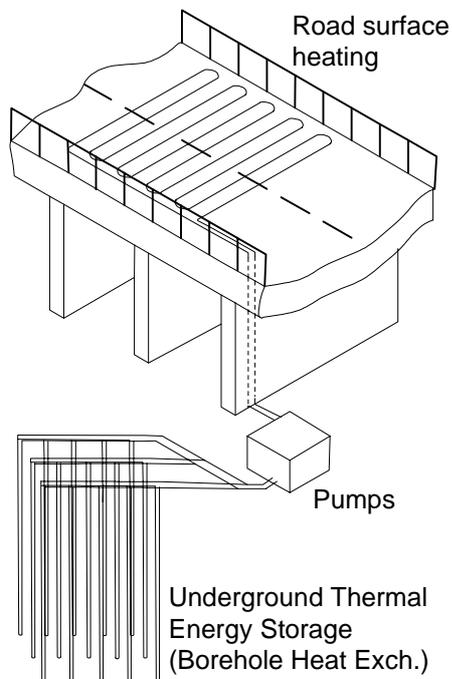


Fig. 16: UTES para descongelar superficies de carreteras

Para satisfacer la demanda de calor y frío, se han instalado varias unidades dentro del edificio del Parlamento Alemán y en los edificios circundantes:

- 2 plantas cogeneradoras de calor y energía
- 3 bombas de calor por absorción (calefacción y refrigeración)
- 1 caldera (para calefacción máxima)
- 2 compresores de enfriamiento (para refrigeración máxima)

Todo el exceso de calor proveniente de la generación de energía se almacena en el sistema ATES inferior, y gran parte de la refrigeración proviene de la ATES superior.

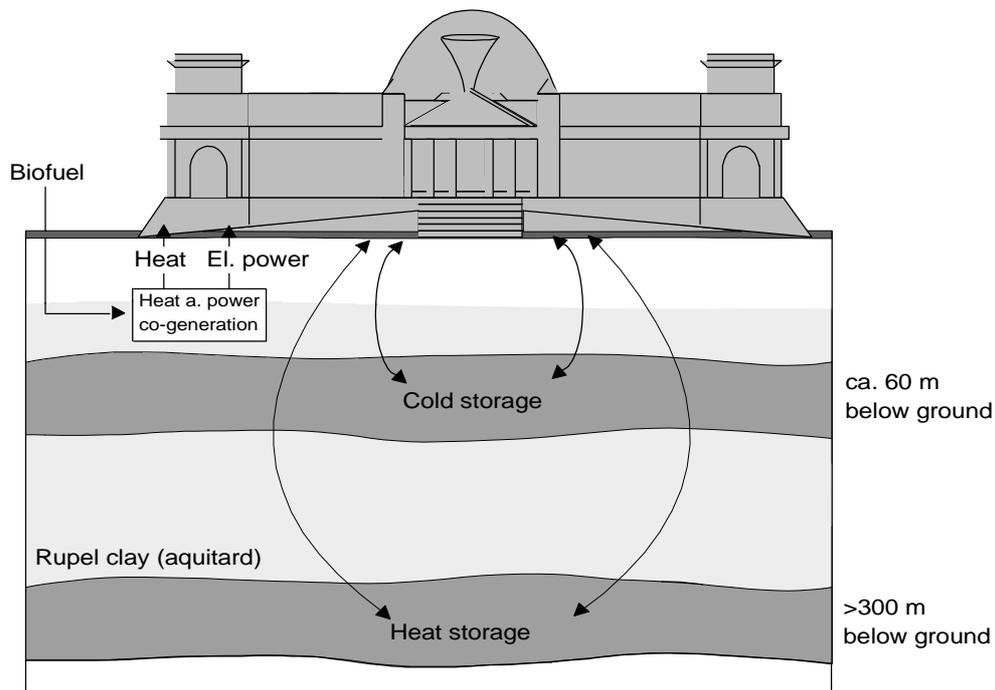


Fig. 17: Un esquema de los ATES del Parlamento Alemán en Berlin. (No está hecho a escala).

CONCLUSIÓN

La energía geotérmica a poca profundidad se puede utilizar en una gran variedad de sectores, desde la calefacción hogareña hasta el proceso de refrigeración y descongelamiento de carreteras. Los diseños y la construcción se comprenden bien y se elaboran en forma rutinaria. Sin embargo, se requiere de la capacidad y el conocimiento para garantizar instalaciones exitosas. En China hay buenas posibilidades para el uso de esta tecnología y se puede ver principalmente en el sector comercial (oficinas, fábricas, tiendas por departamentos, etc.), donde se requiere de calefacción y refrigeración.