

2. Estado del arte.

Esta tecnología comúnmente denominada “*climatización geotérmica*” es ampliamente utilizada y desde tiempos remotos en todo el mundo. Con este sistema se pretende calentar o enfriar (dependiendo de la estación del año) una corriente de fluido caloportador o aire, favoreciéndose de la gran inercia térmica con que cuenta la corteza terrestre. En verano se demanda refrigeración por lo que se procede a enfriar el fluido haciéndolo pasar a través del terreno, justamente lo contrario a lo que sucede en invierno.

En climatización, los intercambiadores tierra-aire abarcan múltiples configuraciones encaminadas a favorecer el rendimiento de la transferencia o motivadas por necesidades físicas. Todas ellas cuentan con aspectos positivos e inconvenientes, que conducen a una utilización u otra dependiendo de cada caso en particular.

Podemos distinguir dos tipologías en función del tipo de fluido que hacemos pasar a través del terreno. Si lo que circula por el interior del terreno es aire, el intercambiador utilizado será tierra-aire. En cambio, si se trata de un fluido caloportador se estará tratando con un intercambiador tierra-fluido caloportador. A continuación detallamos ambas tipologías.

2.1 Intercambio Tierra-Aire.

Estos sistemas son utilizados para el acondicionamiento directo de la temperatura interior de las construcciones. Los conductos enterrados operan en bucle cerrado con el espacio a climatizar. En dicho bucle, un impulsor fuerza la circulación de aire el número de veces necesarias para alcanzar la temperatura deseada. Este aprovechamiento geotérmico es conocido desde la última década de los años setenta y primeras de los ochenta aunque no alcanzaron una amplia aceptación popular. Actualmente han alcanzado un mayor interés debido a la creciente preocupación mundial por la sostenibilidad energética [8].

En la antigüedad, este sistema era denominado Pozo “*Provençal*” o “*Canadiense*”. Se trata de una canalización, en piedra enterrada en el flanco de una colina, que servía para canalizar por convección natural un flujo de aire que transitaba desde una boca externa, a través de una conducción, hacia la pieza principal de las construcciones tradicionales. Se trata de un sistema poco sofisticado y de baja eficiencia, pero que en una edificación tradicional, donde la inercia térmica de los cerramientos es elevada debido a la existencia de muros de gran espesor y pocas aberturas, el resultado es más que aceptable [8].

Las ventajas más determinantes del pozo provenzal son:

- ✓ Requiere una inversión mucho menor que una climatización convencional si no se demandan cargas térmicas excesivamente elevadas.
- ✓ Los requerimientos energéticos para el transporte de fluido son reducidos, tanto más cuanto menos acusadas sean las variaciones sufridas por el aire a su paso por los tubos enterrados.
- ✓ La necesidad de un mantenimiento muy reducido, por lo que su vida útil puede llegar a ser tan elevada como durabilidad tenga el material del que estén realizadas las canalizaciones.

Como inconvenientes se pueden citar los siguientes:

- ✗ Las funciones de precalentamiento en invierno y refrigeración en verano están sujetas a un desfase diario y otro estacional, dados por la inercia térmica del subsuelo. Esta inercia térmica condiciona un desfase temporal, alcanzando los valores más frescos por la mañana, tras la noche, y en primavera, tras el invierno, y los valores más cálidos por la tarde, tras el mediodía, y en otoño, tras el verano.
- ✗ El almacenamiento de calor debido a las oscilaciones estacionales se propagan unos 3 metros alrededor de los conductos, mientras que en la oscilación diaria se propaga unos 20 centímetros, de tal manera que las oscilaciones diarias primaran sobre las oscilaciones estacionales que requieren una masa de almacenamiento más importante y además se encuentran limitadas por una difusión en profundidad [8].
- ✗ Los sistemas basados en pozos canadienses funcionan en bucle abierto, por lo que los conductos por donde circula el aire pueden ser obstruidos por inclusión de suciedad.

La Figura mostrada a continuación ilustra una comparativa de la evolución de temperaturas al integrar un pozo provenzal en un sistema de ventilación con recuperación térmica para las dos estaciones más agresivas del año, en lo que al clima se refiere.

La Figura 7 muestra como, en invierno, estando el aire exterior a -8°C , éste se puede introducir a 12°C si se enfrenta a una corriente de aire interior, que se enfría desde 22°C hasta 10°C . El efecto de integrar el pozo canadiense es claramente notorio, de forma que en lugar de introducir el aire en el local a -8°C , se introduce a 4°C , produciéndose el mismo salto térmico de la corriente de aire interior, alcanzando 16°C la corriente de aire exterior. En verano sucede lo mismo, pero la corriente de aire que se introduce al local reduce su temperatura en mayor grado que si no hiciésemos pasar el aire a través del terreno.

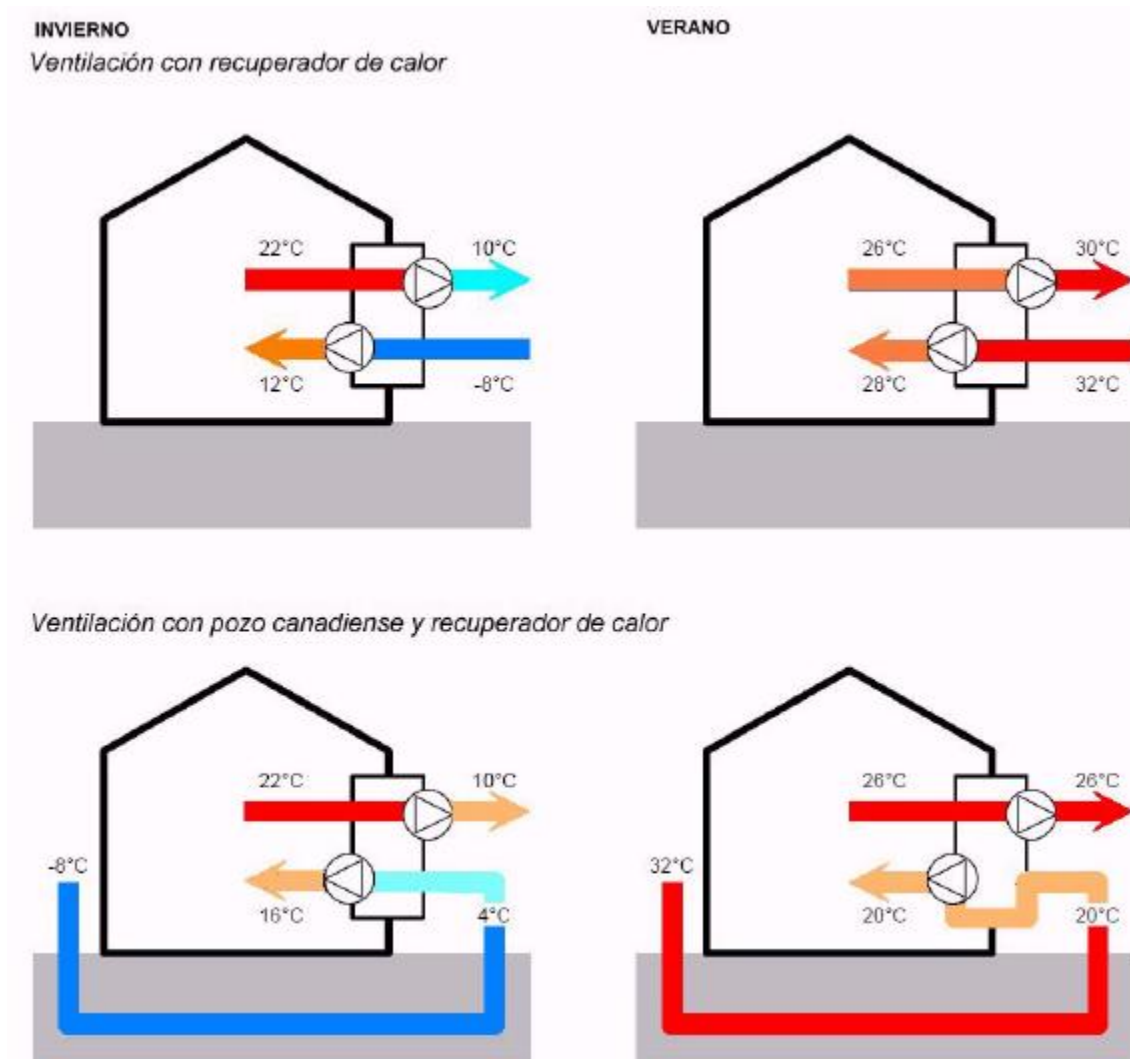


Figura 7.- Pozo provenzal en régimen de invierno y verano [8].

Para el correcto funcionamiento de este sistema han de tenerse en cuenta los siguientes aspectos:

- El tipo de material de los conductos.
- Dimensionado del sistema (longitudes, diámetros, etc.).
- Características del terreno.
- Profundidad de operación.

En la actualidad, estos sistemas son optimizados mediante el uso de dispositivos, que aprovechan las inercias térmicas diarias y estacionales existentes en el subsuelo. Son denominados acumuladores térmicos y su función es retardar la oscilación térmica para su aprovechamiento en el periodo deseado.

La conductividad térmica del suelo es el factor limitante más importante que se ha de tener en cuenta en el diseño de un intercambiador. Así pues, es de vital importancia clasificar el terreno según sus propiedades, para lo que deben identificarse los tipos de

suelo y rocas presentes en la zona así como las variaciones de las propiedades físicas relevantes desde un punto de vista térmico.

2.2 Intercambio Tierra-Fluido Caloportador.

En este caso se utiliza un fluido intermedio entre la climatizadora y el terreno, que circula por el interior de los tubos enterrados, intercambiando energía con el subsuelo.

El fluido más utilizado para este tipo de aplicaciones es el agua por ser un recurso inagotable, así como por ser el más barato con mejores propiedades térmicas de los posibles fluidos caloportadores.

Se diferenciarán varios casos dependiendo del modo de operación del fluido caloportador. Es decir, si opera en bucle abierto o cerrado.

2.2.1 Circuito cerrado.

Atendiendo a la disposición de los tubos enterrados, se pueden distinguir:

Red horizontal.

Constituyen los sistemas cerrados más sencillos, y se emplean en instalaciones de baja potencia que cuentan con grandes superficies de terreno disponible. Aproximadamente de extensión entre 1.5 y 2 veces la superficie a climatizar. Según los distintos instaladores, la profundidad del circuito oscila entre los 60 centímetros y los 5 metros, aunque lo habitual es que se entierren aproximadamente a un metro de profundidad [2].

Esta instalación es menos eficiente, ya que a ésta profundidad, el terreno se ve afectado por la climatología en mayor grado, pero en cambio, el coste de instalación es menor, lo que la hace más atractiva desde el punto de vista económico.

Para su diseño se ha de tener en cuenta:

- Profundidad de zanja.
- N° de zanjas.
- Espacio entre las sondas en cada zanja.

Según el número de tubos empleados en la red horizontal, se puede clasificar en:

- Simple

En este caso se dispone de un único tubo dispuesto de forma horizontal.

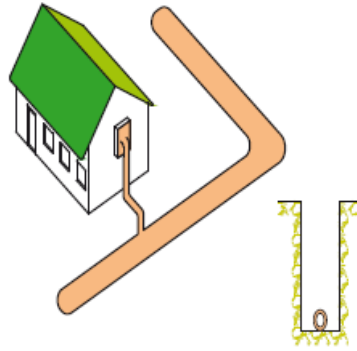


Figura 8.- Red horizontal simple [2].

- Doble o múltiple.

Esta configuración es empleada cuando se disponen dos o más tubos en paralelo en el emparrillado de tubos. En esta configuración, la profundidad de la instalación es algo mayor que en distribución simple, ya que se ha de considerar la influencia térmica entra conductos en su colocación.

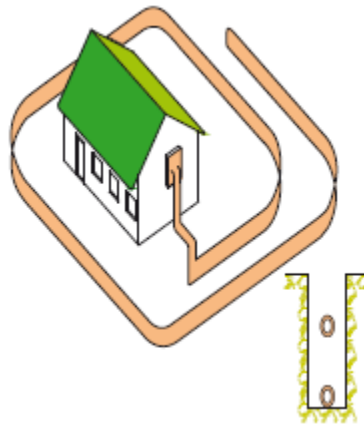


Figura 9.- Red horizontal doble [2].

Se pueden distinguir las siguientes configuraciones de tubos en horizontal en función de la trayectoria seguida por el fluido:

- Conexión en serie.

De esta manera, los distintos tramos de tubería se conectan a continuación del inmediatamente anterior. En la Figura 10, se observa como el fluido entra por un extremo y sale por el otro de la única tubería enterrada.

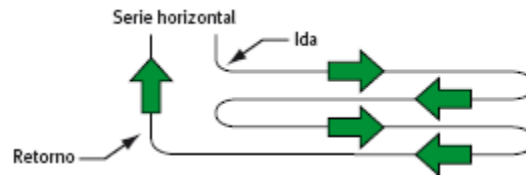


Figura 10.- Red horizontal serie [2].

La ventaja más destacada de esta configuración es el menor consumo en bombas requerido, puesto que la pérdida de carga es relativamente reducida.

Como inconveniente podemos citar el hecho de que se necesitará una mayor longitud de tuberías y un terreno más amplio, para poder cumplir con los requerimientos de potencia de la unidad terminal.



Figura 11.- Red horizontal serie [2].

- Retorno Directo.

En dicha configuración se introduce el fluido caloportador por un extremo del colector de entrada y se recoge por el mismo extremo del colector de salida, como muestra la Figura 12.

De este modo, existen presiones desiguales en los tubos con lo que se requiere mayor potencia de bombeo para distribuir proporcionalmente el fluido por ellos.

También se puede destacar la disminución de la eficiencia en la transferencia de calor ya que el fluido no se reparte proporcionalmente por todos los conductos.

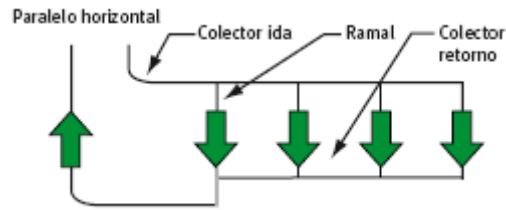


Figura 12.- Red horizontal retorno directo [2].

Los tubos suelen estar fabricados en polipropileno reticulado, polietileno rígido, o polietileno de baja densidad.

- Retorno inverso.

Esta configuración es similar a la anterior en todos los aspectos, salvo en el extremo de retorno del agua a la instalación. Esto es, el agua se impulsa por un extremo del colector de entrada en dirección a la batería de tubos y es retornada a la instalación desde el extremo opuesto, a través del colector de salida, como muestra la Figura 13.

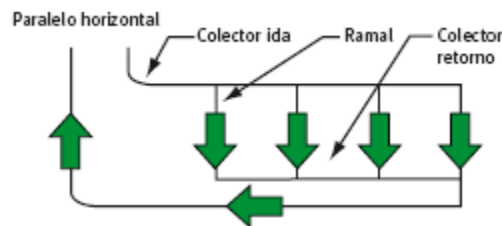


Figura 13.- Red horizontal retorno inverso [2].

Las características son las siguientes:

- ✓ Las presiones en cada tubería son similares.
- ✓ Necesitamos emplear menor potencia en el bombeo que en el caso de retorno directo, ya que el fluido se distribuye proporcionalmente por cada tubería.
- ✓ Se logra una transferencia de calor más uniforme debido a que el fluido caloportador se distribuye en mejor medida en la batería de tubos. Ello hace que aumente el rendimiento de la transferencia de calor y con ello disminuya el coste necesario para satisfacer la demanda.

- Alimentación central.

En este modo de distribución de fluido a la batería de tubos, se introduce el líquido por el centro de la misma, como se muestra en la Figura 14.

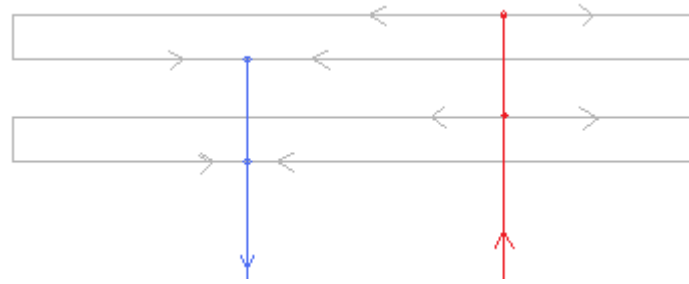


Figura 14.- Esquema red horizontal alimentación central.

El fluido circula por los tubos dispuestos en “U”, desde el colector de entrada (rojo) hacia el colector de salida (azul).

Las características más destacadas de esta configuración son:

- Es necesaria una menor longitud de tuberías para transferir la misma cantidad de energía que en los casos anteriores, puesto que el fluido recorre mayor distancia en los tubos.
- Se facilita el acceso de los colectores al emparrillado de tubos.
- Como inconveniente, cabe citar la desigualdad de presiones, lo que origina una disminución de la eficiencia en la transferencia térmica.
- Otro aspecto negativo a tener en cuenta es la distancia entre ramales de tuberías en lo que a interacción térmica entre ellos se refiere.

Red vertical.

Esta configuración consiste en una serie de perforaciones verticales por las cuales discurre un par de tubos, que hacen la función de intercambiador vertical. Los tubos suelen estar conectados en U, de modo que se minimice la pérdida de carga. Por uno de ellos se impulsa el fluido caloportador mientras que por el otro se devuelve hasta la siguiente perforación.

Esta configuración es empleada si no se dispone de terreno para la red horizontal con el inconveniente de resultar más caro, pero con la ventaja de disponer de una temperatura menos variable a lo largo del año (ya que es tanto más constante cuanto mayor sea la profundidad de trabajo).

Si se disminuye a suficiente profundidad, el rendimiento de calefacción aumenta, ya que el gradiente de temperatura de la corteza terrestre es de 3 °C cada 100 metros aproximadamente.

Según los instaladores, se puede perforar desde 30 metros hasta 150 metros o incluso algo más.



Figura 15.- Integración en la edificación de red vertical [2].

En el diseño de esta tipología se suelen utilizar tuberías de polietileno y se suelen tener en cuenta los siguientes aspectos:

- Profundidad de cada perforación.
- N° de perforaciones.
- Distancia entre perforaciones (se recomienda que esta distancia no sea inferior a los 6 metros para evitar interferencias térmicas entre las perforaciones, distancia que deberá aumentarse cuando la conductividad del terreno sea elevada).

Las configuraciones mas destacadas de tubos en vertical según la trayectoria del fluido son las siguientes:

➡ Configuración en serie.

En esta tipología, como muestra la Figura 16, el fluido de trabajo recorre la tubería desde la entrada hasta la salida.

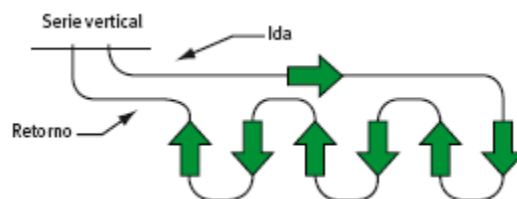


Figura 16.- Red vertical disposición en serie [2].

Las ventajas de esta configuración son:

- ✓ La trayectoria del fluido está perfectamente definida.
- ✓ El aire atrapado puede ser eliminado con gran facilidad (purga).
- ✓ Funcionamiento térmico más alto por metro lineal de tubo, puesto que se requiere de un diámetro superior.

Como desventajas se pueden destacar:

- ✗ Se necesita un diámetro superior para el tubo, lo que implica mayor cantidad de fluido y anticongelante (en su caso), es decir, aumenta el coste de la instalación.
- ✗ Longitud limitada debido a la caída de presión del fluido.
- ✗ La posible obstrucción de algún tramo del tubo dejaría fuera de servicio el intercambiador completo.

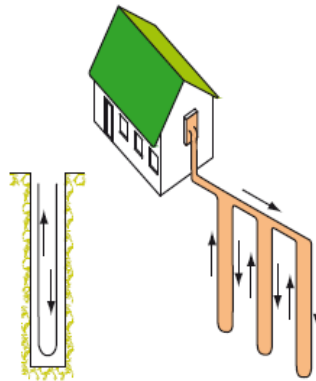


Figura 17.- Integración en edificación.
Red vertical serie [2].

➡ Configuración en paralelo.

En esta disposición, el tubo de salida del sistema de climatización se divide en diferentes ramales, que posteriormente se vuelven a unir para retornar al sistema de climatización en un único tubo. De esta manera, el caudal de fluido caloportador se divide por las diferentes tuberías para intercambiar calor con el terreno.

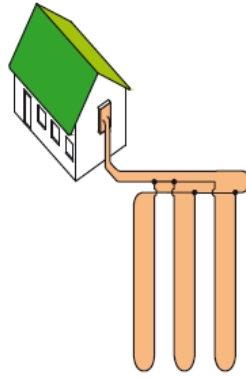


Figura 18.- Integración en edificación.
Red vertical paralelo [2].

El aspecto positivo más destacado del sistema en paralelo es:

- ✓ Coste de instalación menor respecto de la configuración en serie, al disminuir los diámetros necesarios y la cantidad de fluido de intercambio. Esto es debido a que se puede introducir mayor número de tubos, al no tener restricciones de volumen (se puede profundizar todo lo que se necesite y la tecnología actual me permita).

Las desventajas del sistema en paralelo son:

- ✗ Hay que prestar especial atención a la eliminación del aire que pueda resultar atrapado, ya que éste hace que disminuya la efectividad de la transferencia de calor al aumentar la resistencia térmica equivalente (ya que la conductividad del aire es muy reducida).
- ✗ Problemas para equilibrar el flujo en los distintos bucles, lo que origina una disminución del rendimiento de la transmisión.

La Figura 19 muestra detalladamente la trayectoria seguida por el fluido a su paso por los distintos ramales.

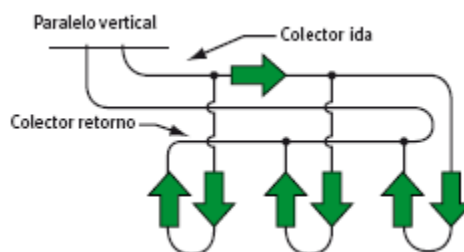


Figura 19.- Red vertical paralelo [2].

En esta dirección de excavación se pueden clasificar los sistemas según el tipo de tubería utilizada:

➤ Simple U.

Consiste en un par de tubos rectos de diámetros comprendidos entre $\frac{3}{4}$ " y $1\frac{1}{2}$ ", conectados con un cambio de sentido en forma de U en la parte inferior.

Single U-pipe
Pipe diameter = 25-32 mm
Width = 50-70 mm



Figura 20.- Tubos simple en U [12].

➤ Doble U.

Esta construcción es similar a la anterior pero con la diferencia de que en una misma perforación se instalan dos o más tubos en U, separados adecuadamente para evitar la incidencia térmica entre ramales.

Double U-pipe
Pipe diameter = 25-32 mm
Max. Width = 70-80 mm

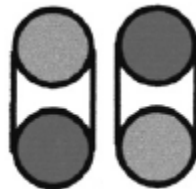


Figura 21.- Tubos doble en U [12].

En la Figura 21 aparecen sombreados los conductos por los que el fluido discurre en el mismo sentido.

➤ Coaxial.

En los tubos verticales coaxiales, el fluido entra por el tubo central y recorre toda la longitud hasta alcanzar la zona de mayor profundidad, y retorna por el tubo exterior que tiene sección en forma de corona circular, en el caso de tubo coaxial simple o de varios tubos exteriores más pequeños, en el caso de tubo coaxial compuesto.

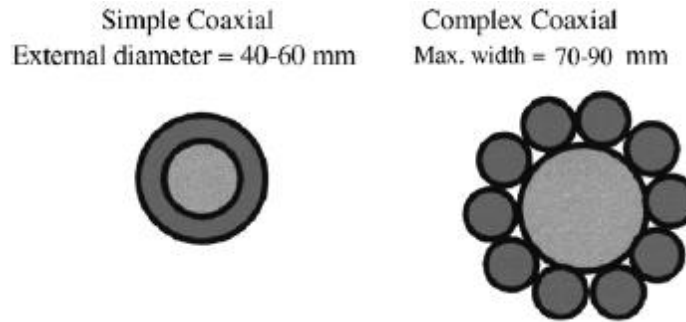


Figura 22.- Tubos coaxial simple (a) y compuesto (b) [12].

En la Figura anterior aparecen sombreadas las secciones por las que el fluido discurre en el mismo sentido.

- **Intercambiadores sumergidos.**

Cuando se dispone de una gran masa de agua como en un río o en un lago, se pueden sumergir los tubos para mejorar el rendimiento de la transferencia térmica.



Figura 23.- Intercambiador sumergido.

Es una opción muy interesante por ser barata y muy eficiente, ya que se intercambia energía térmica contra agua prácticamente subterránea, con el elevado salto térmico disponible.

- **Intercambiadores “Slinky”.**

Si no se dispone de demasiado terreno, se puede colocar el tubo en espiral, en una disposición llamada “Slinky” o “rizada”. Con ello, se instala la mayor cantidad de tubería con la menor excavación posible.

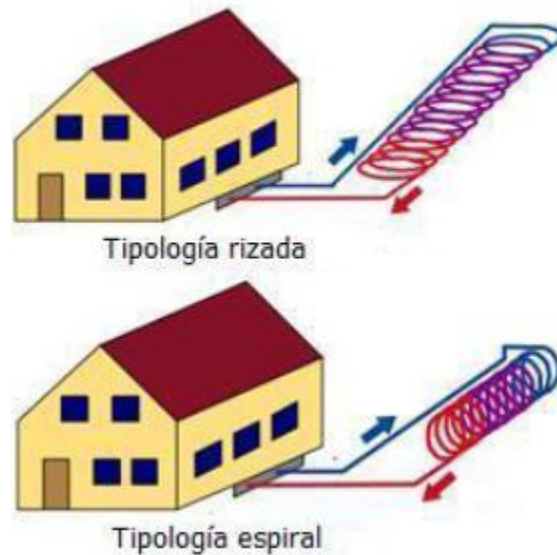


Figura 24.- Intercambiador Slinky.

Existen dos configuraciones posibles:

- Tubería rizada en dirección horizontal.
- Tubería rizada en dirección vertical.

Con esta última disposición se consigue el mayor intercambio energético posible para la mínima área en planta de terreno, mientras que el coste de realización aumenta con la profundidad de trabajo.

▪ **Sistemas híbridos.**

Estos sistemas constituyen una mejora de las configuraciones anteriormente descritas para conseguir una mayor eficiencia media anual. Se pueden distinguir tres grandes categorías según la tecnología relacionada.

- ❖ Circuito cerrado con estanque de enfriamiento suplementario.

En situaciones en las que se disponga de acumulaciones de agua, el sistema principal de intercambio, en configuración vertical, se puede apoyar con un intercambiador sumergido. De esta forma, se evita que el sobrecalentamiento del terreno provoque una disminución de la eficiencia del sistema de climatización.

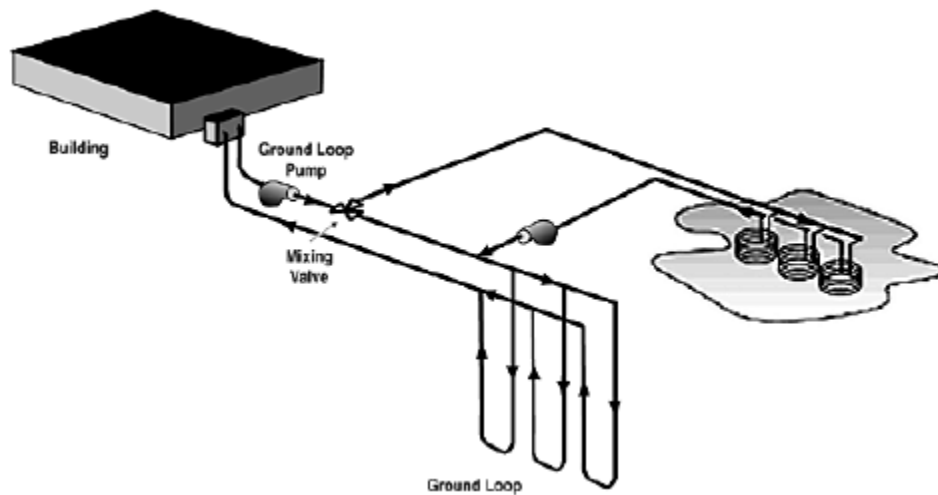


Figura 25.- Sistema híbrido con intercambiador sumergido [19].

❖ Circuito cerrado apoyado por colector solar.

En zonas climáticas frías, al sistema de tubos enterrados se puede introducir un colector solar térmico, de manera que se reduce el área de transferencia requerida e incrementa la eficiencia de la bomba de calor. En la mayoría de los casos, el colector solar térmico puede ser conectado directamente al lazo de tuberías enterradas, como muestra la Figura 26.

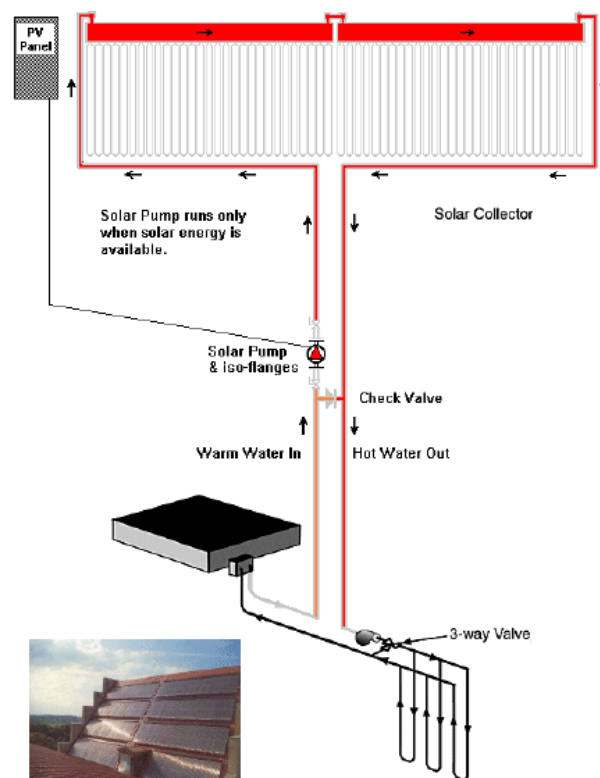


Figura 26.- Sistema híbrido con colector solar térmico [19].

❖ Lazo cerrado conectado con torre de enfriamiento.

La torre de refrigeración integrada en el sistema geotérmico es una alternativa a considerar en el caso de no disponer de agua embalsada. En esta configuración, la torre de enfriamiento puede ser conectada directamente al circuito cerrado vertical o mediante un intercambiador intermedio, como muestra la Figura 27.

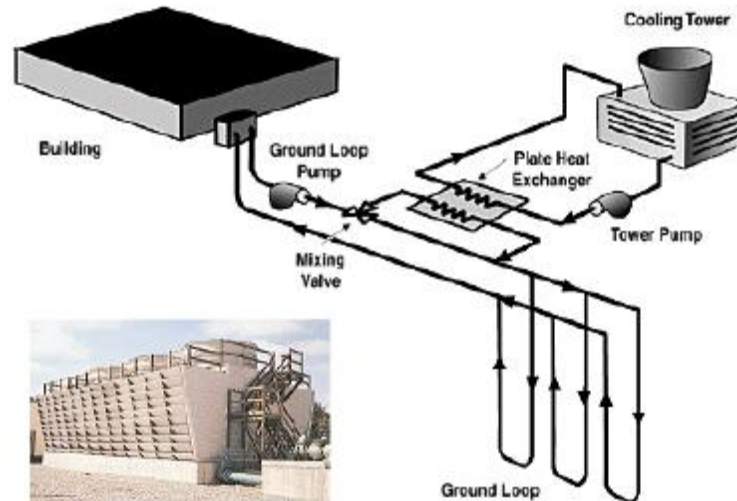


Figura 27.- Sistema híbrido con torre de refrigeración [19].

El modo de operación seguido es impulsar agua hacia los conductos enterrados cuando la temperatura del terreno sea inferior a la temperatura húmeda del aire que circunda la torre de refrigeración (periodo central del día), mientras que se hace pasar por la torre de refrigeración en la situación inversa (periodo nocturno). Con ello se consigue un aumento de la eficiencia diaria y por tanto anual, del sistema de climatización.

2.2.2 Circuito abierto.

En este sistema se introduce el agua sobrante en el terreno con bombas situadas en pozos para su posterior recuperación en condiciones térmicas más favorables a partir otro pozo de extracción separado una cierta distancia del anterior. Esta opción es la más interesante desde un punto de vista económico e idóneo cuando existen flujos de agua en el subsuelo o acuíferos en la zona estudiada.

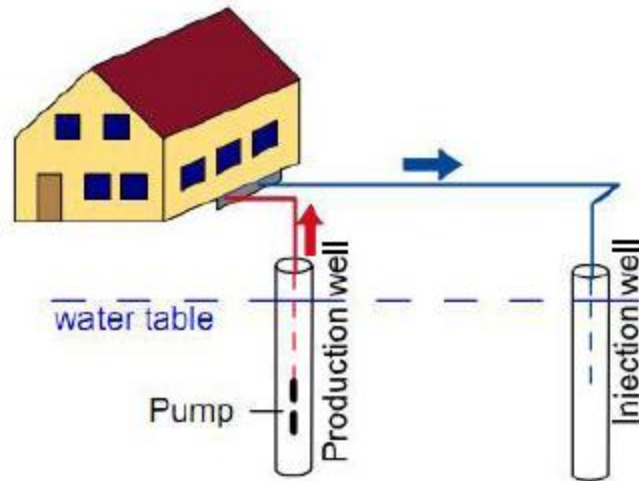


Figura 28.- Inyección en circuito abierto [12].

Para cada tipo de terreno se ha de tener en cuenta el nivel freático para la instalación de la bomba puesto que si el nivel freático es demasiado bajo, el coste de construcción de los pozos de succión e inyección de agua sería prohibitivo para el proyecto.

Además de esto, se ha de considerar la normativa existente en cada país respecto a la inyección/extracción de agua en el subsuelo.

La principal aplicación de ésta configuración son las bombas de calor condensadas por agua subterránea. En ellas, la diferencia entre las temperaturas que limitan el proceso de calefacción, es decir, la temperatura de evaporación y condensación se reduce debido al decremento de la temperatura del medio contra el que cedemos la energía térmica. Con ello, aumentamos la eficiencia de la bomba de calor, y en consecuencia, el coste energético se reduce.

Estos sistemas tienden a ser utilizados en instalaciones de grandes dimensiones. Como ejemplo, el sistema de almacenamiento en el terreno de mayor tamaño se encuentra en Louisville, Kentucky (EE.UU.), donde el sistema de climatización al que está acoplado es capaz de suministrar aproximadamente 10 MW de frío y calor, a varios hoteles y oficinas.

En resumen, la selección de un intercambiador de calor horizontal, vertical o “*Slinky*” dependerá de la superficie de terreno disponible, la potencia a disipar y los costes de instalación. Generalmente los sistemas horizontales se emplean para instalaciones de baja potencia (viviendas) con grandes superficies disponibles, mientras que los sistemas verticales permiten la ejecución de grandes instalaciones con una perfecta integración en la edificación y sin la necesidad de emplear grandes superficies de terreno [5].

2.3 Instalaciones existentes en la actualidad.

En la actualidad, existen miles de instalaciones con almacenamiento térmico en la corteza terrestre para aumento del rendimiento del sistema de climatización. En la Tabla 1 son mostradas las principales instalaciones existentes y sus características más destacadas.

INSTALACIÓN	AÑO	TIPO DE INSTALACIÓN	CARACTERÍSTICAS
Polideportivo de Alfaro (La Rioja, España) [14]	-	Circuito cerrado, Red vertical	60 kW para suministro de ACS.
Hotel Moderno de Alfaro (La Rioja, España) [14]	-	Circuito cerrado, Red vertical	Instalación de 75 kW de almacenamiento térmico.
Colegio en Wahpeton, North Dakota (EE.UU.) [16]	1988	Circuito cerrado, Red vertical	286 perforaciones, área utilizada de 17 km ² . Coste de instalación 418 000 \$.
Little Red School House, Onamia (Minnesota, EE.UU.) [18]	1992	Circuito cerrado, Red vertical	560 perforaciones de 15 metros de profundidad. 110 907 MJ/año de energía térmica transferida al terreno.
Mc Donald's Pensacola, Florida (EE.UU.) [18]	-	Circuito cerrado, Red vertical	55 perforaciones de 105 metros de profundidad.
The Neft Elementary school, Lancaster (Pennsylvania)	1995-96	Circuito cerrado, Red vertical	Intercambiador geotérmico de 140 perforaciones de 87 metros de profundidad y una capacidad de almacenamiento de 1.3 MW térmicos. Ahorro anual: 37 000 \$.
Cameron Middle School, Cameron (Missouri)	1992	Circuito cerrado, Red vertical	En la actualidad cuenta con una bomba de calor geotérmica con 257 perforaciones, ahorrando anualmente 20 000 \$.

Tabla 1.- Instalaciones existentes en la actualidad [15] [16] [17] [18] [19] [20]

Seguidamente se realiza la descripción de diferentes instalaciones de almacenamiento térmico, en configuración de circuito cerrado, de las que se dispone de más cantidad de información. De modo general, de cada instalación se indica: una descripción de la instalación, su modo de operación y los datos de operación más relevantes.

▪ Edificio en Ocaña (Toledo).

El edificio está ubicado en el centro de Ocaña en la provincia de Toledo y se trata de una construcción realizada en 2 plantas de viviendas con un total de 526 m² a climatizar, sótano, local comercial de 42 m² y piscina.

El edificio posee suelo radiante-refrescante como elemento emisor en la parte destinada a vivienda y fan-coils en el local comercial, además de extender la temporada de baño en la piscina exterior.

La particularidad de esta obra reside en que las perforaciones se han ejecutado en el interior de la edificación ya construida, por lo que la limitación viene dada por el espacio, tanto en la superficie disponible para el campo de captación como en la reducida altura de trabajo para realizar la sondeos con las máquinas de perforación [15].

▪ Edificio de oficinas en Santander.

Esta obra está destinada a un edificio de oficinas en el Parque Científico y Tecnológico de Cantabria, en Santander. Las necesidades de climatización del edificio se ubican alrededor de unos valores de potencia para calefacción de 130 kW y para refrigeración de 106 kW, siendo el tiempo anual de funcionamiento de 1 170 horas y 769 horas, respectivamente.

En cuanto a la captación, se utilizan sondas en doble U de 32 milímetros de diámetro, de polietileno de alta densidad de 16 atm.

La conductividad térmica de la zona, determinada según datos bibliográficos, alcanza un valor medio de 2,2 W/(m·K) para este tipo de rocas, lo que supone un campo de captación de 17 sondeos de 120 metros para cubrir la demanda del edificio. Esto ofrece un ratio de extracción de 63 W/m para calefacción y 52 W/m para refrigeración.

La configuración final proyectada se reduce a 13 sondeos de 120 metros de profundidad [15].

▪ Hotel en Sanxenxo.

El edificio destinado a Apartamentos turísticos tiene una superficie aproximada de 1000 m² dividida en tres plantas y 13 apartamentos, en los cuales se ha instalado un sistema de climatización mediante *fan-coils* a 2 tubos, distribuidos en cada apartamento y zonas comunes.

Los datos de demanda térmica para el edificio son: 125.114,45 MJ/año para ACS, 285.473,06 MJ/año para calefacción y 63.418,98 MJ/año para refrigeración.

La instalación cuenta con una bomba de calor condensada por agua para climatización con una potencia calorífica y frigorífica de 52.7 kW y 45.6 kW, respectivamente, y para cubrir la demanda de ACS una potencia calorífica de 23.2 kW.

Durante la perforación de los últimos pozos, se hizo imposible llegar a las cotas de profundidad proyectadas debido a los elevados caudales surgentes de aguas subterráneas. Para solucionar este problema se procedió al replanteo in situ de la profundidad de estos pozos y compensación de la energía captada en esos metros con un nuevo sondeo. Finalmente se ejecutaron 14 sondeos, nueve de ellos de 90 metros y cinco de 65 metros [15].

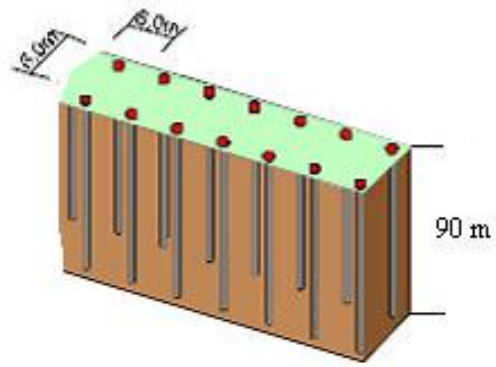


Figura 29.- Campo de captación.

▪ Colegio Richard Stockton en New Jersey.

Este colegio cuenta con una de las instalaciones de tubos enterrados, de lazo cerrado en configuración vertical, más larga existente en el mundo para sistemas de climatización. La capacidad térmica de almacenamiento instalada supera los 6 MW para un proyecto diseñado con 400 pozos de 130 metros de profundidad.

La superficie en planta ocupada es de 3.5 hectáreas, estando localizado en su mayoría bajo el aparcamiento de coches, lo que da lugar a un menor impacto en el desarrollo normal de las actividades del campus.

En cuanto a la distribución de las perforaciones cabe destacar que son de 31 milímetros de diámetro ocupadas por un tubo en U de polietileno de alta densidad.

▪ Daniel Boone High School, Tennessee (Washington County).

Inicialmente contaba con un sistema tradicional de refrigeración y una caldera de gas natural y resistencias eléctricas adicionales para la generación térmica. Desde 1992 se instaló una bomba de calor geotérmica en configuración en lazo cerrado de red vertical de tubos en U, con 257 perforaciones, llevándose a cabo un ahorro monetario anual alrededor de los 20 000\$, respecto de la situación inicial.

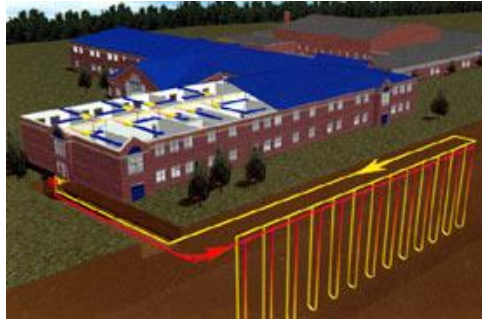


Figura 30 - GHE Daniel Boone High School [20].

El sistema cuenta con bombas de calor situadas en los distintos locales de manera que, en invierno el agua que circula por los tubos absorbe la energía térmica del terreno, mientras que en verano sucede lo contrario.

▪ Edificio de viviendas en Morella, Castellón.

Ha sido implantado en un edificio residencial de Morella (Castellon) un sistema de climatización geotérmica. Esta instalación dota de calefacción y agua caliente a un edificio que consta de un local comercial, tres viviendas y un altillo.

La instalación cuenta con tres perforaciones de 100 metros cada una por las que discurre una tubería simple U de polietileno de alta densidad PN SDR 11 de 40 milímetros de diámetro. La separación entre perforaciones es de seis metros y medio.

Cuenta con una bomba de calor agua-agua de 26.3 kW térmicos.

Con la introducción de la bomba de calor geotérmica se ha conseguido un ahorro de 800 euros al año, respecto de la situación convencional [21].

▪ Veinticuatro viviendas unifamiliares en Tudela, Navarra.

Las viviendas expuestas son edificios de tres plantas más sótano. Cada una posee 130 m² climatizados y existen dos configuraciones diferentes de vivienda, en función de su orientación: norte o sur.

La instalación geotérmica se encuentra equipada con dos bombas de calor geotérmicas, una de 40 kW trabajando como maestra, y otra de 20 kW, trabajando como esclava. Estos equipos cuentan con COP superior a 5 en algunos casos.

El campo de captación geotérmico proyectado fue de diez sondeos verticales de 100 metros de profundidad, cada uno de ellos equipados con sondas doble U y separados una distancia aproximada de 7 metros, ubicados en el garaje mancomunado de las viviendas [21].

En resumen, la Unión Europea es una de las principales potencias del mundo en el desarrollo de las bombas de calor geotérmicas, estimándose su instalación en más de 455 000 unidades que, traducido a energía primaria, representa unas 580 000 tep. Suecia, con más de 220 115 unidades y una potencia acumulada de 2 016.9 MWt es el primer país de Europa en la utilización de estas aplicaciones. Le siguen Alemania y Francia a mucha distancia, tanto en número de instalaciones como en lo referente a la potencia de las mismas. La Unión Europea cuenta con 150 MW térmicos instalados en nuestro país.

Las instalaciones existentes en la actualidad en la Unión Europea están cuantificadas en la Figura 31.

BOMBAS DE CALOR GEOTÉRMICAS EN LA UNIÓN EUROPEA (AÑO 2005)		
	Nº de unidades	Capacidad total (MW)
SUECIA	220.115	2.016,9
ALEMANIA	61.912	804,8
FRANCIA	67.820	746
AUSTRIA	35.847	716,1
FINLANDIA	33.500	335
PAÍSES BAJOS	1.600	235,5
ITALIA	6.000	120
POLONIA	8.100	104,9
DINAMARCA	6.700	80,4
BÉLGICA	5.000	60
REPÚBLICA CHECA	3.727	61
IRLANDA	1.500	19,6
ESTONIA	2.190	20,7
LITUANIA	4	13,6
REINO UNIDO	550	10,2
GRECIA	319	4
HUNGRÍA	230	6,5
ESLOVENIA	300	3,4
ESLOVAQUIA	10	1,6
PORTUGAL	1	0,2
LETONIA	10	0,2
TOTAL UNIÓN EUROPEA	455.435	5.379

Figura 31.- Bombas de calor geotérmicas en la Unión Europea [17].

Como se puede observar en la figura anterior, existen numerosas instalaciones, aparte de las ya mencionadas, cuya información encontrada es demasiado escasa para su inclusión en este documento.