UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA **FACULTAT DE NÀUTICA DE BARCELONA**

PROYECTO FINAL DE CARRERA

ESTUDIO DE INSTALACIONES DE CLIMATIZACIÓN GEOTÉRMICAS EN VIVIENDAS

Autor: Víctor Espada Serrano

Tutor: Ignacio Echevarrieta Sazatornil

Especialidad: Enginyeria Tècnica Naval en Propulsió i Serveis del Vaixell

ÍNDICE

OBJETIVO Y ALCANCE DEL PROYECTO 6
CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN A LA GEOTERMIA 7
1.1 Conceptos generales 8
1.2 Características principales de la energía geotérmica 8
1.3 Tipos de energía geotérmica 8
1.4 Aplicaciones de la geotermia en infraestructuras 9
1.5 Ventajas e inconvenientes de la energía geotérmica 10

CAPÍTULO 2: LA GEOTERMIA EN EL CONTEXTO MUNDIAL, EUROPEO Y ESPAÑOL 11
2.1 La geotermia: Contexto Internacional 12
2.1.1 Aplicaciones de la energía geotérmica en el marco mundial 14
2.2 La geotermia: Contexto Europeo 15
2.3 La geotermia: Contexto Español 16
2.4 Datos históricos de interés relacionados con la geotermia 17

CAPÍTULO 3: FUNDAMENTOS TÉRMICOS DEL TERRENO 18
3.1 Introducción. Análisis geológico del terreno 19
3.2 Evolución de la temperatura con la profundidad 19
3.3 Propiedades térmicas del terreno 20

CAPÍTULO 4: DISEÑO DE SISTEMAS GEOTÉRMICOS PARA CLIMATIZACIÓN DE EDIFICIOS 21
4.1 Introducción a la climatización geotérmica 22
4.2 Diseño y dimensionamiento de una instalación geotérmica 24
4.3 Procedimiento de diseño de un intercambiador enterrado 27
4.3.1 Elección de la bomba de calor 27
4.3.2 Elección del fluido circulante 28
4.3.3 Elección de los tubos 29
4.3.4 Dimensionamiento del intercambiador de calor enterrado 30
4.3.5 Selección de la bomba de circulación 32

CAPÍTULO 5: EJECUCIÓN DE LA INSTALACIÓN 33
5.1 Ejecución de la instalación: sondas horizontales 34
5.1.1 Ejecución de la zanja 34
5.1.2 Tendido de tuberías horizontales 34
5.1.3 Relleno de la zanja 35
5.1.4 Pruebas de presión en tuberías horizontales 36
5.1.4.1 Purgado de la instalación 36
5.1.3.2 Pruebas de estanqueidad y resistencia conjuntas 36
5.2 Ejecución de la instalación: intercambiador slinky 37
5.2.1 Elección de la configuración de tubo 'slinky' según la disposición de las espiras 37
5.2.2 Ejecución de la zanja 38

5.3 Ejecución de la instalación: intercambiador vertical **39**
5.3.1 Introducción **39**
FASE 1: DISEÑO DEL SISTEMA **39**
1.1 Estudio de la viabilidad. anteproyecto **39**
1.2 Ejecución del sondeo piloto y TRT **39**
1.3 Simulación y diseño definitivo del sistema. Proyecto **42**
FASE 2: EJECUCIÓN DEL INTERCAMBIADOR GEOTÉRMICO **43**
2.1 Planificación previa a la ejecución del sistema **43**
2.2 Planificación durante la ejecución del sistema **43**
2.3 Pasos en la ejecución del sistema **44**
2.3.1 Sistemas de perforación geotérmica **44**
FASE 3: INTRODUCCIÓN DE LA SONDA **45**
FASE 4: SELLADO DEL POZO. INTRODUCCIÓN DEL RELLENO **46**
FASE 5: MONTAJE DE COLECTORES **48**
5.1 Introducción **48**
5.2 Configuraciones principales **48**
5.2.1 Configuración lineal **48**
5.2.2 Configuración radial **49**
5.2.3 Tuberías a sala de máquinas **49**

CAPÍTULO 6: PUESTA EN MARCHA DE LOS EQUIPOS **50**
6.1 Introducción **51**
6.2 Limpieza y purga del sistema **51**
6.3 Pruebas de estanquidad y resistencia de la instalación. **52**
6.4 Puesta en marcha de la bomba de calor **52**
6.5 Mantenimiento **52**

CAPÍTULO 7: SISTEMAS DE DISTRIBUCIÓN **54**
7.1 Introducción **55**
7.2 Distribuidores **55**

CONCLUSIÓN **58**

CAPÍTULO 8: BIBLIOGRAFÍA **59**
8.1 Bibliografía de consulta **60**
8.2 Webgrafía **60**
8.2.1 Principales páginas web de referencia **60**
8.2.2 Otras páginas web de referencia **61**

ANEXOS **62**
ANEXO 1: Valores de conductividad y capacidad térmica para distintos tipos de materiales **63**
ANEXO 2: Principales características de los tubos **64**
ANEXO 3: Principales sistemas de perforación geotérmica **67**
A3.1 Introducción **67**

A3.2 Rotopercusión neumática con martillo en fondo **67**
A3.3 Rotación con circulación directa y lodos **70**
ANEXO 4: Pasos a efectuar en el purgado de la instalación **73**

OBJETIVO Y ALCANCE DEL PROYECTO

El objetivo del presente proyecto es estudiar, de forma general, las instalaciones geotérmicas destinadas a la climatización de viviendas.

En España, la explotación de este recurso no es implantada de igual manera que en otros países. No obstante, en los últimos años, dicha implantación ha ido aumentando de forma considerable.

Uno de los principales objetivos del proyecto es explicar detalladamente el proceso de planificación y ejecución de los sistemas geotérmicos cerrados, de su planificación hasta la puesta en marcha de los equipos.

El alcance del presente proyecto es dar a conocer al lector aspectos generales del aprovechamiento del calor del subsuelo mediante sistemas geotérmicos.

CAPÍTULO 1:

INTRODUCCIÓN A LA GEOTERMIA

1.1 CONCEPTOS GENERALES

- El término geotermia proviene del Griego *geo* (Tierra) y *thermos* (calor), es decir, "calor de la Tierra".

- Se define como geotermia al conjunto de procesos industriales que intentan aprovechar las condiciones térmicas de la Tierra para producir energía eléctrica y/o calor útil para el ser humano.

- Se define como energía geotérmica como aquella energía que puede obtenerse mediante el aprovechamiento del calor del interior de la Tierra.

1.2 CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES DE LA ENERGÍA GEOTÉRMICA

- Es una de las fuentes de energía renovable menos conocidas pero más eficientes.

- Se trata de una energía de producción continuada y gestionable.

- El origen de la energía geotérmica se encuentra en la descomposición de los isótopos radiactivos presentes en las zonas internas de la Tierra, que al desintegrarse liberan gran cantidad de energía y de la radiación solar.

- El empleo de esta energía ha estado durante mucho tiempo limitado a áreas geográficas con condiciones geológicas muy concretas. Los avances tecnológicos y las mejoras en la prospección y perforación permiten explotar los recursos geotérmicos a temperaturas inferiores.

1.3 TIPOS DE ENERGÍA GEOTÉRMICA

En la corteza terrestre existen áreas estables con flujo calorífico bajo y áreas inestables con flujo calorífico muy elevado. Ambas situaciones nos definen los distintos tipos de energía geotérmica.

- **Energía geotérmica de alta temperatura o alta entalpía:** Existe en las zonas activas de la corteza terrestre, con temperaturas comprendidas entre los 150 y 400°C y se aprovecha para producir electricidad.
  Su explotación se hace por medio de perforaciones muy parecidas a las de extracción de petróleo. A partir de dicha instalación se obtiene vapor en la superficie, y mediante una turbina, se genera electricidad.

- **Energía geotérmica de media temperatura:** Es aquella en la que la temperatura del yacimiento se encuentra entre 90 y 150°C.

- **Energía geotérmica de baja temperatura o baja entalpía:** La temperatura del yacimiento no es suficiente para producir energía eléctrica (30-90°C). En este caso se aprovecha la diferencia de temperatura entre el subsuelo más próximo y el exterior de la superficie terrestre realizando un intercambio de calor.

- **Energía geotérmica de muy baja temperatura:** La temperatura es inferior a los 30°C y su aprovechamiento directo se realiza con o sin bomba de calor geotérmica para calefacción o refrigeración.

1.4 APLICACIONES DE LA GEOTERMIA EN INFRAESTRUCTURAS

La energía geotérmica posee un gran rango de aplicación que comprende desde grandes edificaciones con requerimientos energéticos elevados (hospitales, edificios de oficinas, bloques de viviendas, hoteles, etc...) a construcciones con un consumo menor de energía (viviendas unifamiliares, casas de campo, chalets, etc...). La geotermia también puede ser implantada en edificios ya construidos.

Las principales aplicaciones de la energía geotérmica son las siguientes:

- Calefacción en viviendas, edificios y naves industriales.
- Refrigeración.
- Producción de Agua Caliente Sanitaria (ACS).
- Climatización de Piscinas.
- Acuicultura.
- Ganadería.
- Invernaderos.

1.5 VENTAJAS E INCONVENIENTES DE LA ENERGÍA GEOTÉRMICA

VENTAJAS

- Es una fuente de energía renovable e inagotable.
- Su aprovechamiento es permanente. La energía geotérmica no se ve afectada por los cambios estacionales ni por las condiciones climáticas del exterior.
- Los costes de mantenimiento no son costosos.
- Sistema de gran ahorro energético y económico.
- Las instalaciones geotérmicas tienen una vida útil superior a los 50 años.
- Los residuos producidos son mínimos y ocasionan menos impacto ambiental que los residuos de combustibles fósiles.
- Sistema silencioso combinable a otro tipo de energías renovables.
- Flexibilidad de ubicación.
- Instalación estética. La mayor parte del circuito se encuentra bajo tierra.

INCONVENIENTES

- En circuitos abiertos de aguas freáticas existe una ligera contaminación térmica.
- Incapacidad de transporte como energía primaria.
- Alto coste de instalación. Se requiere un estudio previo y una gran cantidad de material.

CAPÍTULO 2:

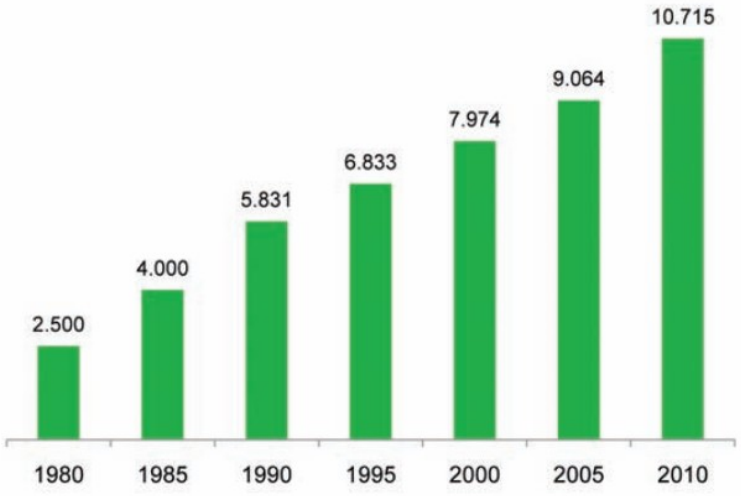
LA GEOTERMIA EN EL CONTEXTO MUNDIAL, EUROPEO Y ESPAÑOL

2.1 LA GEOTERMIA: CONTEXTO INTERNACIONAL

- El crecimiento de la geotermia con el fin de generar energía se sitúa en torno a un 5,5% anualmente durante los últimos 30 años.

- Del 2005 al 2010, se ha aumentado la capacidad instalada en el mundo un 15,5%, pasando de 9.065 MW a 10.715 MW instalados en este periodo.

❖ **CRECIMIENTO DE LA CAPACIDAD DE ENERGÍA GEOTÉRMICA INSTALADA EN EL MUNDO**

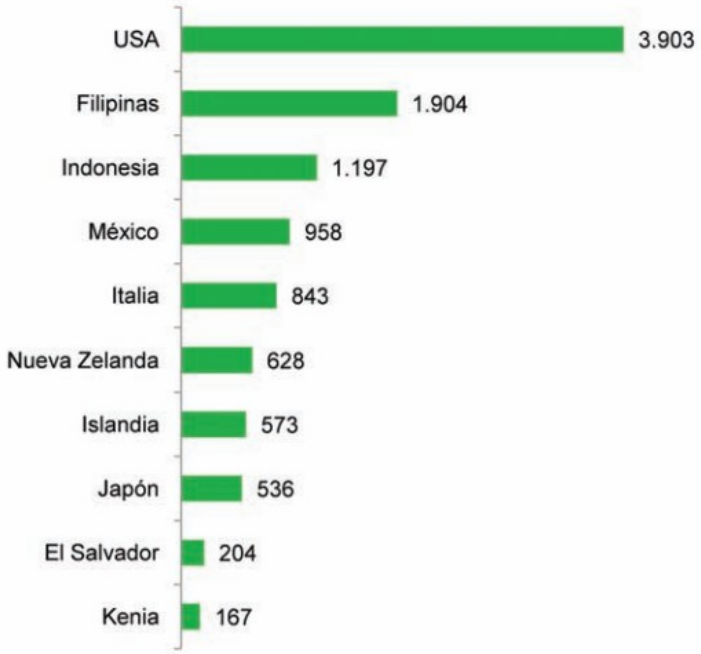


Fuente: International Geothermal Association

- Estados Unidos es el país del mundo con más capacidad instalada 36.5% del total, seguido de Filipinas que posee un 17.7% del total.

- El crecimiento no es lineal en todos los países. Islandia, del 2005 al 2010 ha aumentando un 43% su capacidad instalada, seguido de Indonesia con un 33%.

❖ PAÍSES CON MAYOR CAPACIDAD GEOTÉRMICA INSTALADA EN 2010



Fuente: International Geothermal Association

❖ EVOLUCIÓN DE LA CAPACIDAD INSTALADA SEGÚN PAÍSES

País	1990	1995	2000	2005	2010	Variación 05-10 (%)
El Salvador	95	105	161	151	204	26%
Islandia	44	50	170	322	573	43%
Indonesia	144	309	589	797	1.197	33%
Italia	545	631	785	790	843	6,7%
Japón	214	413	546	535	536	0,1%
Kenya	45	45	45	127	167	24%
México	700	753	455	953	958	0,5%
N. Zelanda	283	286	437	435	628	30,7%
Filipinas	891	1.227	1.909	1.931	1.904	-1,4%
USA	2774	2.816	2.228	2.544	3.093	17,7%
Total	5.831	6.833	7.974	9.064	10.715	15,5%

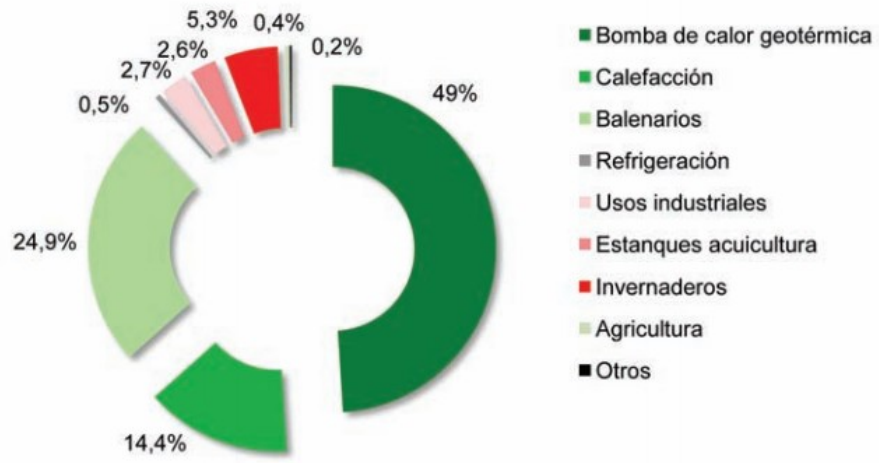
Fuente: International Geothermal Association

2.1.1 APLICACIONES DE LA ENERGÍA GEOTÉRMICA EN EL MARCO MUNDIAL

- La energía geotérmica tiene distintas aplicaciones, entre las que se encuentran la producción de electricidad, calefacción, refrigeración, usos agrícolas, aplicaciones en procesos industriales, etc.

- Actualmente, aproximadamente el 70% de la energía obtenida de los recursos geotérmicos se emplea para calefacción.

❖ **APLICACIONES DE USO DIRECTO DE LA GEOTERMIA EN EL MUNDO**

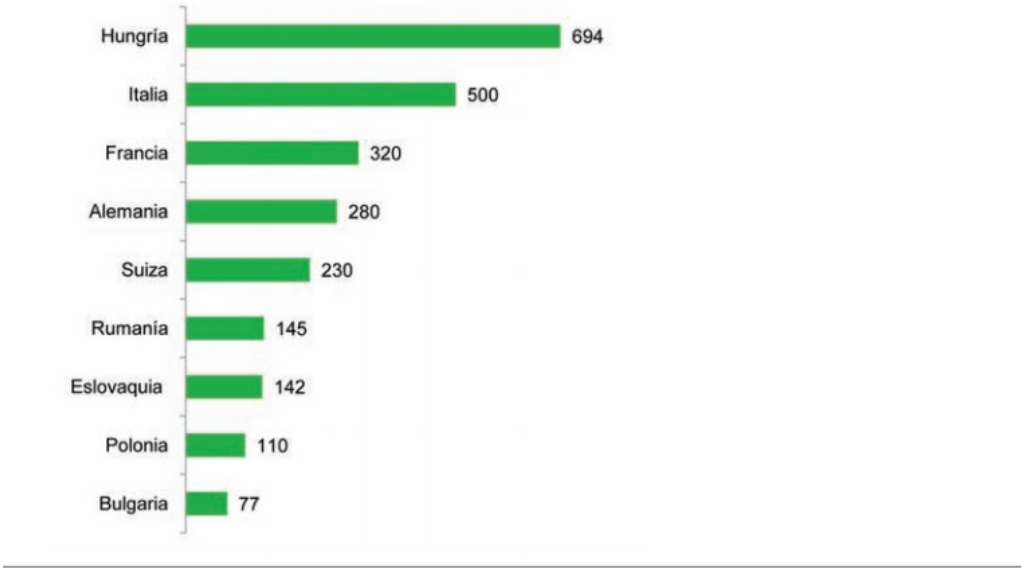


Fuente: International Geothermal Association

2.2. LA GEOTERMIA: CONTEXTO EUROPEO

- En la actualidad, Europa posee una contribución de la geotermia al sistema energético de un 5.4%, superando la contribución realizada por otras fuentes de energía renovables como la eólica o la solar.

❖ **PAÍSES CON MAYOR CAPACIDAD INSTALADA EN EUROPA (MW)**



Fuente: Eurobserver

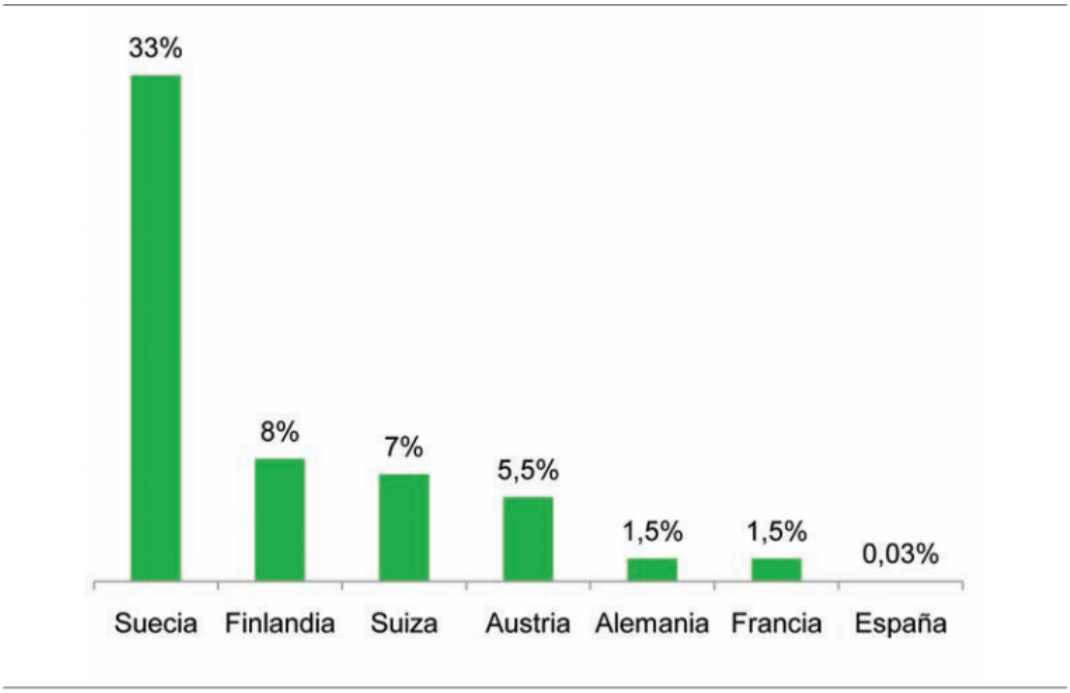
- La potencia de energía geotérmica de baja temperatura instalada en la Unión Europea ascendió en 2008 un 78% de la capacidad geotérmica instalada (8.920 MW).

- Europa, actualmente, cuenta con alrededor de 800.000 instalaciones destinadas a explotar los recursos geotérmicos.

2.3. LA GEOTERMIA: CONTEXTO ESPAÑOL

- Dentro de las energías renovables, la energía geotérmica presenta una cuota del 0.03% en España.
- España no cuenta con instalaciones de generación eléctrica mediante tecnología de alta entalpía.
- España se encuentra muy por debajo de otros países de la comunidad europea.

❖ **GRÁFICO COMPARATIVO DE INTRODUCCIÓN DE LA GEOTÉRMIA**



Fuente: Secartys

- No obstante, se prevé un crecimiento de un 191% de la energía obtenida a partir de bombas de calor del 2010 al 2020.

2.4. DATOS HISTÓRICOS DE INTERÉS RELACIONADOS CON LA GEOTERMIA

- **Año 1000:** Los colonos polinesios emplean vapor geotérmico para cocinar en Nueva Zelanda.
- **Año 1400:** En Francia se desarrolla la primera red geotérmica.
- **Año 1892:** Empieza a funcionar la primera calefacción geotérmica en Estados Unidos.
- **Año 1904:** Pierio Ginori Conti realiza los primeros ensayos para producir electricidad a partir de la geotermia.
- **Año 1913:** Puesta en marca de la primera planta comercial de producción eléctrica a partir de recursos geotérmicos en Larderello (Italia) La potencia instalada alcanza los 250 MW.
- **Año 1928:** Islandia comienza a familiarizarse y emplear recursos geotérmicos para uso doméstico (calefacción).
- **Año 1945:** En Estados Unidos se empiezan a desarrollar circuitos abiertos con aguas subterráneas y bombas de calor.
- **Años 1958 - 1960:** Estados Unidos y Nueva Zelanda ponen en marcha su primera planta geotérmica comercial.
- **Año 1974:** En España, la investigación geotérmica se incluye dentro de los planes nacionales de energía.
- **Año 2000:** Amplio desarrollo y extensión de los sistemas geotérmicos cerrados.
- **Año 2007:** Europa alcanza y supera los 15.000 MW de potencia geotérmica instalada.

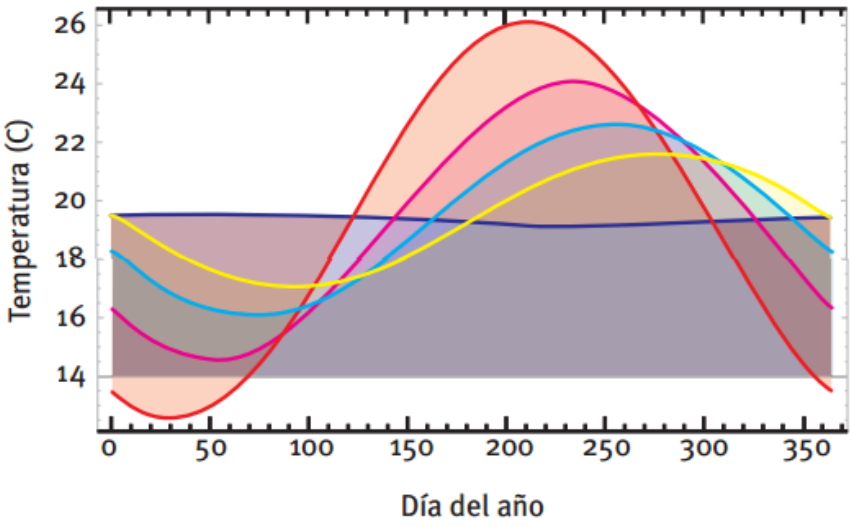
CAPÍTULO 3:

FUNDAMENTOS TÉRMICOS DEL TERRENO

3.1 INTRODUCCIÓN. ANÁLISIS GEOLÓGICO DEL TERRENO

La energía aportada por la radiación solar, precipitaciones y otros efectos atmosféricos es transferida diariamente a la superficie de la tierra produciéndose un equilibrio. Como consecuencia de este equilibrio, a ciertas profundidades (10 metros aproximadamente), la temperatura se mantiene constante y se aproxima a una media anual del aire ambiente en esa determinada zona.

3.2 EVOLUCIÓN DE LA TEMPERATURA CON LA PROFUNDIDAD



Evolución estacional de las temperaturas a lo largo de un año para un punto situado a diferentes profundidades bajo la superficie. Lugar: Valencia. Fuente: IDAE

Datos:

- **Curva en rojo:** Oscilación natural, inmediatamente bajo la superficie.
- **Curva en magenta:** Datos tomados a 1 metro de la superficie.
- **Curva en azul claro:** Datos tomados a 2 metros de la superficie.
- **Curva en amarillo:** Datos tomados a 3 metros de la superficie.
- **Curva en azul oscuro:** Datos tomados a 10 metros de la superficie.

Hasta una profundidad de unos 50 metros, la temperatura del terreno está básicamente determinada por el intercambio térmico con la atmósfera y el sol, así como la presencia de aguas subterráneas, resultando de esta manera, constante.

De los 50 metros a los 100 metros se establece generalmente un gradiente geotérmico variable, puesto que el terreno todavía está bajo los fenómenos de intercambio superficial.

Por debajo de los 100 metros se suele establecer un gradiente geotérmico claro y la temperatura se incrementa con la profundidad. Este incremento puede ser muy variable según las condiciones y propiedades térmicas del terreno. Como carácter general, en terrenos estables tectónicamente, suele estimarse que el gradiente geotérmico a partir de los 100 metros puede oscilar unos 15-30°C/km.

Resumen de ideas:

La temperatura media del terreno se puede asumir constante hasta una profundidad de 100 metros.

El valor de la oscilación anual depende de la localización, tipo de suelo y contenido de agua.

A partir de los 100 metros de profundidad se establece un gradiente geotérmico claro.

3.3 PROPIEDADES TÉRMICAS DEL TERRENO

Conductividad

La conductividad térmica es una propiedad característica de cada material que indica su capacidad para conducir calor.

Capacidad térmica

La capacidad térmica o calorífica es el cociente entre el calor que se suministra a un sistema y la variación de la temperatura provocada.

Difusividad térmica

La difusividad térmica se define como el ratio entre la capacidad de conducción del terreno y la capacidad térmica del terreno.

CAPÍTULO 4:

DISEÑO DE SISTEMAS GEOTÉRMICOS PARA CLIMATIZACIÓN DE EDIFICIOS

4.1 INTRODUCCIÓN A LA CLIMATIZACIÓN GEOTÉRMICA

Tal como se ha visto anteriormente, uno de los usos de la energía geotérmica radica en la climatización de edificios.

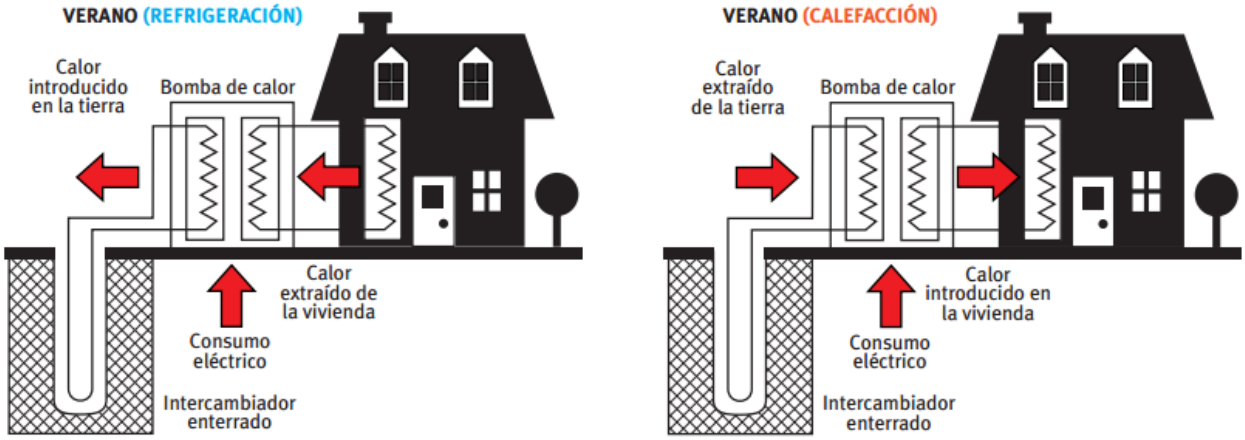
Se define como climatización geotérmica al sistema que emplea el calor latente presente en el subsuelo para tal fin.

Una de las tecnologías más importantes para el aprovechamiento de la energía geotérmica es la bomba de calor geotérmica, que aprovecha la energía almacenada en los cien primeros metros de la corteza terrestre.

La bomba de calor geotérmica extrae calor del subsuelo a una temperatura relativamente baja y consigue aumentarla para emplearla en sistemas de calefacción. Este incremento se logra mediante un compresor.

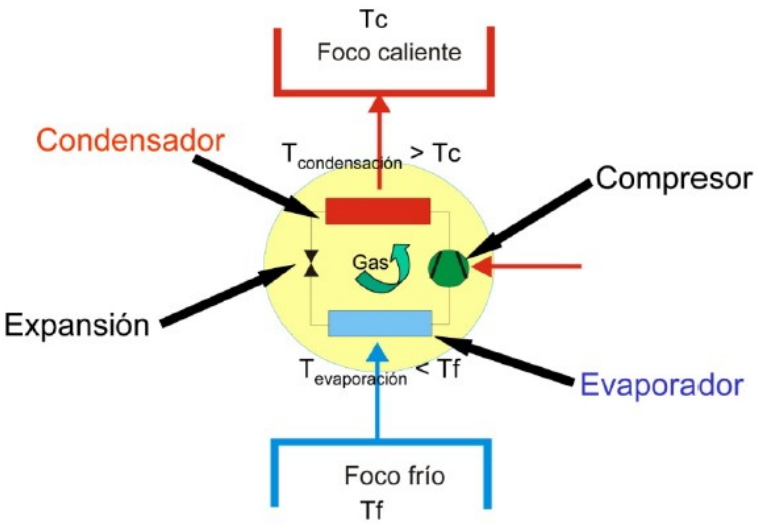
El proceso es invertible en verano. El calor obtenido del edificio se cede a la tierra, refrigerando de este modo.

Las bombas de calor geotérmicas trabajan con la estabilidad de las temperaturas que la tierra genera.



Esquema de funcionamiento de una bomba de calor. Fuente: IDAE

Los sistemas aplicables para la climatización geotérmica son múltiples y éstos se fijarán dependiendo de unos determinados factores.



Esquema del ciclo de funcionamiento de una bomba de calor geotérmica.

4.2 DISEÑO Y DIMENSIONAMIENTO DE UNA INSTALACIÓN GEOTÉRMICA

En el diseño de los intercambiadores de calor enterrados entran en juego muchos factores que realizan distintas variantes de un diseño para un mismo sistema. Así pues se ha de hallar la configuración más adecuada a las características del proyecto a realizar, obteniendo de este modo, un rendimiento mayor al menor coste posible.

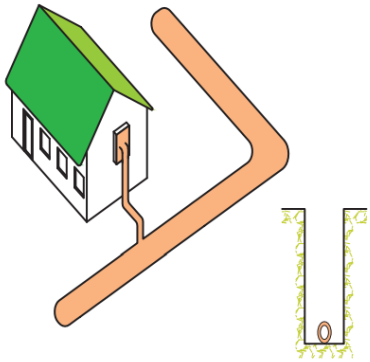
- **ANÁLISIS DEL EDIFICIO A CLIMATIZAR**

Cada estancia del edificio es analizada, teniendo en cuenta las pérdidas en función de los materiales constructivos y uso específico de cada estancia, obteniendo de este modo la carga y demanda térmica del edificio.

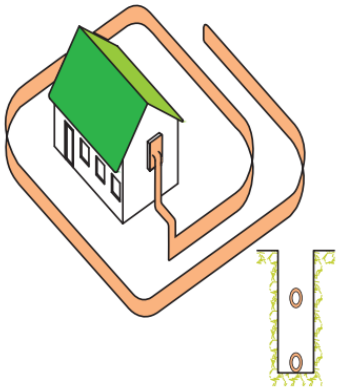
- **ELECCIÓN DE LA CONFIGURACIÓN A EMPLEAR**

Se pueden distinguir los siguientes criterios como configuraciones más usuales.

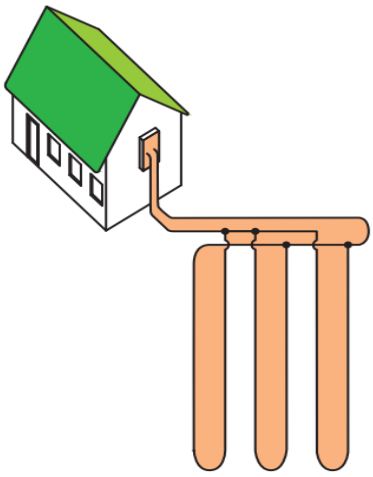
- Según el tipo de instalación
- Según la trayectoria del fluido



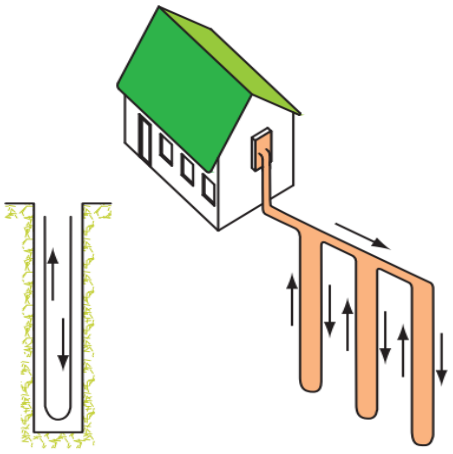
Tubería simple horizontal



Tubería doble horizontal



Sistema vertical en paralelo



Sistema vertical en serie

Fuente: IDAE

Existe una variante llamada 'Slinky'. Esta es una variante de la horizontal en la que la tubería se dispone formando espiras, generando una mayor longitud de intercambiador en menos espacio. En algunos casos esto significa una reducción considerable de la excavación a realizar.

La elección de un intercambiador geotérmico horizontal, vertical o 'slinky' dependerá de varios factores como la superficie de terreno disponible, potencia a disipar y costes de instalación. Como norma general los sistemas horizontales se emplean para instalaciones de baja potencia con grandes superficies disponibles. Los sistemas verticales, en cambio, son empleados cuando no existen grandes superficies de terreno para instalar un intercambiador geotérmico horizontal.

Por otro lado, la elección de la trayectoria del fluido (serie o paralelo), se basa en las ventajas y los inconvenientes de ambas opciones, tomando aquella que mejor se adecue al sistema.

Ventajas del sistema en serie:

- Trayectoria del fluido definida.

- Mayor facilidad de purga.

- Funcionamiento térmico más alto por metro lineal de tubo puesto que se requiere de un diámetro superior.

Desventajas del sistema en serie:

- Se necesita un diámetro mayor de tubo, lo que significa un aumento de la cantidad de fluido (aumento del coste).

- La longitud se ve limitada debido a la caída de presión del fluido.

Ventajas del sistema en paralelo:

- Coste de la instalación menos elevado, puesto que los diámetros son más reducidos, y por lo tanto, la cantidad de fluido empleado es menor.

Desventajas del sistema en paralelo:

- Operación de purga más complicada.

- Equilibrio del fluido en los distintos bucles complicado.

Para diseñar cada tipo de intercambiador de calor, hay que tener en cuenta los siguientes criterios:

- **Intercambiador horizontal**

  Profundidad de zanja.

  Número de zanjas.

  Espacio entre zanjas.

- **Intercambiador vertical**

  Profundidad de cada perforación.

  Número de perforaciones.

- **Intercambiador "Slinky"**

  Profundidad de zanja.

  Número de zanjas.

  Diámetro y paso de las espiras.

4.3 PROCEDIMIENTO DE DISEÑO DE UN INTERCAMBIADOR ENTERRADO

4.3.1 ELECCIÓN DE LA BOMBA DE CALOR

Las especificaciones de la bomba de calor fijan varios parámetros de diseño del intercambiador enterrado. La bomba de calor determina el calor intercambiado con el suelo y el caudal circulante por el intercambiador de calor. Determina también la eficiencia del sistema COP (Coefficient of performance).

El COP de una bomba de calor es la relación entre la capacidad térmica de esta (Q) y su potencia eléctrica consumida para suministrar esta capacidad (W).

Definición de COP para ambos modos:

- Cálculo del COP con la bomba de calor trabajando en modo calefacción:

$$\text{COP calefacción} = \frac{\text{Q calefacción}}{\text{W calefacción}}$$

$$\text{Q absorbido} = \text{Qcalefacción} - \text{Wcalefacción}$$

- Cálculo del COP con la bomba de calor trabajando en modo refrigeración:

$$\text{COP refrigeración} = \frac{\text{Q refrigeración}}{\text{W refrigeración}}$$

$$\text{Q inyectado} = \text{Qrefrigeración} - \text{Wrefrigeración}$$

La selección de la bomba de calor se realiza a partir de un cálculo de cargas térmicas de acuerdo a las exigencias de diseño y dimensionado específicas.

4.3.2 ELECCIÓN DEL FLUIDO CIRCULANTE

El fluido empleado en estos es agua con anticongelante, para prevenir el riesgo de congelación debido al elevado funcionamiento en calefacción o temperaturas muy frías del terreno.

La elección del fluido circulante radica en estos factores:

- Características de transferencia de calor, es decir, conductividad térmica y viscosidad
- Punto de congelación
- Requerimientos de presión y caídas de presión por rozamiento
- Corrosividad, toxicidad e inflamabilidad
- Coste del fluido

	Agua	Etilenglicol	Propilenglicol	Metanol
Densidad a 20 °C (g/cm³)	1	0,9259	0,8630	0,6585
Punto congelación °C (30% volumen)	0	-13	-12	-26
Punto ebullición °C	100	197	187	64
Calor Específico a 15 °C (kJ/Kg.K)	4,187	2,185	2,50371	2,47021
Viscosidad a 0 °C (Pa.s) $\cdot 10^{-3}$	1,79	57,4	243	0,87
Viscosidad a 20 °C (Pa.s) $\cdot 10^{-3}$	1,01	20,9	60,5	0,60
Viscosidad a 40 °C (Pa.s) $\cdot 10^{-3}$	0,655	9,5	18,0	0,45
Conductividad térmica a 20 °C (kW/m.K) $\cdot 10^{-3}$	0,60	0,26	0,20	0,21

Propiedades físicas de los fluidos más empelados. Fuente: IDAE

4.3.3 ELECCIÓN DE LOS TUBOS

- **Elección de los materiales**

Los materiales más comunes para los intercambiadores de calor enterrados son el polietileno (PE) y el polibutileno (PB). Ambos materiales son flexibles, resistentes y se pueden unir mediante fusión por calor para formar, por ejemplo, empalmes.

- **Elección del diámetro**

Para la elección del diámetro se deben tener en cuenta la caída de presión y el funcionamiento térmico.

El diámetro debe ser lo suficientemente grande para producir una pérdida de carga pequeña, y de este modo, necesitar una menor potencia de bombeo. Al mismo tiempo, el diámetro debe ser lo suficientemente pequeño para asegurar una alta velocidad, factor que hará que el fluido circule en régimen turbulento. Cuanto mayor sea la turbulencia, mayor será el intercambio térmico.

- **Estudio de temperaturas**

Ambos materiales antes mencionados, polietileno (PE) y polibutileno (PB) se comportan bien frente a la temperatura de trabajo.

Cuando la bomba de calor está en modo calefacción, es decir, produciendo en el condensador agua caliente para suministrar al edificio entre 45-55 °C, en el evaporador se produce agua fría a unos 5-15 °C.

En refrigeración, cuando la bomba de calor produce frío en el evaporador (entre 7-12 °C), por las tuberías del intercambiador enterrado circulará el agua de intercambio de calor por el condensador a unos 25-35 °C.

4.3.4 DIMENSIONAMIENTO DEL INTERCAMBIADOR DE CALOR ENTERRADO

El intercambio de calor vendrá fijado por la diferencia de temperaturas entre el suelo y el fluido que circule por el intercambiador. Para el dimensionamiento del intercambiador enterrado, en primer lugar, hay que determinar las temperaturas.

- **Determinar la temperatura máxima y mínima de la tierra.**

El cálculo de ambas temperaturas se realiza mediante las siguientes ecuaciones.

Cálculo de la temperatura máxima T_H:

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

Cálculo de la temperatura mínima T_L:

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

Donde:

X_s es la profundidad.

T_m es la temperatura media de la tierra que se puede asumir como la temperatura seca media anual del lugar.

A_s es la amplitud anual de la temperatura media diaria. Se puede determinar a partir de datos tabulares para localizaciones geográficas específicas.

α es la difusividad térmica del suelo (depende del tipo de suelo y contenido en agua del mismo).

- **Determinar las temperaturas máximas y mínimas de entrada del fluido a la bomba de calor.**

Uno de los parámetros clave a establecer es la temperatura del fluido que circula por el intercambiador de calor enterrado. Esta debe encontrarse de forma óptima en dos consideraciones.

- Cuanto más baja sea la temperatura en invierno, y más alta en verano, mayor será la diferencia con la temperatura del suelo, y de este modo, menor deberá ser el intercambiador enterrado para los mismos requisitos de intercambio de calor. De este modo, se ven reducidos los costes de inversión.

- Cuanto más alta sea la temperatura en invierno, y más baja en verano, mayor será el COP del sistema, generando un ahorro energético mayor.

Con estas dos premisas se fijarán las temperaturas máximas y mínimas de trabajo.

- **Calcular la diferencia de temperatura entre la tierra y el circuito.**

Para los ciclos de calefacción se debe calcular la diferencia de temperatura entre el mínimo de la temperatura de la tierra T_L y la temperatura mínima del agua de la bomba de calor T_{MIN}.

En el caso de la refrigeración, hay que calcular la diferencia en la temperatura del agua máxima de la bomba de calor que entre T_{MAX} y la temperatura máxima de la tierra T_H.

- **Calcular la resistencia de los tubos al flujo de calor.**

La resistencia térmica de las tuberías del intercambiador viene dada por la siguiente expresión:

$$R_p = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot k_P} \cdot ln\left(\frac{D_0}{D_I}\right)$$

Donde:

D_0 = Diámetro exterior del tubo en metros.

D_I = Diámetro interior del tubo en metros.

k_P = Conductividad térmica material del tubo, en W/m·K (ANEXO 2)

- **Cálculo de la resistencia de la tierra.**

La resistencia de la tierra (Rs) es la inversa de la conductividad térmica del terreno. Es una de las partes más delicadas de todo el proceso de diseño.

La resistencia térmica del intercambiador depende del tipo de tubería, tipo de suelo, tipo de configuración del intercambiador y tiempo de funcionamiento de equipos y máquinas.

- **Cálculo del factor de utilización.**

En este apartado, hay que tener en cuenta la potencia pico y la demanda energética a proporcionar. Se puede distinguir entre estos conceptos:

- Cargas de diseño: Están basadas en estándares o condiciones aceptadas para una localización dada en el día más desfavorable de funcionamiento.

- Demanda de energía: Determina la energía necesaria que debe proporcionar el sistema al edificio durante un periodo de tiempo determinado.

- Demanda del terreno: Representa el calor captado por la tierra cuando la bomba de calor trabaja en modo calefacción o disipado por la tierra en modo refrigeración.

4.3.5 SELECCIÓN DE LA BOMBA DE CIRCULACIÓN

Para la selección de la bomba de circulación del intercambiador de calor enterrado se tiene en cuenta el caudal fijado por la bomba de calor seleccionada y la caída de presión del ramal del intercambiador más desfavorable.

CAPÍTULO 5:

EJECUCIÓN DE LA INSTALACIÓN

5.1 EJECUCIÓN DE LA INSTALACIÓN: SONDAS HORIZONTALES

5.1.1 EJECUCIÓN DE LA ZANJA

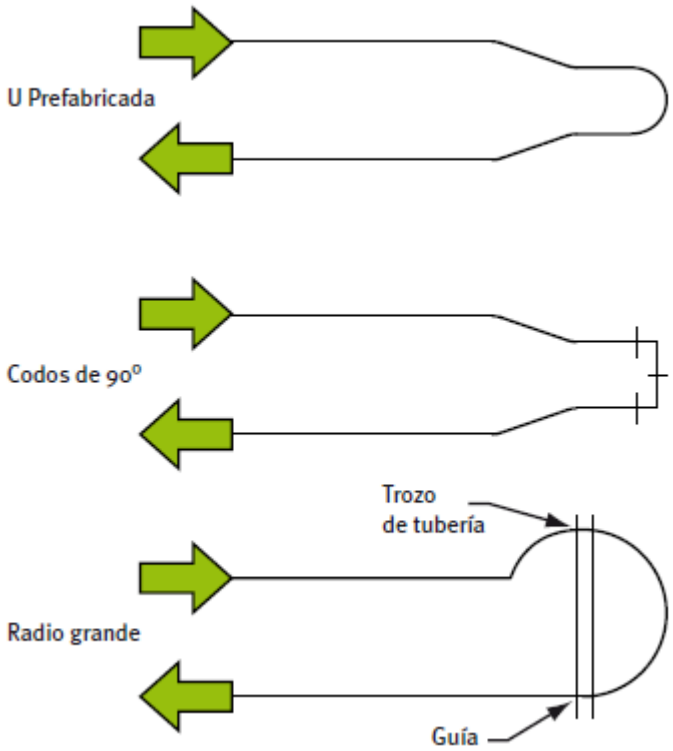
La zanja de un intercambiador horizontal depende de la configuración de tubería seleccionada. La configuración, a su vez, depende de la demanda energética a disipar y del terreno disponible.

Si existe terreno suficiente, es conveniente realizar un total movimiento de tierras en vez de realizar zanjas. De este modo, se hace posible la instalación de elementos de sujeción que aseguren el correcto tendido de las tuberías.

5.1.2 TENDIDO DE TUBERÍAS HORIZONTALES

Para un correcto funcionamiento del intercambiador horizontal enterrado, se debe tener en cuenta los finales de bucle del propio. Por razones de espacio no siempre es posible dar una adecuada curvatura a la tubería (25 veces el diámetro en el caso del polietileno y 50 veces el diámetro en el caso del polibutileno).

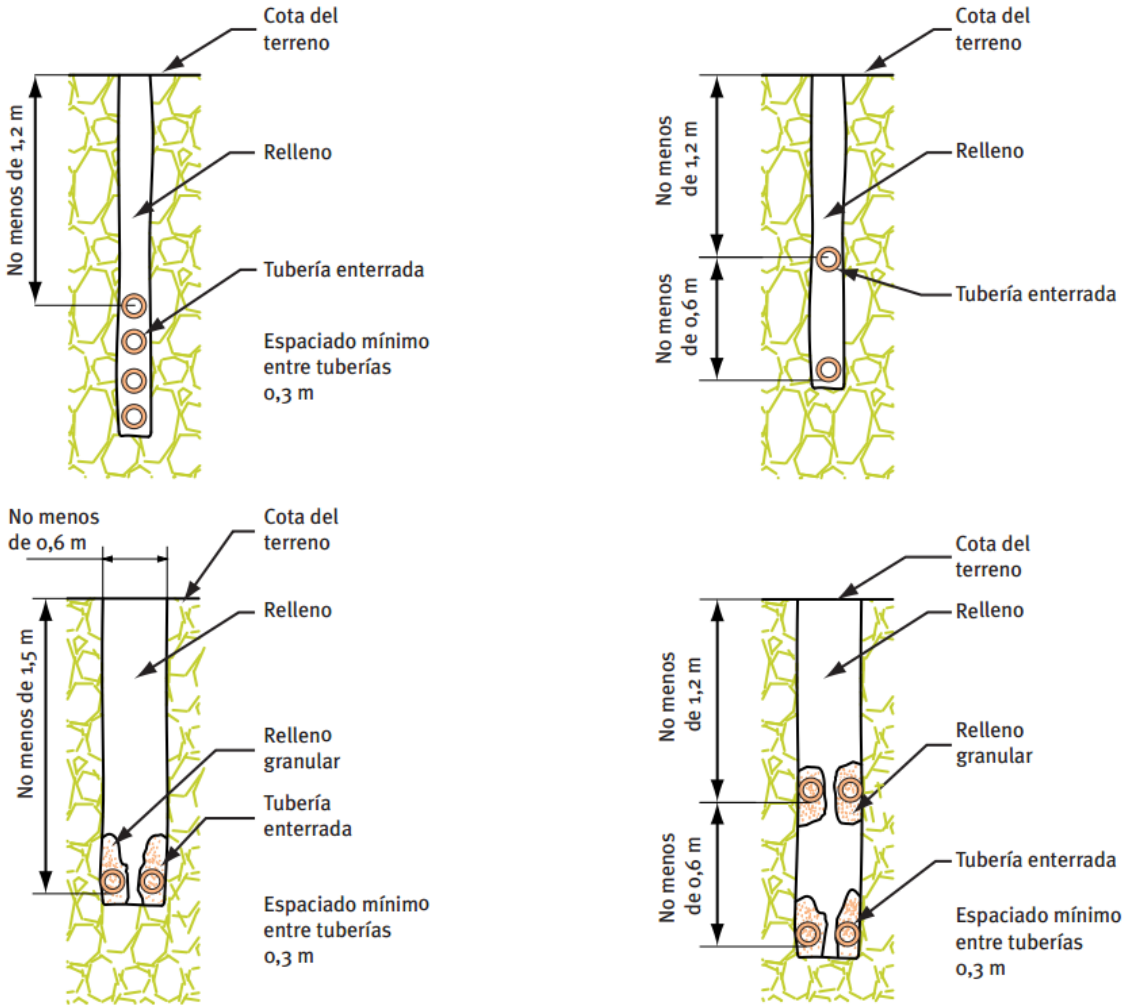
La ejecución de los bucles se resuelve mediante codos de 90°.



Opciones de retorno en bucles horizontales. Fuente: IDAE

5.1.3 RELLENO DE LA ZANJA

Los alrededores de las tuberías se rellenarán con arena fina para facilitar la conducción de calor. El resto se rellenará con el mismo material de extracción pero con unas determinadas características (sin elementos punzantes, diámetros inferiores a 5cm, etc.).



Ejemplos de configuraciones horizontales. Fuente: IDAE

Nunca se hormigonará o pavimentará la superficie del intercambiador horizontal con tal de garantizar un buen intercambio de calor.

5.1.4 PRUEBAS DE PRESIÓN EN TUBERÍAS HORIZONTALES

Este tipo de pruebas se aplica a todos los elementos horizontales:

- Conjunto formado por las sondas geotérmicas verticales y los ramales horizontales de conexión a la sala de máquinas.

- Tuberías que conforman un intercambiador horizontal.

- Tuberías que conforman un intercambiador slinky.

5.1.4.1 PURGADO DE LA INSTALACIÓN

El correcto purgado de la instalación se realiza mediante la circulación de agua a presión a una velocidad no inferior a 0,6 m/s. El caudal a inyectar depende de la configuración y diámetro de los colectores horizontales.

5.1.3.2 PRUEBAS DE ESTANQUEIDAD Y RESISTENCIA CONJUNTAS

En la realización de esta prueba se mantendrá la instalación a una presión mínima de 3 veces la presión de trabajo durante un tiempo de dos horas. Durante este tiempo se comprueba que la presión no haya disminuido más de 0,2 bares.

Para una correcta realización del proyecto, al inicio de la prueba se espera a que el manómetro estabilice su presión, esto es debido a que en los primeros momentos de la prueba, sobre todo en longitudes extensas o en intercambiadores slinky, la presión puede verse reducida considerablemente. Si este hecho ocurre, se procede a la presurización del circuito hasta la mínima de prueba.

En instalaciones donde la extensión de tuberías es muy grande, se procede a ejecutar las pruebas de presión por tramos con tal de detectar con más facilidad los posibles fallos.

A medida que se van finalizando tramos, se realizan las pruebas, y si éstas son validadas, se procede a cubrir la zanja, dejando al descubierto las uniones para una prueba final conjunta.

En casos en los que se realiza este tipo de pruebas por tramos, se debe realizar una prueba final de todo el circuito que consiste en:

- Recircular agua por la instalación a una velocidad de aproximadamente 6 m/s durante 15 minutos.

- Mantener la instalación a 6 bares durante 30 minutos.

5.2 EJECUCIÓN DE LA INSTALACIÓN: INTERCAMBIADOR SLINKY

5.2.1 ELECCIÓN DE LA CONFIGURACIÓN DE TUBO 'SLINKY' SEGÚN LA DISPOSICIÓN DE LAS ESPIRAS

- **'SLINKY' DE ESPIRAS SEPARADAS**

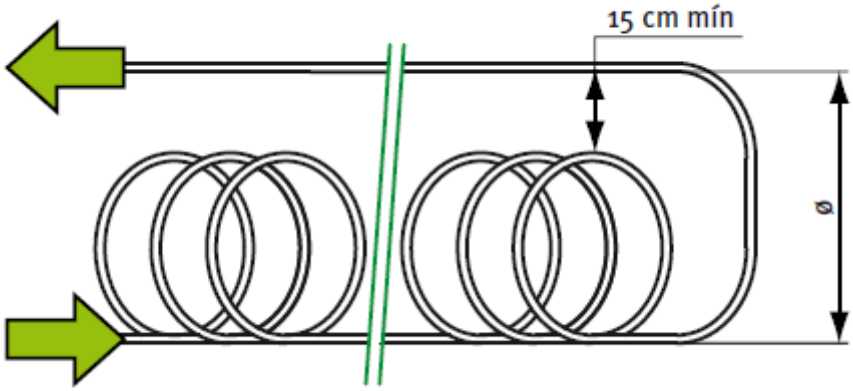
En esta modalidad son realizadas espirales de entre 30 y 32 pulgadas de diámetro con el mismo espaciamiento (lazos de la tubería colocados unos contra los otros sin sobreponerse).

Este tipo de configuración se emplea en longitudes cortas de intercambiadores.

- **'SLINKY' ESPIRAS SUPERPUESTAS**

En esta disposición la tubería conserva la misma configuración circular que tenía previamente antes de su instalación. Dicha configuración se obtiene de carrete donde la tubería 'slinky' esta enrollada al salir de fábrica.

Para lograr esta disposición hay que desenrollar la tubería del carrete sin que ésta llegue a hacerlo por completo. Debido a que la tubería tiende a adoptar la forma que poseía previamente, es conveniente emplear fijaciones. Las tuberías son unidas con bridas de plástico a las fijaciones.

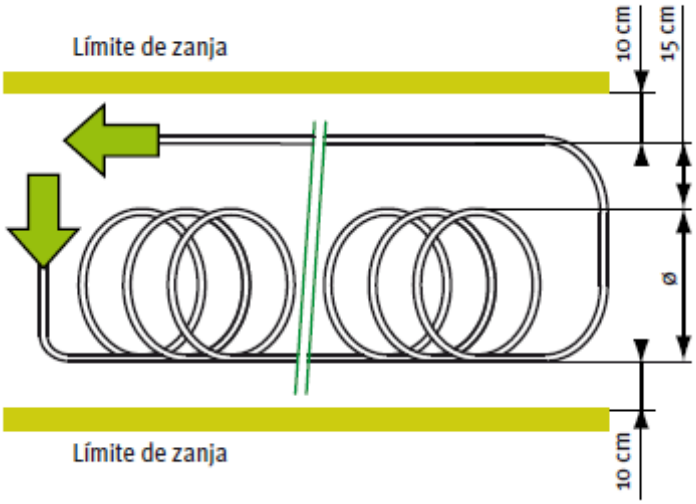


Intercambiador 'Slinky' de espiras superpuestas. Fuente: IDAE

5.2.2 EJECUCIÓN DE LA ZANJA

- **INTERCAMBIADOR SLINKY HORIZONTAL**

En éste tipo de disposición de intercambiadores 'slinky', el ancho de zanja a realizar es, como mínimo, el diámetro de la espira más 35cm. La profundidad depende de las condiciones de diseño establecidas.



Disposición intercambiador Slinky horizontal. Fuente: IDAE

- **INTERCAMBIADOR 'SLINKY' VERTICAL**

Este tipo de disposición es empleado cuando existen restricciones de espacio. Se ejecuta una zanja de unos 15 cm de ancho y profunda, de más de 2m.

5.3 EJECUCIÓN DE LA INSTALACIÓN: INTERCAMBIADOR VERTICAL

5.3.1 INTRODUCCIÓN

Esta disposición de intercambiadores es la que requiere más trabajo previo a su ejecución. La instalación de las sondas verticales es muy costosa y, debido a este motivo, se deben tener algunos factores en cuenta antes de ejecutar la instalación.

FASE 1: DISEÑO DEL SISTEMA

1.1 ESTUDIO DE LA VIABILIDAD. ANTEPROYECTO

El primer paso a tener en cuenta en la fase de diseño es la viabilidad de la instalación. Para poder determinarla, es de suma importancia disponer de datos energéticos (perfil de cargas y demanda térmica del edificio) y las características geológicas de la ubicación. El parámetro más importante es la conductividad térmica teórica del terreno $\lambda_{teórica}$, que al desconocerla, se aplica un valor teórico.

Otros aspectos a tener en cuenta son el diseño del sistema geotérmico y la amortización de la instalación, así como los trámites legales necesarios y subvenciones disponibles.

1.2 EJECUCIÓN DEL SONDEO PILOTO Y TRT

Una vez estudiada la viabilidad de la instalación se realiza un sondeo geotérmico piloto con tal de poder ejecutar un TRT (Test de respuesta térmica).

Este estudio previo es imprescindible ya que se obtendrá un primer dimensionamiento que nos informe si el proyecto, es realmente, viable técnica y económicamente antes de realizar inversiones importantes.

La prueba de TRT y su respectiva sonda , suelen ser realizadas después del anteproyecto. Cabe la posibilidad de realizar el sondeo piloto antes del anteproyecto con tal de contar con datos más fiables de cara a la realización de éste. No obstante, esto supone una serie de riesgos, ya que, si el sondeo demuestra que el terreno no está preparado para las exigencias requeridas, se habrá realizado una inversión innecesaria.

El test de respuesta térmica es un método que permite conocer el valor de conductividad térmica efectiva del terreno λ_{ef}, así como su resistividad térmica.

PRINCIPALES COMPONENTES EN EL TEST DE RESPUESTA TÉRMICA

- Perforación geotérmica (ejecución de la sonda)

- Resistencia eléctrica

- Sistema de toma de datos

- Fuente de energía eléctrica

- Bomba de circulación

La ejecución de la perforación e instalación de la sonda geotérmica debe ser de las mismas características que los futuros sondeos a construir (profundidad, materiales, diámetros, rellenos) con tal de obtener los resultados más fiables.

Una vez la perforación ha sido finalizada, y la sonda instalada, ésta se conecta a una unidad móvil de TRT para formar un circuito hidráulico cerrado.

Mediante la resistencia eléctrica se calienta el fluido que circulará, impulsado por la bomba, a lo largo de la sonda. Con ello se consigue disipar energía al terreno. Esta energía debe ser aproximada a la que se querrá disipar en el futuro sistema.

La potencia a disipar en el ensayo viene dada por la siguiente expresión:

$$P = q \cdot H$$

Donde:

P es la potencia suministrada por las resistencias

q es la potencia por metro de perforación que se disipará

H es la longitud de perforación

PARÁMETROS A DETERMINAR EN EL ESTUDIO

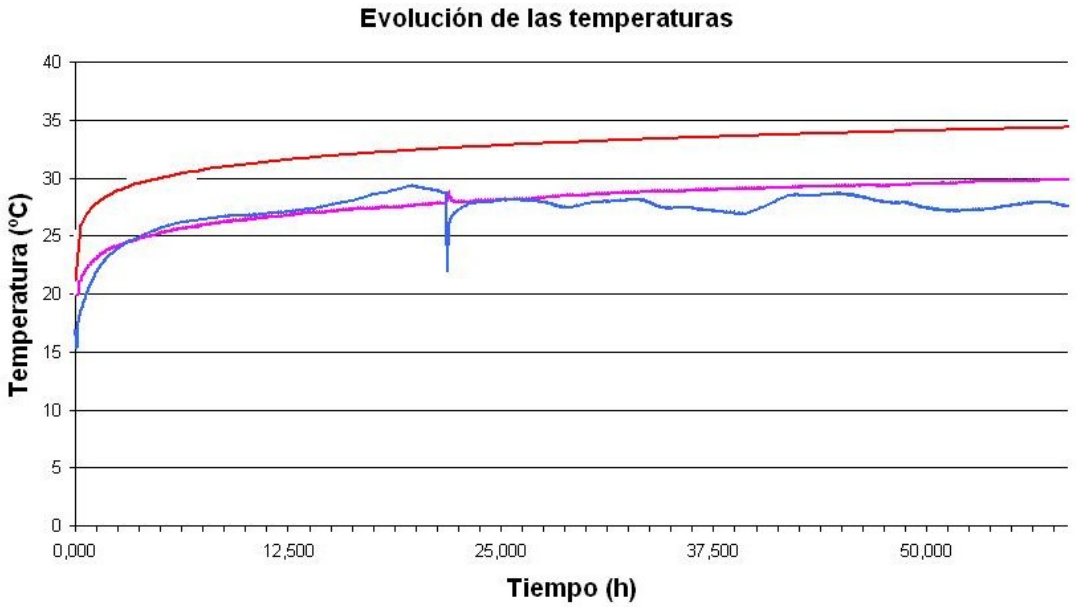
- Determinación de la conductividad térmica efectiva λ_{ef} del terreno (cantidad de energía que pasa por unidad de tiempo y por una superficie de $1m^2$ a una distancia de un metro para crear un aumento de 1K).

- Dimensionamiento de todo el sistema de captación.

- Cálculo de las pérdidas de carga del campo de captación.

Queda patente la importancia de obtener un resultado exacto de la conductividad térmica del terreno. Según el valor obtenido, la longitud total de captación y la posición de las sondas pueden verse afectadas.

Una vez realizado el test de respuesta térmica se obtienen los siguientes resultados:



Ejemplo de los resultados obtenidos en un ensayo de TRT. Fuente: girodgeotermia.com

Los parámetros que quedan almacenados son la temperatura de entrada y salida de la sonda, potencia suministrada y tiempo. Otros parámetros importantes que deben ser anotados son el caudal y la temperatura exterior e interior del aparato.

INFORMACIÓN OBTENIDA DESPUÉS DEL SONDEO PILOTO Y SU RESPECTIVA TRT

- Materiales atravesados

- Gradiente de temperaturas del terreno

- Coeficiente de conductividad térmica real λ_{real} del subsuelo

- Materiales y equipos necesarios para los próximos sondeos

Una vez obtenido el valor de λ_{real} se pueden dar dos situaciones:

1. Valor λ_{real} mayor que $\lambda_{teórico}$.

En este caso, se ha estimado más perforación de la necesaria, ya que la conductividad del terreno es mayor a la estimada en el anteproyecto.

Las necesidades de perforación serán menores, y por tanto, el coste de ejecución de los sondeos se verá reducido de forma considerable puesto que el coste de perforación es un porcentaje importante del total de la inversión a realizar.

2. Valor λ_{real} menor que $\lambda_{teórico}$.

Si esto ocurre, se ha estimado menos perforación de la necesaria, ya que la conductividad del terreno ha sido hallada menor a la fijada en el anteproyecto.

En este caso, las necesidades de perforación, ya sea por profundidad o por cantidad, serán mayores y por tanto, la inversión aumentará considerablemente. En este punto se ha de plantear y estudiar de nuevo la viabilidad del sistema.

Después de la realización del sondeo piloto y del TRT, y con toda la información obtenida en el proceso, el anteproyecto y algunas premisas pueden verse modificadas según las necesidades exigidas. Se deberá, por tanto, reajustar el anteproyecto para obtener un proyecto sólido definitivo.

1.3 SIMULACIÓN Y DISEÑO DEFINITIVO DEL SISTEMA. PROYECTO

En este punto, y si el proyecto es viable, se recoge toda la información necesaria y se concretan diversos aspectos que hasta ahora estaban fijados de forma teórica. Entre estos se encuentran:

- Maquinaria y materiales a emplear
- Emplazamiento de las perforaciones
- Número definitivo de sondeos
- Profundidad definitiva de los sondeos
- Distancia entre sondeos
- Diseño del relleno
- Plazos de obra

FASE 2: EJECUCIÓN DEL INTERCAMBIADOR GEOTÉRMICO

Una vez establecido el campo definitivo de sondeos se procede a la ejecución del intercambiador geotérmico. En esta fase se debe seguir una rigurosa planificación que comprende el antes y durante de la ejecución.

2.1 PLANIFICACIÓN PREVIA A LA EJECUCIÓN DEL SISTEMA

Antes de llevar a cabo el proceso se han de tener en cuenta dos factores:

1. Factores de ejecución.
    - 1.1 Espacios de trabajo
    - 1.2 Espacios para la maniobra
    - 1.3 Espacios para el desplazamiento de máquinas y materiales.
2. Factores de obra.
    - 2.1 Prioridades de ejecución.
    - 2.2 Zonas aún no preparadas.
    - 2.3 Zonas de ejecución simultánea con otras unidades.
    - 2.4 Sondeos es pista.

Con el campo de sondeos establecido y con los dos factores estudiados, se asignan zonas de trabajo y equipos.

2.2 PLANIFICACIÓN DURANTE LA EJECUCIÓN DEL SISTEMA

1. Organización de suministros
    - 1.1 Suministro de sondas y materiales de relleno
    - 1.2 Suministro de agua
    - 1.3 Suministro de electricidad
2. Gestión de lodos
    - 2.1 Espacio en obra para su tratamiento
    - 2.2 Espacio en obra para su almacenamiento (vertedero)
3. Gestión de residuos
4. Seguridad y salud

2.3. PASOS EN LA EJECUCIÓN DEL SISTEMA

La perforación se puede realizar mediante dos principales sistemas. Cada uno cuenta con unas características propias, y según el proyecto se empleará un sistema u otro. Los dos principales sistemas de perforación geotérmica son los siguientes:

2.3.1 SISTEMAS DE PERFORACIÓN GEOTÉRMICA

- Rotopercusión neumática con martillo en fondo.
- Rotación con circulación directa y lodos.

La perforación se realiza mediante la tecnología más adecuada para cada tipo de terreno. La elección se basa en el test de respuesta térmica (ambos sistemas están detalladamente explicados en el ANEXO 3).

Es importante introducir una tubería metálica en los primeros metros de la perforación para estabilizar la primera capa vegetal del subsuelo y permitir un trabajo más cómodo de perforación. Es también importante que la tubería metálica sea de la menor longitud posible con tal de facilitar su posterior extracción.

Una vez realizada la perforación a la profundidad deseada, el varillaje empleado es extraído.

FASE 3: INTRODUCCIÓN DE LA SONDA

Inmediatamente después de la extracción del varillaje, se introducen las sondas geotérmicas mediante gravedad. Las sondas geotérmicas ya poseen el fluido refrigerante en su interior.

Los dos tipos de sondas más empleadas son las simples (con una única tubería de subida y bajada) y las dobles (con dos tuberías de subida y bajada).

Rollos de sondas verticales descargados en obra.

Etiquetaje y protección de la punta de la sonda.

Los extremos salientes de la tubería son protegidos con los tapones que vienen de fábrica para evitar cualquier contaminación del líquido refrigerante y poder realizar las pruebas de presión.

La introducción de la sonda por la perforación realizada se ha de llevar a cabo cuidadosamente, evitando cualquier tipo de pliegue o rasguño sobre la misma. Ésta puede ser introducida manualmente, o bien con la ayuda de algún dispositivo mecánico. La sondas poseen de un dispositivo soldado térmicamente en su extremo que realiza la función de retorno del fluido refrigerante (cambio de dirección) y protección durante el descenso de la sonda.

Mecanismos para realizar la bajada de sonda al interior del pozo de forma manual.

Junto a la introducción de la sonda, se introduce otra tubería de forma paralela para poder rellenar el pozo. Esta tubería tiene un diámetro de entre 20 y 25 mm. Su empleo es recomendable en pozos de más de 50 metros.

Cuando la sonda llega a al fondo de la perforación, el polietileno (sonda) sobrante se corta dejando un metro por encima de la superficie del suelo. Hace falta tapar el extremo de la sonda con tal de evitar la entrada de partículas sólidas.

Una vez introducida la sonda se realiza una prueba de presión. Esta prueba consiste en mantener durante mínimo una hora la sonda a una presión 1.5 veces la presión de trabajo con un mínimo de 6 bar.

FASE 4: SELLADO DEL POZO. INTRODUCCIÓN DEL RELLENO

El espacio existente entre las paredes de la perforación ha de ser rellenado. El relleno asegura un correcto asentamiento de la sonda i mejoran considerablemente la transferencia térmica, evitando la aparición de bolsas de aire. Con este mismo material se sellan los estratos impermeables que puedan haber sido perforados, evitando posibles contaminaciones de aguas subterráneas.

Con tal de realizar el sellado se pueden aplicar diversos materiales:

- Conglomerado hidráulico y piedra pulverizada.

- Masilla preparada base de conglomerados resistentes a sulfatos y arcillas.

- Materiales preparados en mortero a base de conglomerados hidráulicos con una elevada transitividad térmica.

Sacos de relleno a base de conglomerado hidráulico

La elección del tipo de material de relleno depende del tipo de subsuelo, de la presencia o no de capas a nivel freático, del diámetro de perforación y del número de sondas introducidas.

La ejecución del relleno se realiza mezclando el material en máquinas específicas para tal fin. Previamente se ha estimado la cantidad de relleno a introducir.

El procedimiento a seguir es el siguiente:

1. Llenar unidades de mezcla (máquinas especializadas) con la cantidad de agua indicada por el fabricante.

2. Introducir los sacos progresivamente directamente en la mezcladora.

3. Observar que la mezcla se ha realizado correctamente, es decir, que no existan zonas secas o con grumos.

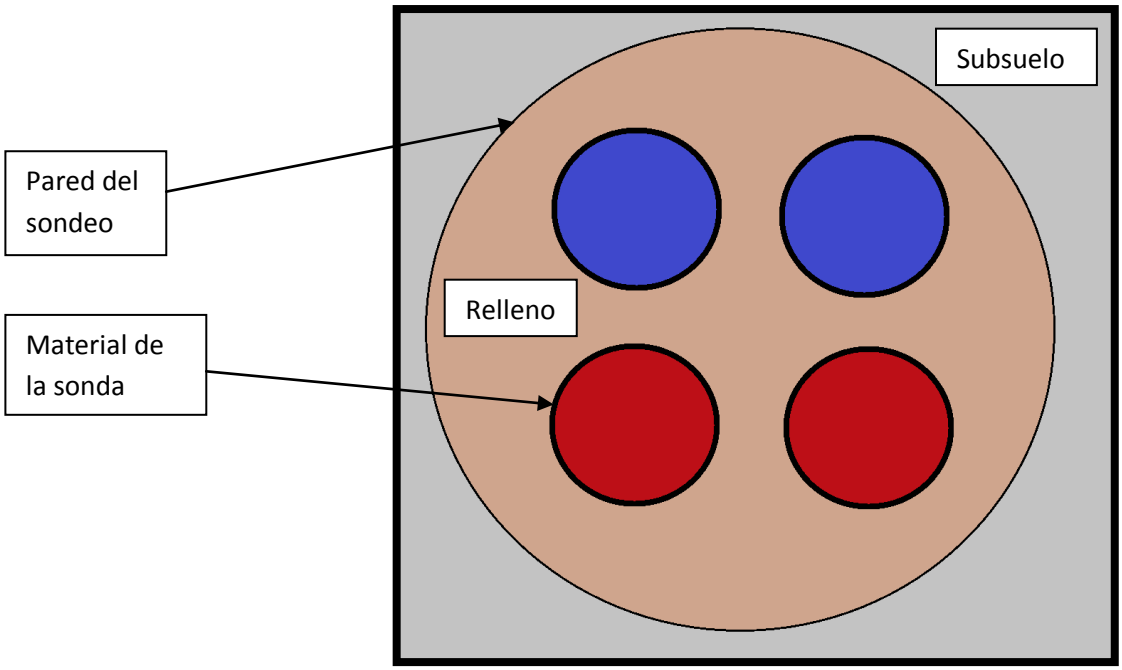
4. Bombear la mezcla al interior del pozo. Ésta estará entre un mínimo de 15 minutos y un máximo de una hora en estado líquido según las condiciones externas.

5. Una vez el pozo está lleno se retira la camisa de protección de los primeros metros de perforación.

Una vez finalizado el llenado, es necesario sellar el pozo definitivamente por la parte superior con tal de evitar cualquier posible contaminación por la parte superior del pozo.

Cabe tener en cuenta el nivel del relleno, si éste ha disminuido, se aplicará de nuevo hasta quedar en el nivel deseado (1 metro por debajo del suelo).

Una vez realizado el sellado, la sección del pozo es la siguiente:



Sección del pozo perforado una vez finalizado

FASE 5: MONTAJE DE COLECTORES

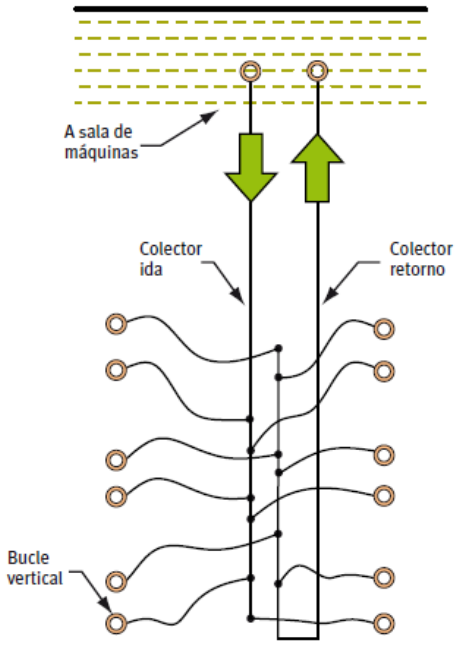
5.1 INTRODUCCIÓN

La red horizontal es la parte de la instalación geotérmica que comunica los pozos individuales con el colector general que los agrupa.

Según la disposición de los tubos, la ubicación de los colectores y la cantidad de perforaciones la red será más o menos compleja.

5.2 CONFIGURACIONES PRINCIPALES

5.2.1 CONFIGURACIÓN LINEAL

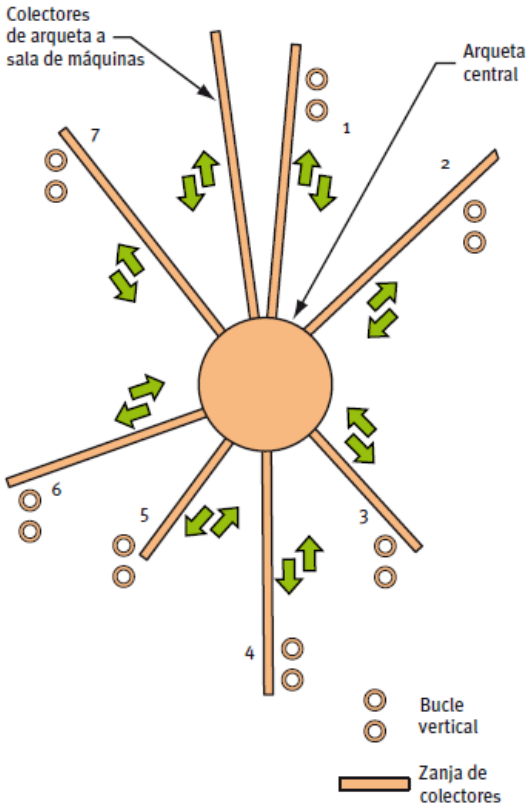


Configuración lineal de colectores. Fuente: IDAE

En esta disposición, los colectores de ida y de retorno se colocan a lo largo de una única línea recta entre las perforaciones y la sala de máquinas.

La configuración lineal se aplica mayoritariamente cuando existe un gran número de pozos, debido a la facilidad de ejecución en línea de las perforaciones.

5.2.2 CONFIGURACIÓN RADIAL



Configuración radial de colectores. Fuente: IDAE

La configuración radial se establece en sistemas con un número intermedio de perforaciones donde todas ellas fueran instaladas en una arqueta común. Toda la valvulería correspondiente se instala en la arqueta central, donde partirán radialmente los colectores de ida y retorno a la sala de máquinas.

5.2.3 TUBERÍAS A SALA DE MÁQUINAS

En obras donde el número de perforaciones es inferior a 6 y la ubicación de éstas es muy próxima a la sala de máquinas, se pueden instalar los colectores principales visibles colgados de la pared. Los colectores se introducen directamente a la sala de máquinas a través de pasatubos.

CAPÍTULO 6:

PUESTA EN MARCHA DE LOS EQUIPOS

6.1 INTRODUCCIÓN

Antes de poner en funcionamiento el sistema geotérmico se deben realizar una serie de procesos y comprobaciones para asegurar un buen funcionamiento de la instalación. Los procesos a seguir son los siguientes:

- Limpieza del circuito de tuberías.

- Purga del aire de la instalación.

- Verificación de las condiciones de diseño (presión y caudal).

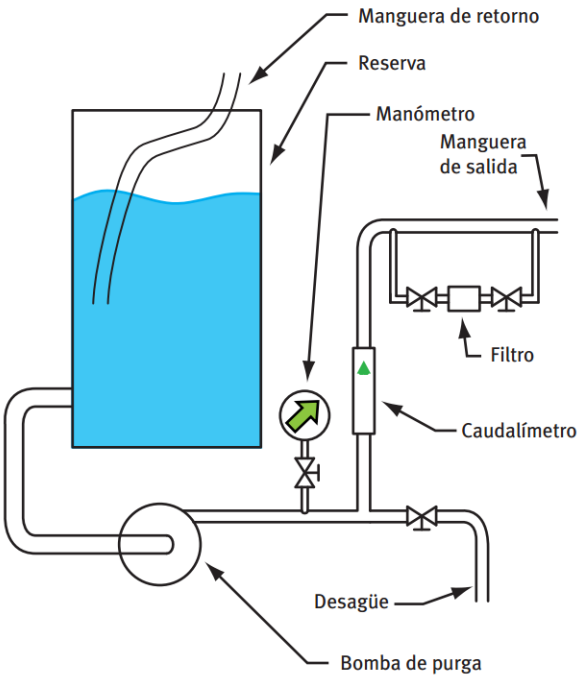
- Puesta en marcha de la bomba de calor y comprobación de parámetros.

6.2 LIMPIEZA Y PURGA DEL SISTEMA

Antes de realizar la prueba de estanquidad y de efectuar el llenado definitivo, las redes de tuberías de agua deben ser limpiadas en su interior para eliminar cualquier tipo de residuo que se haya podido introducir durante el montaje (purgado de la instalación).

Con tal de realizar el purgado de la instalación, se introduce agua en el sistema de tuberías a una velocidad de 0.6 m/s, eliminando por completo cualquier burbuja de aire atrapada.

Puede que la bomba de la instalación, por las prestaciones específicas de la instalación geotérmica, no esté diseñada para alcanzar estas especificaciones. Si esto sucede se conectará un grupo hidráulico externo (unidad de purga). El grupo hidráulico se empleará posteriormente para la introducción del fluido anticongelante.



Unidad de purga. Fuente: IDAE

La unidad de purga es empleada para la eliminación de restos, de aire e incluso, si fuera necesario, del propio anticongelante.

El sistema de purgado se conecta al bucle empleando mangueras flexibles y abrazaderas. La conexión es la propia de un bucle cerrado, de manera que el intercambiador de calor enterrado se limpie independientemente de la bomba de calor empleada en la instalación.

El proceso seguido para efectuar el purgado de la instalación mediante la unidad de purga externa es especificado en el ANEXO 4.

6.3 PRUEBAS DE ESTANQUIDAD Y RESISTENCIA DE LA INSTALACIÓN.

Antes de proceder a la prueba de resistencia mecánica se realiza una prueba previa de estanquidad para detectar posibles fallos de continuidad de la red. Para ello se emplea generalmente agua a la misma presión llenado. La duración de la prueba es la necesaria para verificar la estanquidad de todas las uniones.

Seguidamente, se realiza la prueba a presión de prueba que es equivalente a 1.5 veces la presión máxima efectiva de trabajo a la temperatura de servicio, con un mínimo de 6 bar de presión. Del mismo modo que la prueba preliminar, la duración de la misma deberá ser aquella que permita verificar visualmente la resistencia estructural de los equipos y tuberías que están sometidos a la misma.

La reparación de las fugas, si éstas han sido detectadas, se realiza desmontando la junta, accesorio o sección donde se haya originado la fuga y se substituye la parte defectuosa por material nuevo. El proceso se repite tantas veces como sea necesario, hasta que la red sea estanca.

6.4 PUESTA EN MARCHA DE LA BOMBA DE CALOR

Una vez la instalación haya sido limpiada, se haya agregado el anticongelante y el sistema haya sido presurizado se realiza la puesta en marcha de la bomba de calor.

La instalación ha de ser probada en todos sus modos de funcionamiento durante el tiempo suficiente, comprobando temperaturas de ida y retorno del intercambiador enterrado, presiones, caudal en el circuito y potencia eléctrica absorbida.

6.5 MANTENIMIENTO

Las instalaciones de bomba de calor geotérmica (agua-agua) precisan de un mantenimiento menor a las convencionales (aire-agua) ya que la parte enterrada no necesita ningún tipo de mantenimiento.

Las prescripciones de mantenimiento del RITE (Reglamento de Instalaciones Térmicas a los Edificios) (RD 1027/ 2007) es de aplicación a todos los edificios de nueva construcción, rehabilitaciones y reformas de las instalaciones existentes. De igual modo, las prescripciones son obligatorias también para las instalaciones existentes.

CAPÍTULO 7:

SISTEMAS DE DISTRIBUCIÓN

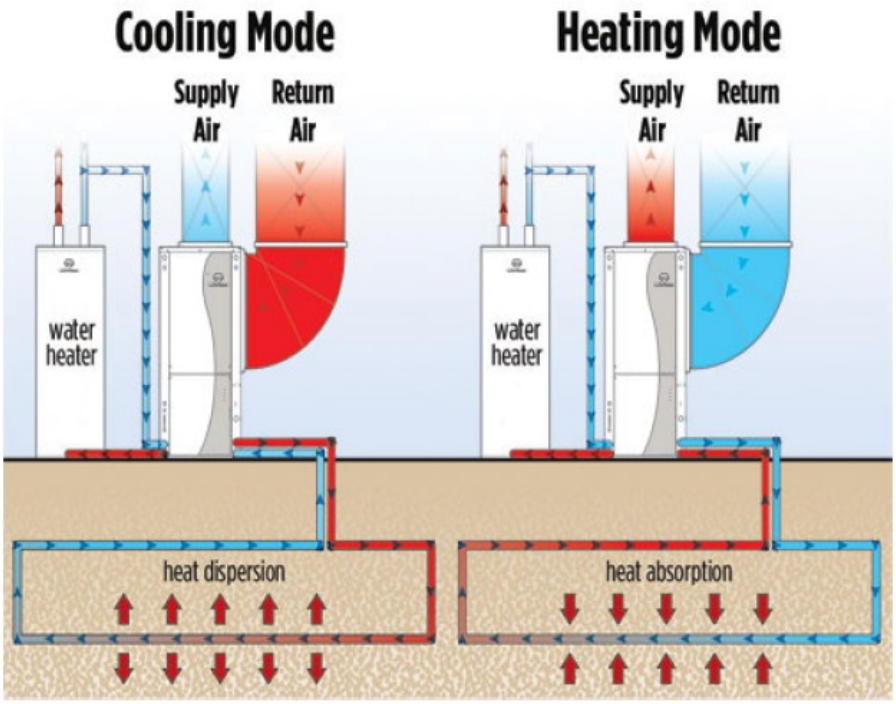
7.1 INTRODUCCIÓN

Con tal de climatizar el edificio o vivienda se emplean dos tipos diferentes de distribución.

7.2 DISTRIBUIDORES

- **MEDIANTE AIRE CANALIZADO**

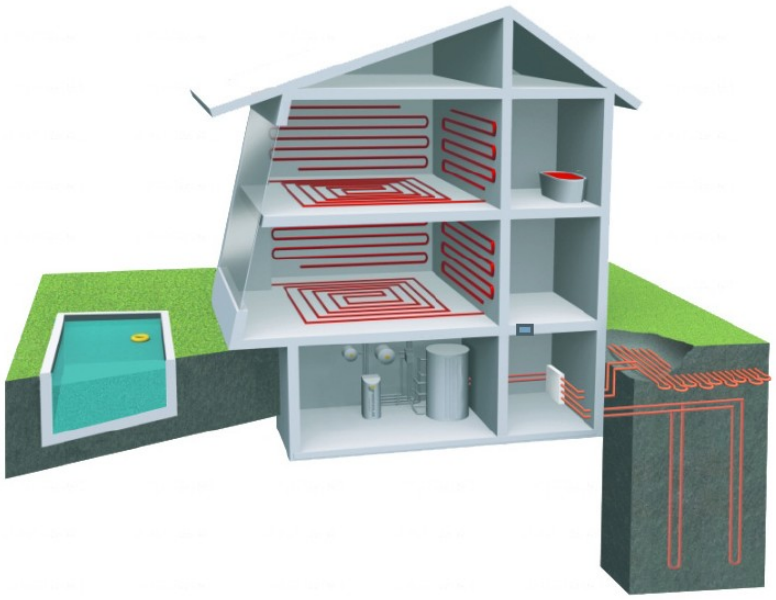
El aire es transportado mediante conductos. Las bombas geotérmicas en estos casos serán agua-aire.



Esquema de funcionamiento del sistema de distribución mediante aire canalizado

- **MEDIANTE FAN-COILS Y SUELO/TECHO RADIANTE**

En este caso la bomba a emplear es de tipo agua-agua.



Esquema de una vivienda con suelo radiante

Este tipo de distribución es el más adecuado para combinar con la geotermia. Éste es empleado para la calefacción del hogar.

La instalación de la estructura por suelo radiante se inicia cuando se han terminado los enlucidos internos. La obra de la vivienda o edificio debe estar libre de cualquier tipo de residuo y la superficie debe de estar plana.

Estructura de suelo radiante.
Fuente: RDZ

PASOS A SEGUIR EN LA INSTALACIÓN DEL SUELO RADIANTE

1 Cubrir la superficie de la estancia con una hoja antihumedad de polietileno.

2 Sobre toda la superficie se colocan los paneles aislante. Estos paneles disponen de encajes con tal del correcto acoplamiento y alineación del conducto.

3 Extender el tubo sobre la superficie empleado los paneles.

4 Colocación de mallas en forma de red encima de los paneles para prevenir posibles movimientos de los tubos y dar consistencia al hormigón.

5 Extraer el aire del interior de los tubos mediante el llenado del tubo.

6 Ejecutar la prueba en frío a una presión de 6 bar de la instalación.

7 Aplicación del hormigón. Éste deberá tener una buena conductividad térmica.

CONCLUSIÓN

En el mundo actual, donde la contaminación es presente, cada vez es mayor el interés a emplear energías renovables.

Tal y como se ha demostrado en el presente trabajo, la energía geotérmica es una opción factible y recomendada de energía renovable para climatización de viviendas.

Es un sector con un futuro de crecimiento debido a las ventajas que presentan los sistemas geotérmicos cerrados frente a otras energías renovables.

CAPÍTULO 8:

BIBLIOGRAFÍA

8.1 BIBLIOGRAFIA DE CONSULTA

[1] ENERGIA GEOTERMICA. JAUME POUS, LLUIS JUTGLAR I BANYERAS, CEAC, 2004

[2] ENERGIA GEOTERMICA DE BAJA TEMPERATURA. ANTONIO CREUS SOLE. CEYSA. CANO PINA, S.L. EDICIONES, 2008

8.2 WEBGRAFÍA

8.2.1 Principales páginas web de referencia

[1] http://www.termoterra.es/catalogo.pdf

(Empresa dedicada al sector de la geotermia)

[2] http://www.ecoeicsa.com/

(Empresa especializada en energías renovables)

[3] http://www.ansoltec.com

(Empresa dedicada al diseño e instalación de energías renovables)

[4] http://www.ingeo.es

(Empresa dedicada al diseño de captadores geotérmicos)

[5] http://www.girodgeotermia.com

(Empresa distribuidora de bombas de calor geotérmicas, colectores u accesorios para instalaciones geotérmicas).

[6] http://www.energylab.es

(Fundación de carácter privado y sin ánimo de lucro que desarrolla y difunde tecnologías, productor y hábitos de consumo).

[7] http://www.obrasurbanas.es/files/data/184-26-29.pdf

(Artículo referente a la perforación geotérmica)

[8] http://www.galaicontrol.com

(Empresa dedicada a la ingeniería civil)

[9] http://www.terraterm.es

(Empresa dedicada a las perforaciones geotérmicas)

[10] http://www.agenbur.com

(Informe de geotermia presentado por Acluxega)

8.2.2 Otras páginas web de referencia

[11] http://www.cgsingenieria.com

[12] http://www.bizkaia.net

[13] http://www.ibergeotermia.es

[14] http://www.caloryfrio.com/archivos-cyf/pdf/ponencias/Ponencia_geoener22.pdf

[15] http://www.agua.uji.es/pdf/presentacionPEG05.pdf

[16] http://www.geothermal-energy.org/314,what_is_geothermal_energy.html

[17] http://www.ecotechsolar.es

[18] http://www.geoeficiencia.blogspot.com.es

[19] http://www.uclm.es

[20] http://www.publireportajes.lavanguardia.es

[21] http://www.miliarium.com

[22] http://www.boe.es/boe/dias/2007/08/29/pdfs/A35931-35984.pdf

[23] http://www.cliber.es

ANEXOS

ANEXO 1

VALORES DE CONDUCTIVIDAD Y CAPACIDAD TÉRMICA PARA DISTINTOS TIPOS DE MATERIALES

Tipo de roca	Conductividad térmica (W/mK)			Capacidad térmica volumétrica
	Mín.	Valor típico	Máx.	(MJ/m³K)
Rocas magmáticas				
Basalto	1,3	1,7	2,3	2,3-2,6
Diorita	2	2,6	2,9	2,9
Grabo	1,7	1,9	2,5	2,6
Granito	2,1	3,4	4,1	2,1-3,0
Peridotita	3,8	4	5,3	2,7
Riolita	3,1	3,3	3,4	2,1
Rocas metamórficas				
Gneis	1,9	2,9	4	1,8-2,4
Mármol	1,3	2,1	3,1	2
Metacuarcita		aprox. 5,8		2,1
Micasquistos	1,5	2	3,1	2,2
Esquistos arcillosos	1,5	2,1	2,1	2,2-2,5
Rocas sedimentarias				
Caliza	2,5	2,8	4	2,1-2,4
Marga	1,5	2,1	3,5	2,2-2,3
Cuarcita	3,6	6	6,6	2,1-2,2
Sal	5,3	5,4	6,4	1,2
Arenisca	1,3	2,3	5,1	1,6-2,8
Limolitas y argilitas	1,1	2,2	3,5	2,1-2,4
Rocas no consolidadas				
Grava, seca	0,4	0,4	0,5	1,4-1,6
Grava, saturada de agua		aprox. 1,8		aprox. 2,4
Arena, seca	0,3	0,4	0,8	1,3-1,6
Arena, saturada de agua	1,7	2,4	5	2,2-2,9
Arcilla/limo, seco	0,4	0,5	1	1,5-1,6
Arcilla/limo, saturado de agua	0,9	1,7	2,3	1,6-3,4
Turba	0,2	0,4	0,7	0,5-3,8

ANEXO 2

PRINCIPALES CARACTERÍSTICAS DE LOS TUBOS

POLIETILENO					
Tipo	Presión (Bar)	Diam Nominal (Pul)	DN=Do Exterior (mm)	Di Interior (mm)	Kp (W/m K)
PE32	4	3/4"	20	17,6	0,40678
		1"	25	21,0	0,40678
		1 1/4"	32	28,0	0,40678
		1 1/2"	40	35,2	0,40678
		2"	50	44,0	0,40678
		2 1/2"	63	55,4	0,40678
	6	3/4"	20	16,0	0,40678
		1"	25	20,4	0,40678
		1 1/4"	32	26,2	0,40678
		1 1/2"	40	32,6	0,40678
		2"	50	40,8	0,40678
		2 1/2"	63	51,4	0,40678
	10	3/4"	20	14,4	0,40678
		1"	25	18,0	0,40678
		1 1/4"	32	23,2	0,40678
		1 1/2"	40	29,0	0,40678
		2"	50	36,2	0,40678
		2 1/2"	63	45,8	0,40678
PE50A	6	3/4"	-	-	0,43
		1"	25	21,0	0,43
		1 1/4"	32	28,0	0,43
		1 1/2"	40	35,2	0,43
		2"	50	44,0	0,43
		2 1/2"	63	55,4	0,43
	10	3/4"	20	16,0	0,43
		1"	25	20,4	0,43
		1 1/4"	32	26,2	0,43
		1 1/2"	40	32,6	0,43
		2"	50	40,8	0,43
		2 1/2"	63	51,4	0,43
	16	3/4"	-	-	0,43
		1"	-	-	0,43
		1 1/4"	32	23,2	0,43
		1 1/2"	40	29,0	0,43
		2"	50	36,2	0,43
		2 1/2"	63	45,8	0,43

POLIETILENO					
Tipo	Presión (Bar)	Diam Nominal (Pul)	DN=Do Exterior (mm)	Di Interior (mm)	Kp (W/m K)
PE50B	6	3/4"	-	-	0,29
		1"	25	21,0	0,29
		1 1/4"	32	28,0	0,29
		1 1/2"	40	35,2	0,29
		2"	50	44,0	0,29
		2 1/2"	63	55,4	0,29
	10	3/4"	20	16,0	0,29
		1"	25	20,4	0,29
		1 1/4"	32	26,2	0,29
		1 1/2"	40	32,6	0,29
		2"	50	40,8	0,29
		2 1/2"	63	51,4	0,29
	16	3/4"	20	14,4	0,29
		1"	25	18,0	0,29
		1 1/4"	32	23,2	0,29
		1 1/2"	40	29,0	0,29
		2"	50	36,2	0,29
		2 1/2"	63	45,8	0,29
PE80	6	3/4"	-	-	0,43
		1"	-	-	0,43
		1 1/4"	-	-	0,43
		1 1/2"	40	35,4	0,43
		2"	50	45,2	0,43
		2 1/2"	63	57,0	0,43
	10	3/4"	20	16,0	0,43
		1"	25	21,0	0,43
		1 1/4"	32	27,2	0,43
		1 1/2"	40	34,0	0,43
		2"	50	42,6	0,43
		2 1/2"	63	53,6	0,43

POLIETILENO					
Tipo	Presión (Bar)	Diam Nominal (Pul)	DN=Do Exterior (mm)	Di Interior (mm)	Kp (W/m K)
PE100	6	3/4"	20	16,0	0,43
		1"	25	21,0	0,43
		1 1/4"	32	28,0	0,43
		1 1/2"	40	35,4	0,43
		2"	50	45,4	0,43
		2 1/2"	63	58,2	0,43
	10	3/4"	20	16,0	0,43
		1"	25	21,0	0,43
		1 1/4"	32	27,2	0,43
		1 1/2"	40	35,2	0,43
		2"	50	44,0	0,43
		2 1/2"	63	55,4	0,43
	16	3/4"	20	16,0	0,43
		1"	25	20,4	0,43
		1 1/4"	32	26,2	0,43
		1 1/2"	40	32,6	0,43
		2"	50	40,8	0,43
		2 1/2"	63	51,4	0,43
	25	3/4"	-	-	0,43
		1"	25	18,0	0,43
		1 1/4"	32	23,2	0,43
		1 1/2"	40	29,0	0,43
		2"	50	36,2	0,43
		2 1/2"	63	45,8	0,43
POLIBUTILENO					
Tipo	Presión (Bar)	Diam Nominal (Pul)	Dn=Do Exterior (mm)	Di Interior (mm)	Kp (W/m K)
PB4	8	3/4"	22	17,2	0,36
	10	3/4"	22	17,2	0,36
		1"	25	20,4	0,36
		1 1/4"	32	26,2	0,36
		1 1/2"	40	32,6	0,36
PB5	8	3/4"	22	17,2	0,38
		1"	25	20,4	0,38
		1 1/4"	32	26,2	0,38
		1 1/2"	40	32,6	0,38
		2"	50	40,8	0,38
		2 1/2"	63	51,4	0,38
	10	3/4"	22	17,2	0,38
		1"	25	20,4	0,38
		1 1/4"	32	26,2	0,38
		1 1/2"	40	32,6	0,38
		2"	50	40,8	0,38
		2 1/2"	63	51,4	0,38

ANEXO 3

PRINCIPALES SISTEMAS DE PERFORACIÓN GEOTÉRMICA

A3.1 INTRODUCCIÓN

Los equipos de perforación y los elementos auxiliares se pueden adaptar con tal de optimizar las características del terreno a perforar. Se distinguen cuatro situaciones a nivel de técnicas de perforación.

- Perforación normal.

- Perforación con subsuelo rocoso.

- Perforación en terrenos inestables.

- Perforación con necesidad de encamisado.

Independientemente de la técnica empleada, todos estos sistemas de perforación son hidráulicos.

En condiciones normales de subsuelo el proceso de perforación es el siguiente:

- Disposición de todos los elementos y máquinas necesarios.

- Inicio de la perforación de forma neumática con la instalación simultánea de la camisa (esta es una tubería metálica de protección que va de los 149mm de largo a 6 metros, según las características del suelo). La camisa es instalada para proteger de excesivas vibraciones a la superficie debido al funcionamiento de los equipos y al mismo tiempo prevenir derrumbes en los primeros metros de perforación.

- Una vez la camisa ha sido introducida, se inicia la perforación llegando a la profundidad deseada.

- Una vez la cota ha sido alcanzada, las varillas de perforación son extraídas realizando el proceso inverso al de perforación.

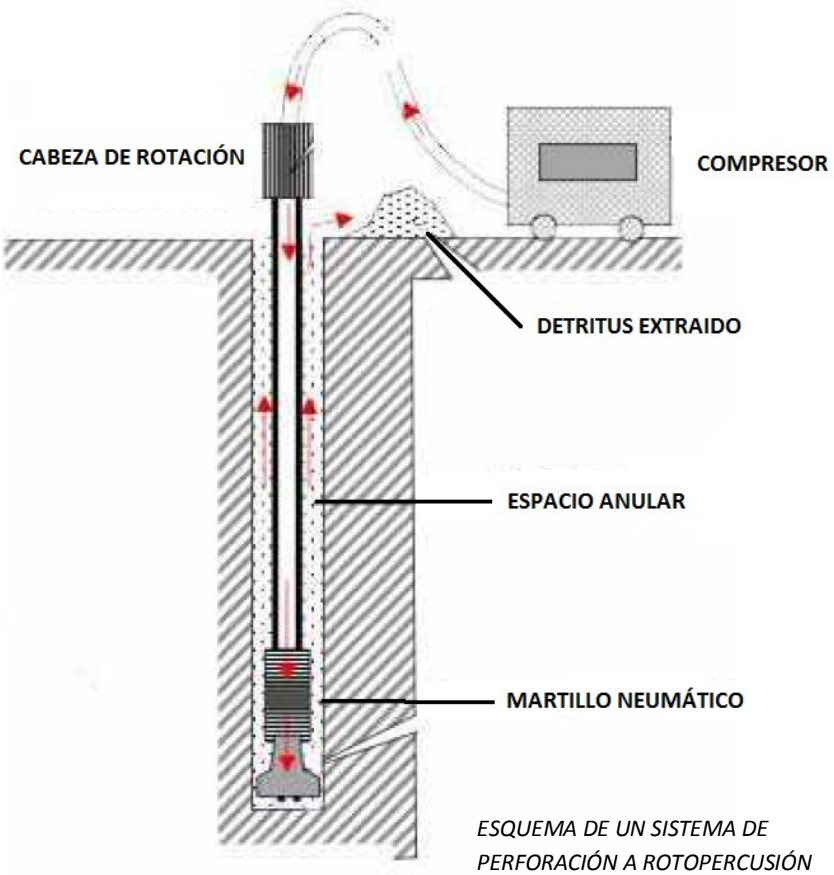
A3.2 Rotopercusión neumática con martillo en fondo

Este tipo de perforación está indicada para terrenos duros y estables (granitos, pizarra, calizas, etc.) cuyas paredes aguanten el impacto que produce introducir aire comprimido a alta presión.

Avance realizado gracias a un martillo de fondo, armado por un tallante o boca de corte.

Este sistema basa su energía principal en el aire comprimido producido por un compresor.

El aire es introducido en el sondeo mediante las varillas de perforación. Cuando el aire llega al martillo lo impulsa produciendo la percusión. Una vez ha realizado el impulso, el aire sale por el tallante refrigerando el mismo y evacuando el detritus cortado a la superficie entre el espacio existente entre la varilla de perforación y la pared del sondeo. Al mismo tiempo que el aire es introducido, se aplica un movimiento de rotación.



ESQUEMA DE UN SISTEMA DE PERFORACIÓN A ROTOPERCUSIÓN

Los parámetros óptimos del sistema de perforación a rotopercusión neumática son los siguientes:

Diámetro del sondeo	$140mm$
Diámetro varilla	$76mm$ *ó* $90mm$
Presión compresor	$25\ kg/m^2$
Caudal compresor	$28\ m^3/min$
Velocidad ascensional	$> 40m/s$

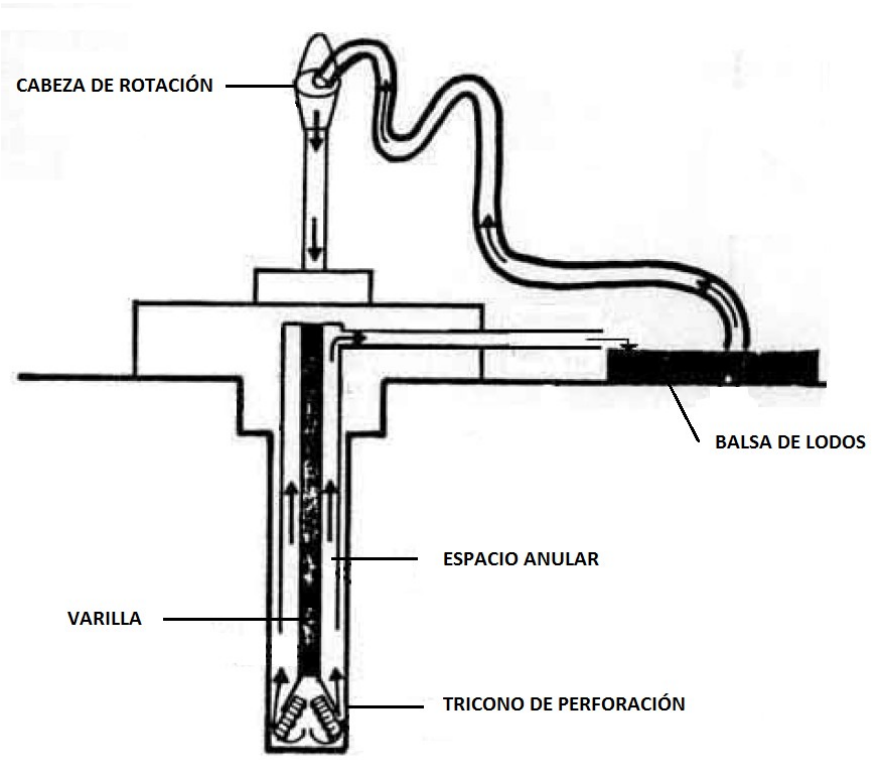
Otros parámetros de este sistema:

Par recomendado	$2100\ /\ 4200\ Nm$
Velocidad de rotación	$0 - 110\ r.p.m$
Empuje	$3500\ kg$
Extracción	$7000\ kg$
Velocidad en descenso	$0.9\ m/s$
Velocidad en ascenso	$0.7\ m/s$

A3.3 Rotación con circulación directa y lodos

Este tipo de perforación está indicado para terrenos inestables, cuyas paredes tengan peligro de derrumbarse con cierta facilidad (arenas, gravas, zonas descompuestas o alteradas, etc.).

En este tipo de sistema, el circuito de fluido de perforación es idéntico al sistema de perforación a rotopercusión pero el fluido empleado es lodo.



ESQUEMA DE UN SISTEMA DE PERFORACIÓN A ROTACIÓN CON CIRCULACIÓN DIRECTA Y LODOS

Los lodos contenidos en la balsa son inyectados a presión al sondeo a través del varillaje gracias a una bomba de lodos. El lodo refrigera la herramienta de corte y hace ascender el detritus cortado. Una función muy importante que realizada el lodo en este tipo de sistema de perforación, es la de crear una película en la pared del sondeo que ayuda a mantenerla estable, evitando posibles derrumbes.

Para una correcta función del lodo, ciertas propiedades de éste han de ser controladas durante toda la perforación, como su densidad, viscosidad y PH, entre otras.

Debido a la recirculación del lodo, éste se va contaminando debido al aporte de los diferentes terrenos que la sonda va atravesando, perdiendo de este modo, sus propiedades. Para solventar este problema es necesario añadir ciertos productos para poder mantenerlo en las mejores condiciones posibles.

Los parámetros óptimos del sistema de perforación por rotación con circulación directa son los siguientes:

Diámetro del sondeo	$140mm$
Diámetro varilla	$90mm$ ó $114mm$
Presión bomba	$21\ Kg/cm^2$
Caudal bomba	$400\ l/min$
Velocidad ascensional	$> 50 - 60m/min$

Otros parámetros de este sistema:

Par recomendado	$7000\ /\ 8000\ Nm$
Velocidad de rotación	$120 - 140\ r.p.m$
Empuje	$4000\ Kg$
Extracción	$12000 - 14000\ Kg$
Velocidad en descenso	$0.9\ m/s$
Velocidad en ascenso	$0.7\ m/s$

Características generales, independientemente del sistema empleado:

- El sistema de perforación ha de ir montadas sobre oruga de goma, para facilitar considerablemente su movilidad.

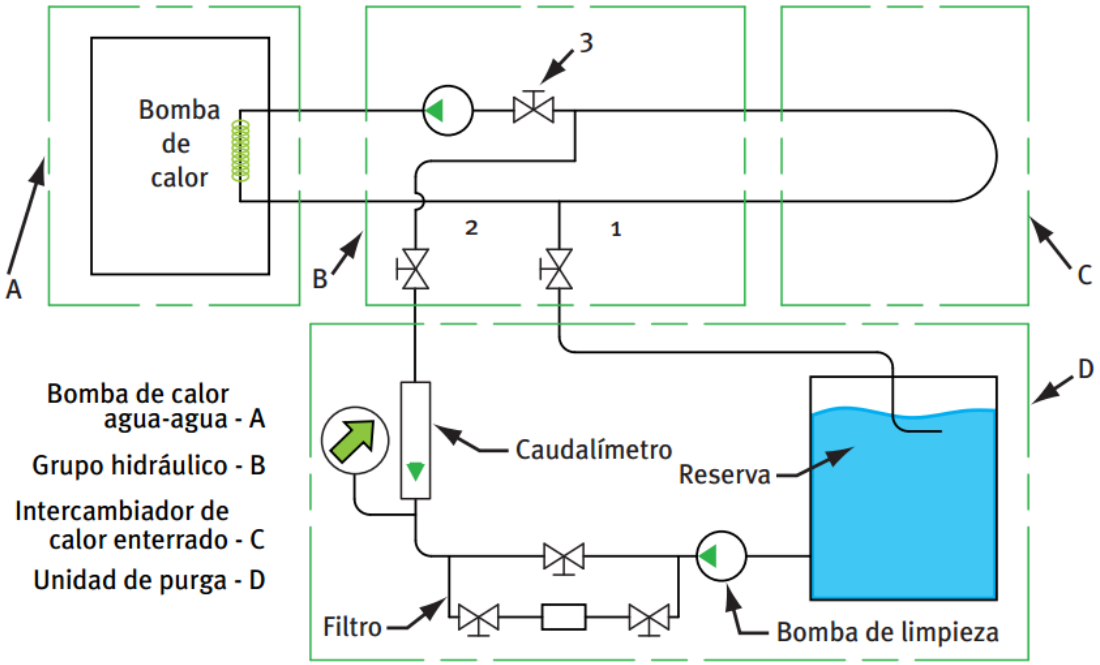
- Agilidad en operaciones de maniobra.

- El ancho máximo debe ser de metros. Permite entrar con mayor facilidad a edificios y viviendas ya construidos.

Una vez revisados ambos sistemas, y a forma de resumen, se extrae la siguiente tabla:

TABLA DE VENTAJAS Y DESVENTAJAS SEGÚN EL SISTEMA DE PERFORACIÓN		
	VENTAJAS	**DESVENTAJAS**
ROTOPERCUSIÓN	- Económicamente más viable. - Alto rendimiento. - Proceso limpio. - Fácil movilización del equipo. - No es necesaria obra de infraestructura.	- No es posible emplear este método de perforación en terrenos inestables.
ROTACIÓN CON CIRCULACIÓN DIRECTA	- Sistema ideal para emplear en perforaciones de terrenos inestables.	- Mayor coste. - Bajo rendimiento. - Presencia de más suciedad durante el proceso, debido principalmente al lodo. - Se precisa de mayor superficie de trabajo. - Gestión de lodos.

ANEXO 4: PASOS A EFECTUAR EN EL PURGADO DE LA INSTALACIÓN



Purgado de la instalación. Fuente: IDAE

Procedimiento:

1. Conexión del desagüe de la unidad de purga a la válvula 2 situada en la ida de la bomba de calor.

2. Conexión de la manguera de retorno a la válvula 1, retorno de la bomba de calor.

3. Aperturas de las válvulas 1 y 2.

4. Cierre de la válvula 3 para aislar el procedimiento de purga de la bomba de calor.

5. Encendido de la unidad de purga. El caudal a través del intercambiador de calor circulará en dirección opuesta a la de operación normal.

6. La purga de aire se habrá efectuado completamente cuando de la manguera sumergida en el depósito auxiliar no surjan burbujas de aire.

7. Después de que se haya efectuado la purga del intercambiador de calor enterrado se abrirá la válvula 3 para permitir que una parte del caudal pase a través del sistema de bombeo para limpiarlo y purgarlo.