



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE NICARAGUA
FACULTAD CIENCIAS

**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE NICARAGUA
UNAN-LEÓN**

FACULTAD DE CIENCIAS

DEPARTAMENTO DE MATEMÁTICA – ESTADÍSTICA



**TEMA: DIFERENTES APLICACIONES DE LAS BOMBAS
DE CALOR GEOTÉRMICA COMO SISTEMA DE
REFRIGERACIÓN Y CALEFACCIÓN EN EL ESPACIO.**

**MONOGRAFIA PARA OPTAR AL TÍTULO EN
LICENCIADO EN MATEMÁTICA.**

ELABORADO POR:

- **Norlan Omar Rueda Montes.**
- **Fausto José Pichardo Escoto.**

TUTOR: Lic. Francisco José Vanegas.

León, 13 de Marzo del 2008



Índice:

Capítulo 1: INTRODUCCIÓN.....	7
ANTECEDENTES	
JUSTIFICACION	
Capítulo 2: MARCO TEORICO.....	11
2.1 QUE ES UNA BOMBA DE CALOR GEOTÉRMICA	
2.2 Elementos básicos de la bomba de calor geotérmica.	
2.2.1 Compresor.	
2.2.2 Condensador.	
2.2.3 Evaporador.	
2.2.4 Intercambiador de calor.	
2.2.5 válvula de expansión.	
2.3 Características de la bomba de calor geotérmica.	
Capítulo 3: TIPOS DE INTERCAMBIADORES DE CALOR GEOTERMICO.....	15
3.1 Existen diferentes tipos de intercambiadores:	
3.1.1 Intercambiador horizontal.	
3.1.2 Intercambiador vertical.	
3.1.3 Intercambiador slinking.	



3.2 Tipos de tubos.

3.2.1 Características de los tubos de polietileno plástico PP.

3.2.2 Ventajas de los tubos de polietileno plásticos PE.

Capítulo 4: FUNCIONAMIENTO DE LA BOMBA DE CALOR GEOTERMICA.....21

4.1 Existen dos tipos de ciclos para climatización de un espacio:

4.1.1 Ciclo de refrigeración.

4.1.2 Ciclo de calefacción.

4.2 Beneficios que nos brinda un sistema de bomba de calor geotérmica.

Capítulo 5: PRINCIPIOS Y APLICACIONES FÍSICAS DEL GRADIENTE GEOTÉRMICO.....29

Capítulo 6: COSTOS DE LAS BOMBAS DE CALOR GEOTERMICA.....38

Capítulo 7: DIFERENTES USOS DE LAS BOMBAS DE CALOR GEOTERMICA.....42



7.1 Usos domésticos.

7.2 Usos comerciales.

7.3 Usos industriales.

Capítulo 8: REFRIGERANTES DE LAS BOMBAS DE CALOR
GEOTERMICAS.....52

RECOMENDACIONES.....59

ANEXOS.....66

**GLOSARIO DE TERMINOS DE LAS BOMBAS DE CALOR
GEOTERMICA.....67**

BIBLIOGRAFIA.....74



OBJETIVOS:

Generales:

- Explicar los diferentes usos y aplicaciones de la “Bomba de calor geotérmica” como sistema de refrigeración y calefacción.

Específicos:

- Describir el principio de funcionamiento y las principales aplicaciones de las bombas de calor geotérmico.

- Analizar los principios y aplicaciones físicas del gradiente geotérmico.



DEDICADA A:

- Dios, ser supremo que lo ilumino y guío nuestro camino con sabiduría.
- Los maestros, que nos transmitieron valores, conocimientos y experiencias.

En especial se la dedicamos al maestro **“Adán Peralta Cardona” que en paz descansa**, quien inicio la realización de esta monografía, que por circunstancias mayores, ya no se encuentra con nosotros en este día tan importante, pero en espíritu nos acompaña y en vida nos instruyo sus conocimientos para ser posible este momento de grandeza en nuestras vidas. Por este motivo el Lic. Francisco José Vanega finalizo la monografía

- Nuestros padres, que sin su esfuerzo y apoyo no hubiese sido posible este momento.



Capítulo 1:

INTRODUCCIÓN

Si bien es cierto que mucho se habla del problema energético que atraviesa Nicaragua, pero no se han tomado medidas necesarias en torno a este problema. Nuestro país tiene mucho potencial en recursos naturales que envidian otros países.

Los gastos energéticos causados por los sistemas convencionales de refrigeración usados en nuestro país son elevados y contribuyen a la contaminación ambiental.

En el presente trabajo investigativo explicamos los diferentes usos y funcionamiento de las "Bombas de Calor Geotérmicas", cuyo propósito principal consiste en refrigerar y calefaccionar y están en pleno goce en diferentes países del mundo, ya que es una tecnología confiable y comprobada.

En el capítulo 2 y 3 mencionamos el significado de lo que es una Bomba de Calor Geotérmica, sus características y de que están compuestas, como también los tipos de intercambiadores de calor geotérmico.

El funcionamiento de las bombas de calor geotérmico y los costos de instalación por unidad la explicamos en el capítulo 5 y 6.

Por los diversos problemas climáticos es necesario que el ser humano se mantenga confortable debido a esto nace la necesidad de crear aparatos o maquinas que nos ayuden a mantenernos en un ambiente apto para la sobre vivencia.

Los diferentes usos de las bombas de calor geotérmico y los líquidos refrigerantes son tratados en el capítulo 7 y 8.



En este trabajo de investigación, se presenta un sistema alternativo de generación de energía, gracias al aprovechamiento del calor generado por la tierra.

Los cálculos, aplicaciones y principios físicos son abordados en el capítulo 4, y finalizamos nuestra investigación con algunas recomendaciones.



ANTECEDENTES

El principal problema, según los expertos, es que comienza a haber escasez en las fuentes tradicionales de suministro de energía, como el petróleo y el carbón, que son los motores de la economía global.

Los especialistas advierten sobre la necesidad de desarrollar energías alternativas para evitar una fuerte crisis energética. A nivel internacional el uso de paneles solares se ha convertido en una alternativa energética frente a los altos costos del petróleo. Para los expertos, el hidrógeno, la energía eólica, solar e hidroeléctrica suministrarán la mayor parte de la energía del mundo en los próximos 50 años.¹

La instalación para climatización con bomba de calor geotérmica es actualmente el sistema más eficiente energéticamente, y puede proporcionar ahorros energéticos superiores al 70%, por su contribución a la reducción de las emisiones de CO₂, con respecto a otros sistemas convencionales, como las calderas de gas o de gasoil, etc.

Las bombas de calor geotérmicas, aprovechan la temperatura estable de la tierra usando el gradiente geotérmico para hacer mediciones de temperaturas a diferentes profundidades.

En EEUU la temperatura de más de 300.000 hogares, escuelas y oficinas es mantenida confortable por estos sistemas de ahorro energéticos, y cientos de miles más son utilizados en el mundo. El Departamento de Energía de los Estados Unidos y la Agencia de Protección del Medio Ambiente califican a las bombas de calor geotérmicas como el sistema de calefacción y refrigeración más energético y ecológicamente razonable para los edificios residenciales, comerciales e industriales de la actualidad.



JUSTIFICACION

Realizamos esta investigación descriptiva y documental para presentar un sistema alternativo de aprovechamiento de energía y sus potenciales aplicaciones, Por otro lado, es una opción en el ahorro energético necesario actualmente en Nicaragua. Nuestro país tiene mucho potencial en recursos naturales que bien pueden ser aprovechados para la generación de energía y reducir la dependencia del petróleo. "Nicaragua, país de Lagos y Volcanes", dice el slogan. Pero ¿Cuántos proyectos energéticos aprovechan los recursos hidroeléctricos, geotérmicos y eólicos? la "basura" es fuente de energía, ¿cuántos proyectos en el país aprovechan este recurso? ¹



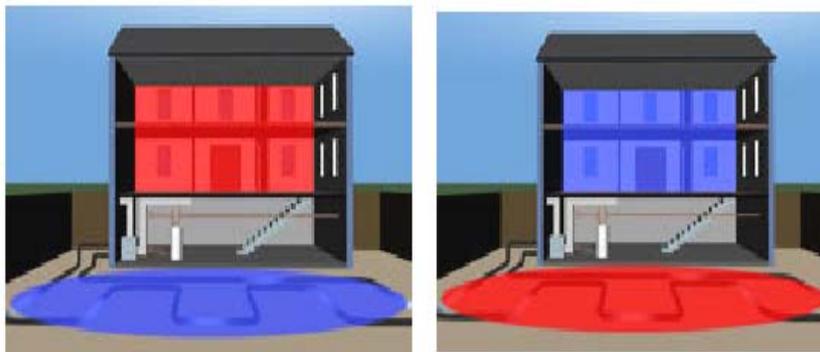
Capítulo 2: MARCO TEORICO

2.1 ¿QUÉ ES UNA BOMBA DE CALOR GEOTÉRMICAS?

Geotérmica significa "calor de la tierra". Una bomba de calor geotérmica es un sistema que cede y absorbe el calor de la tierra o del agua extraída de un pozo o estanque.

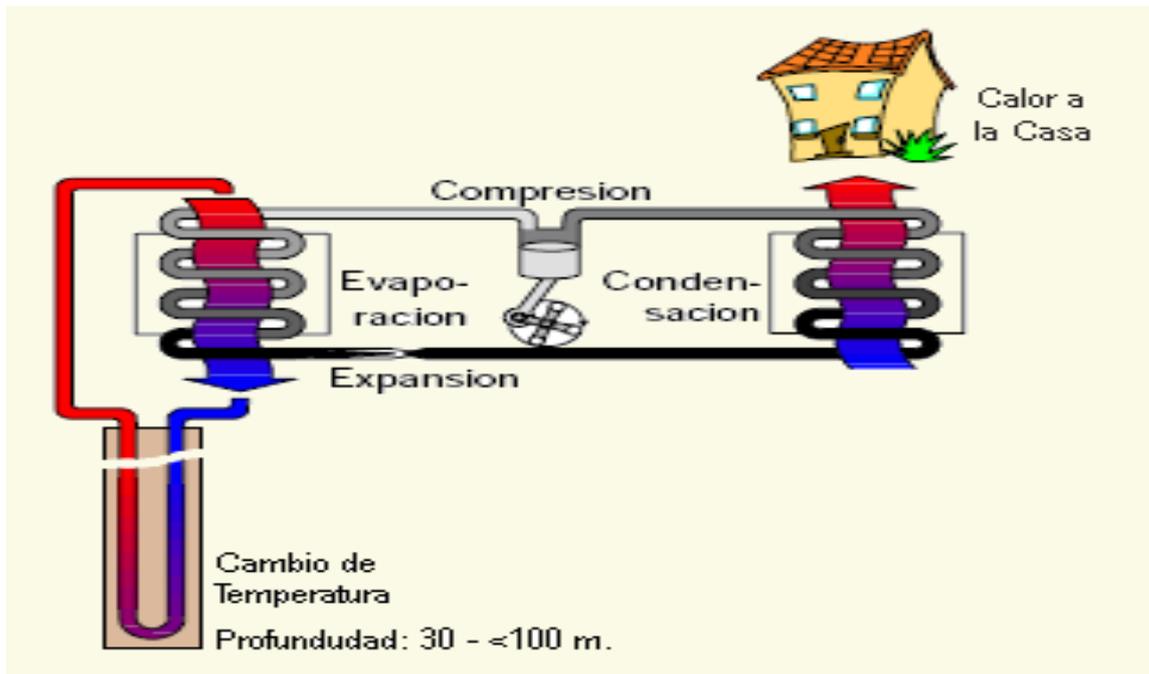
Una bomba de calor geotérmica, es un dispositivo que aprovecha la temperatura relativamente constante del interior de la tierra, como fuente de calor y disipador térmico, usando tuberías horizontales, verticales o slinking, enterradas, como intercambiadores de calor, a través de los cuales circula un fluido para transferir calor, tanto para calefacción como enfriamiento.

Cuando se usa para enfriamiento, el calor es extraído del espacio y transferido en la tierra; cuando se usa para calefacción, el calor es extraído de la tierra y bombeado al espacio.



En invierno el intercambiador absorbe el calor del suelo proporcionando calefacción en el interior.

En verano el intercambiador cede calor al suelo proporcionando refrigeración.



Esquema de una bomba de calor geotérmica.

2.2 Elementos básicos de la bomba de calor geotérmica:

2.2.1 Compresor: La misión del compresor es la de comprimir o aspirar el gas que proviene del evaporador y transportarlo al condensador aumentando su presión y temperatura.

2.2.2 Condensador: El condensador tiene la función de poner en contacto los gases que provienen del compresor con un medio exterior para disolverlo.

2.2.3 Evaporador: Un evaporador es un intercambiador de calor entre fluidos, de modo que mientras uno de ellos se enfría, disminuyendo su temperatura, el otro se calienta pasando, habitualmente, de su estado líquido original a estado vapor (cambiando la posibilidad de un calentamiento exterior, con lo que se dice que alcanza el estado de vapor sobrecalentado).



2.2.4 Intercambiadores de calor (Tuberías Subterráneas Horizontales, Verticales o Slinking).

Los sistemas geotérmicos emplean tuberías subterráneas horizontales, verticales o slinking. Estos sistemas de intercambio de calor funcionan de la misma manera, haciendo circular un suministro fijo de agua por un circuito cerrado de tuberías plásticas de polietileno, para tomar y transferir el calor.

La elección del tipo de sistema puede depender de la extensión de terreno disponible y de la ubicación de otras características en dicho terreno.

Por ejemplo, los sistemas con tuberías subterráneas verticales funcionan mejor en pequeños terrenos, o en terrenos donde el suelo no permite un sistema horizontal.

Las tuberías plásticas de polietileno se instalan bajo tierra verticalmente, en orificios de entre 10 - 20 m de profundidad.

En los sistemas con tuberías subterráneas horizontales, la tubería plástica de polietileno se instalan bajo tierra en forma horizontal a una profundidad de entre 1 - 2 m a lo largo de una extensa superficie del terreno. Los sistemas horizontales pueden incluso instalarse bajo estanques u otras masas de agua.

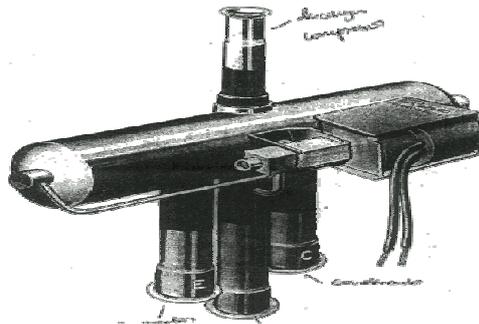
Para viviendas con condiciones de terreno limitadas también se encuentran disponibles otros sistemas que utilizan tuberías slinking para transferir líquidos refrigerantes de intercambio directo.



2.2.5 válvulas de expansión:

La válvula de expansión es un dispositivo capaz de provocar el cambio de la dirección del fluido refrigerante de manera que el evaporador se convierte en condensador, y el condensador se convierte en evaporador, lo que completa una fase de ciclo invertido.

La válvula está formada por dos partes principales, la válvula maestra que determina el camino seguido en el sistema por el refrigerante y una válvula conductora, cuya función es la de provocar la inversión de la posición de la compuerta que resbala en la válvula maestra.



2.3 Características de la bomba de calor geotérmica:

- Ahorro energético.
- No producen ruido.
- Son altamente eficiente.
- Integración arquitectónica.
- Saludable.
- Durabilidad y bajo costo de mantenimiento.
- Disminución de las emisiones de CO₂.



Capítulo 3:

LOS TIPOS DE INTERCAMBIADORES DE CALOR GEOTERMICO

La tierra más allá de su capa más superficial ofrece una gran estabilidad térmica a lo largo de todo el año, es por ello que es una importante fuente de energía especialmente para zonas de clima riguroso.

3.1 Existen diferentes tipos de intercambiadores:

En la actualidad se admiten diferentes tipos de intercambiadores, dependiendo de las características del suelo, donde se desee instalar la Bomba de Calor Geotérmica, las que determinen cuál de ellas es la más idónea para su instalación y explotación.

Los tres tipos de intercambiadores básicos son:

- Intercambiador Horizontal.
- Intercambiador Vertical.
- Intercambiador Slinking.

3.1.1 Intercambiador Horizontal.

Es el intercambiador de calor mas común y el mas económico utilizado en las viviendas o residenciales. Este tipo de intercambiador es un circuito cerrado compuestos de tubería de polipropileno reticulado y enterrado en la superficie del suelo a 1-2 m de profundidad.

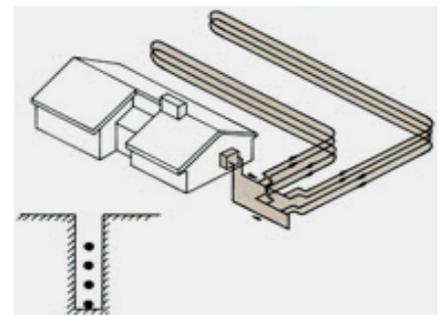
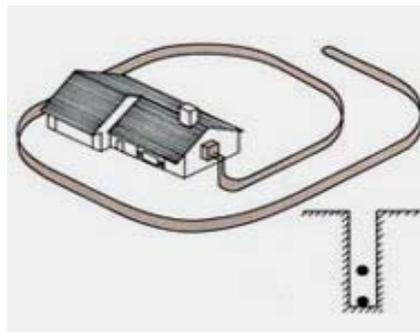
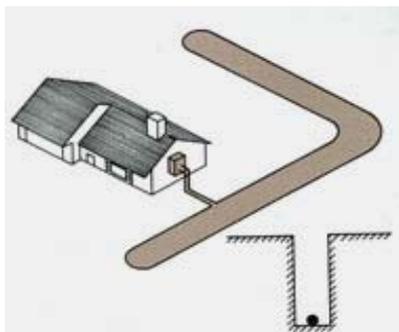
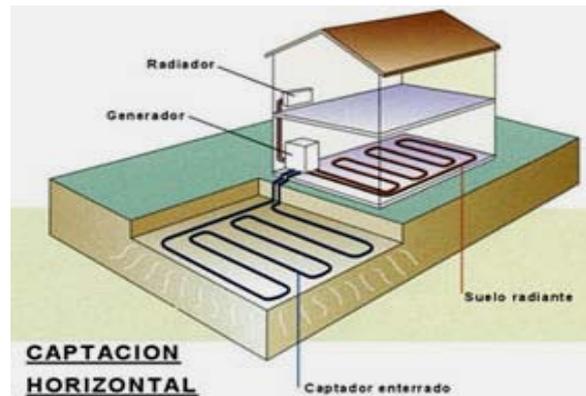
Se puede encontrar en rollos o en barras:

El que va en rollos se denomina recocado, esta clase de tubo permite ser doblado y suele venir en rollos (slinking) de 25m. Estos tubos no deben estirarse o doblarse más de lo necesario ya que se endurecería o tendería a romperse.



Dentro de estos intercambiadores posibles encontramos algunas modalidades diferentes.

- **Sistema Horizontal en serie:**



Horizontal simple

Horizontal doble

Horizontal cuádruplo

3.1.2 Intercambiador Vertical.

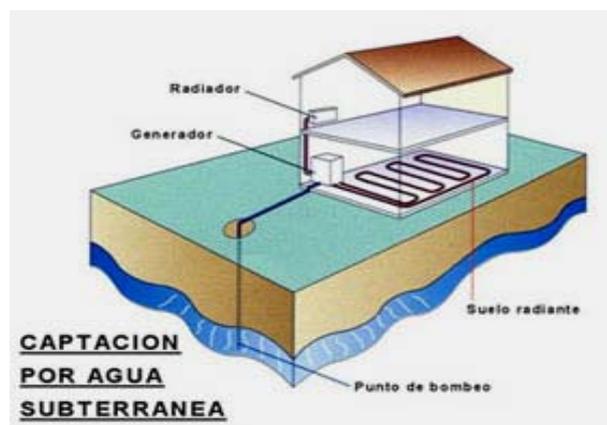
Es el intercambiador de calor geotérmico mas recomendable, también es la opción mas cara pero debemos tener en cuenta que entre los 10-20m de profundidad la temperatura es constante durante todo el año a 31°C, dependiendo de la temperatura del suelo, con lo cual el suministro de calor esta siempre asegurado y el consumo del máquina será mas bajo y regular.



3.1.2.1 Intercambiador abierto:

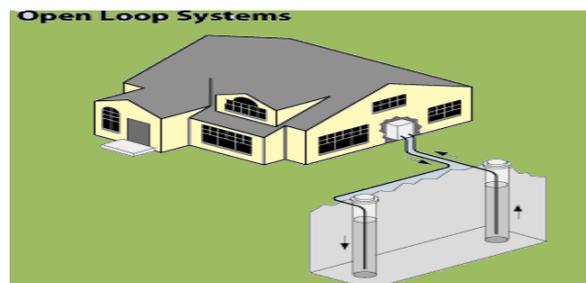
❖ Agua subterránea:

Estos intercambiadores "abiertos" se utilizan donde se tiene conocimiento de que hay un acuífero u corriente subterránea. Aprovechando esta como líquido portador hasta la maquina, así una vez aprovechado su constante temperatura se retorna al sitio original.



❖ Pozos (Sistema de anillo abierto).

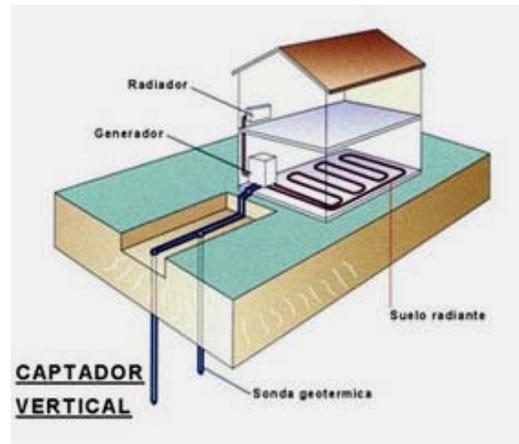
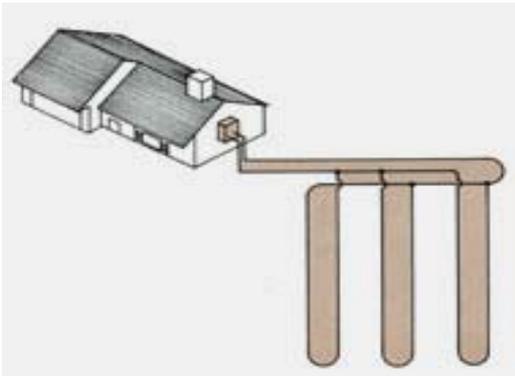
Los pozos en forma vertical son típicamente de seis pulgadas de diámetro y pueden ser tan profundos llegando algunos a medir hasta 100m. El agua templada del fondo del pozo se extrae a través del intercambiador de calor de la bomba de calor geotérmica y luego es depositada al pozo. Generalmente, el pozo también sirve para proporcionar el agua potable. El agua subterránea debe ser abundante para que un sistema del pozo funcione con eficacia. Si el pozo se encuentra en donde el agua permanece a un nivel profundo, el bombeo sería costoso.



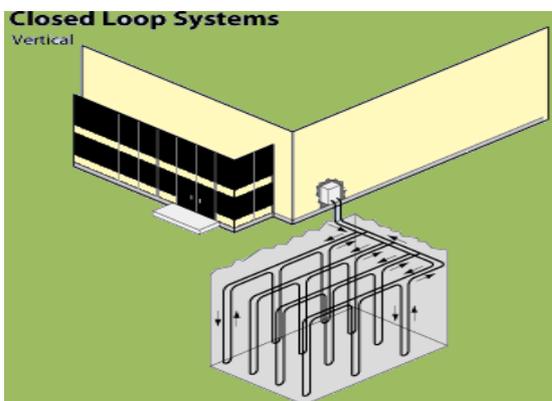


3.1.2.2 Intercambiador Cerrados:

- **Sistema Vertical en paralelo:**



- **Sistema Vertical en serie:**



3.1.3 Intercambiador Slinking:

Los intercambiadores slinking se definen como una modalidad particular de intercambiadores horizontales.

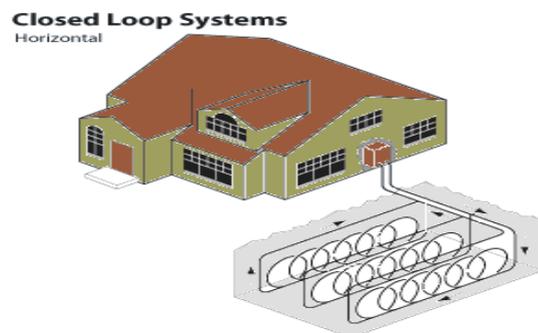
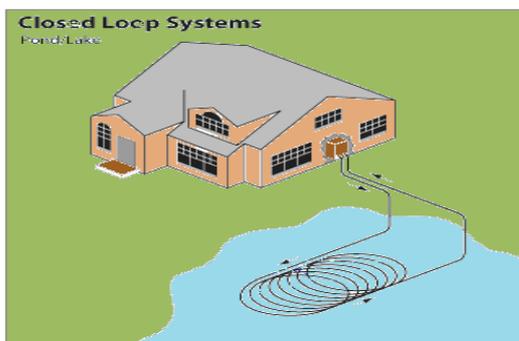
Esta configuración presenta las siguientes peculiaridades:



- Coste de instalación menor que la configuración vertical.
- Menor longitud de zanja que la configuración horizontal.
- Mayor longitud de tubería que la configuración horizontal.

Este tipo de diseño de intercambiador cerrado horizontalmente puede ser el más económico, si una vivienda está cerca de una cascada de agua superficial, tal como una charca o un lago etc. El líquido circula a través de tubería de polietileno en un sistema cerrado. La tubería se puede enrollar en una forma slinking para que alcance más de ella en una cantidad de espacio dada.

Estos son ejemplos de sistemas de intercambiadores de calor que van en rollos denominados recocidos, son también horizontal cerrado, donde se aprovecha un manantial cercano a la vivienda.





3.2 Tipos de tubos:

- Tubos de **PEMD** - Polietileno Media Densidad;
- Tubos de **PEAD** - Polietileno Alta Densidad;
- Tubos de **PERFV** - Polietileno Reforzado con Fibra de Vidrio;
- Tubos de **PP** - Polipropileno;
- Tubos de **PPRFV** - Polipropileno Reforzado con Fibra de Vidrio.

3.2.1 Características de los tubos de polietileno plástico PP:

- ❖ Excelente resistencia a corrosión.
- ❖ Alta resistencia a impactos ambientales.
- ❖ Son flexibles e impermeables.
- ❖ No son tóxicos.
- ❖ Vida media mayor que 50 años.
- ❖ Costo de instalación bajo.

3.2.2: Ventajas de los tubos de polietileno plásticos PE:

Los tubos de PE poseen un coeficiente de resistencia 20 veces mayor que los tubos de concreto.

Los tubos de PE son una alternativa insuperable para procesos donde haya presencia de sólidos.

Los tubos de POLIPROPILENO (PP), son los más indicados para instalaciones que necesitan resistencia a temperaturas de (100 ° C), que poseen mayor rigidez e inercia química.²



Capítulo 4:

FUNCIONAMIENTO DE LA BOMBA DE CALOR GEOTERMICA

La bomba de calor geotérmica funciona acorde al principio de que el calor puede transferirse mediante un ciclo de cambio entre evaporación y condensación, que es el mismo ciclo utilizado en los refrigeradores, congeladores y sistemas de aire acondicionado.

Cuando un líquido se evapora, el calor se absorbe y cuando un vapor se condensa, el calor se libera. Mediante la presurización y despresurización alterna de una sustancia con un punto muy bajo de ebullición (conocido como refrigerante), la bomba de calor geotérmica puede absorber el calor de un medio relativamente frío y transferirlo a uno caliente.

Una de las principales ventajas de estos sistemas consiste en el gran ahorro energético que presentan respecto a los sistemas de climatización habituales. Como hemos comentado, los sistemas de climatización geotérmicos funcionan de forma similar a los tradicionales pero intercambian calor con el subsuelo, en lugar de hacerlo con el aire.

Sin embargo, el sistema que proporciona un mayor ahorro energético y que, a su vez, es capaz de generar todas las necesidades térmicas de la vivienda (calefacción, refrigeración y agua caliente sanitaria) es la bomba de calor geotérmica, ya que reduce los consumos energéticos un 50% respecto a los sistemas tradicionales.

Estos sistemas se pueden clasificar generalmente como sistemas abiertos y cerrados:



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

El sistema no siempre se puede atribuir exactamente a una de las categorías anteriormente mencionadas; hay ejemplos como agua en minas, agua en túneles o pozos en forma de columnas. Para elegir el sistema más apropiado para una instalación específica, hay que considerar varios factores:

- ❖ Las características geológicas e hidrogeológicas del subsuelo (para los sistemas abiertos debe haber suficiente permeabilidad).
- ❖ Área y utilización en la superficie para la instalación (sistemas horizontales y cerrados requieren de una cierta área).
- ❖ La existencia de fuentes potenciales de calor como las minas, y las características de calefacción y refrigeración de el/los edificios.

En la fase del diseño, datos más exactos son absolutamente necesarios para los parámetros básicos e importantes para seleccionar la tecnología. Hay que medir el sistema de tierra de tal forma que se obtenga un rendimiento óptimo con costos mínimos.

Durante el verano, el refrigerante circula a través de bucle en la tubería y el intercambiador térmico de la bomba de calor geotérmica, aunque se invierta el ciclo. En lugar de



absorber el calor del refrigerante y transferirlo al aire interior, ahora absorbe el calor del aire interior y los transfiere al refrigerante, donde se emite a la tierra o al agua subterránea.

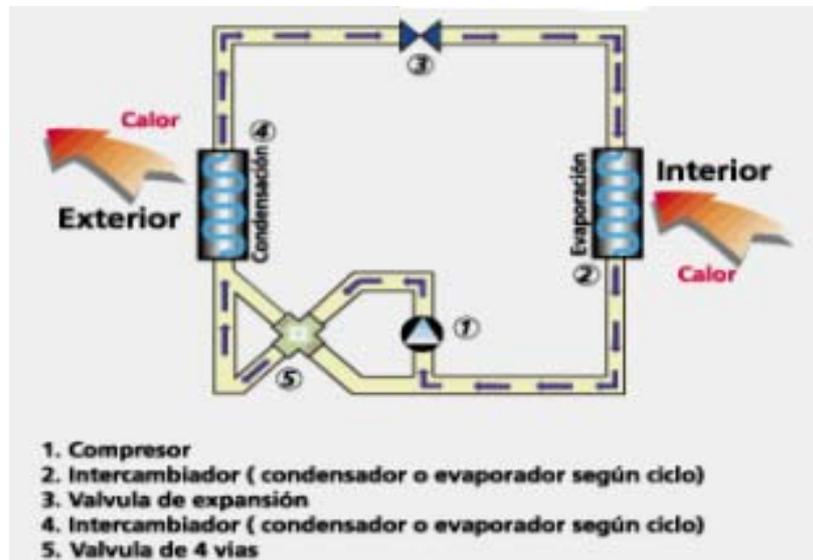
Debido a la temperatura constante relativamente fría de la tierra o del agua subterránea, el sistema geotérmico resulta, en realidad, más eficiente para el enfriamiento. Una Bomba de calor geotérmica funciona de manera parecida a una máquina frigorífica, que es un tipo de máquina térmica, cuyo propósito es el de mantener un recinto refrigerado mediante la transferencia de calor.

Pero la bomba de calor geotérmica tiene unas cuantas válvulas extra que permiten que el fluido que intercambia calor vaya por dos caminos diferentes: uno por calentamiento y el otro por enfriamiento.

4.1 Existen dos tipos de ciclos para climatización de un espacio:

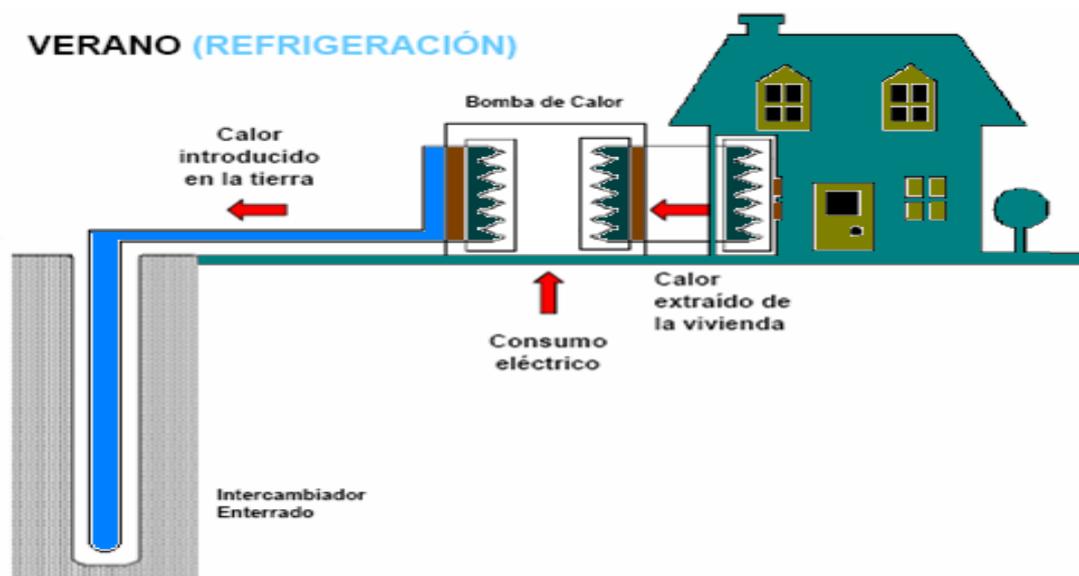
4.1.1 Ciclo de refrigeración:

- El compresor eleva la presión y temperatura del fluido frigorífico (1) siguiendo su camino a través de la válvula de 4 vías (5).
- En el intercambiador, situado en el exterior, el fluido se condensa cediendo su calor al medio exterior. (4)
- El fluido en estado líquido y alta presión se expande en la válvula de expansión reduciendo su presión y evaporándose en parte. (3)
- En el intercambiador (2), situado en el interior del recinto a refrigerar, el fluido frigorífico completa su evaporación absorbiendo calor del medio interior.



Modo de funcionamiento de la Bomba de Calor Geotérmica:

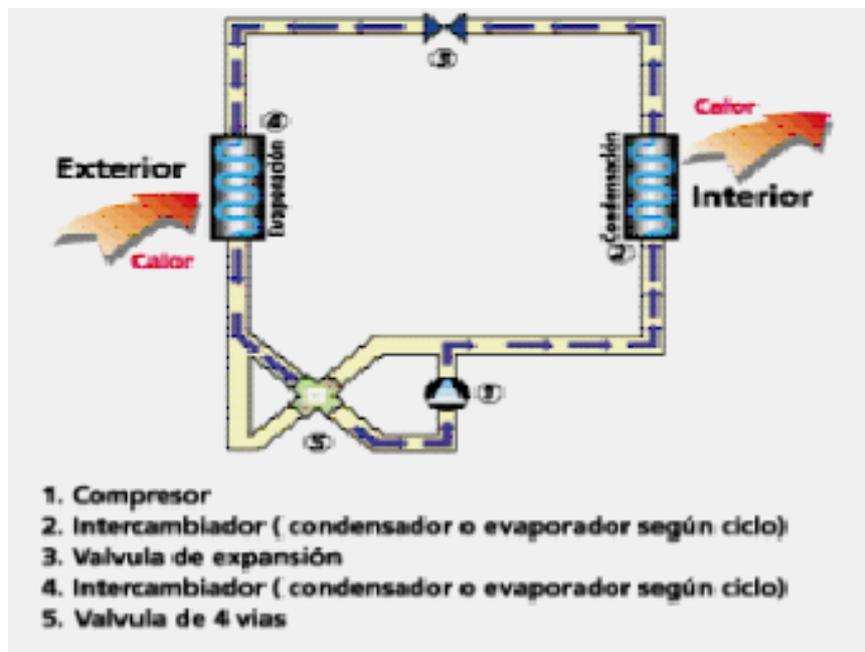
En verano el intercambiador cede calor al suelo proporcionando refrigeración.





4.1.2 Ciclo de calefacción:

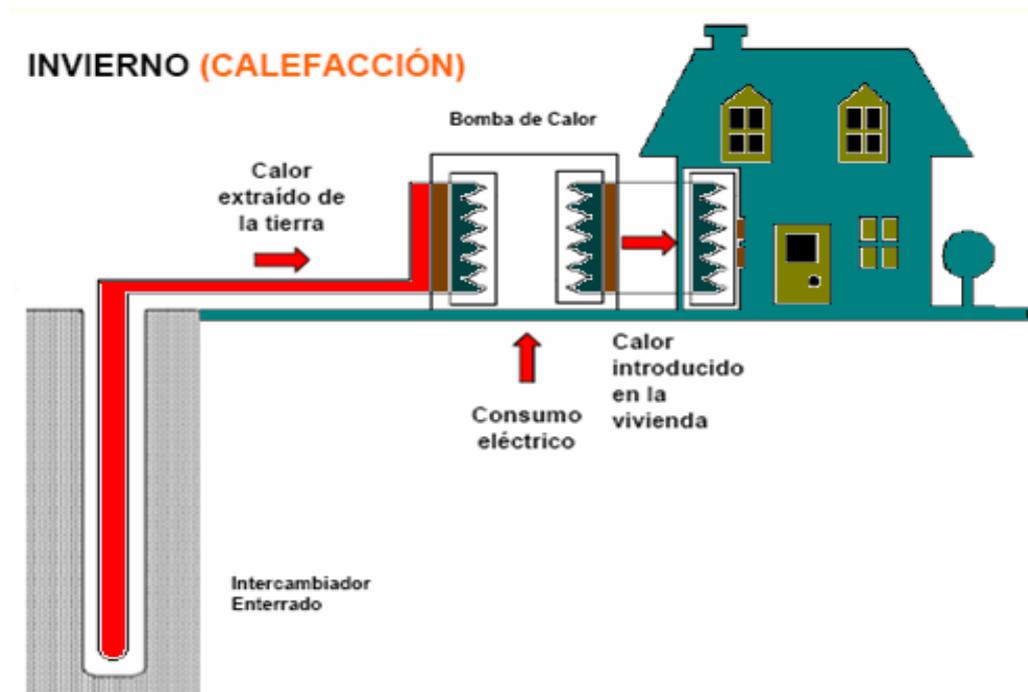
- El compresor eleva la presión y temperatura del fluido frigorífico. (1)
- En el intercambiador, situado en el interior del recinto a calefaccionar, el fluido cede al aire del recinto el calor de su condensación. (2)
- El fluido en estado líquido y a alta presión y temperatura se expande en la válvula de expansión reduciendo su presión y temperatura, evaporándose en parte. (3)
- En el intercambiador situado en el exterior el fluido refrigerante completa su evaporación absorbiendo calor del aire exterior, retornando al compresor (1) a través de una válvula de cuatro vías. (5)





Modo de funcionamiento de la Bomba de Calor Geotérmica:

En invierno el intercambiador absorbe el calor del suelo proporcionando calefacción en el interior



4.2 Beneficios que nos brinda un sistema de bomba de calor geotérmica:

- Agua caliente gratuita o de coste reducido.
- Confort todo el año.
- Diseño de tecnología avanzado.
- Estética mejorada.
- Calefaccionar y refrigerar.
- Impacto ambiental bajo.



Con respecto a este último beneficio, la cantidad de bombas de calor geotérmico que hay instalada en el mundo reducen las emisiones de CO₂ del globo terrestre que se estiman en un 6%, lo que equivaldría a una reducción de 1.200 millones de toneladas de CO₂ al año, repartidas así:

- ✓ 1.000 millones de toneladas de CO₂ en el sector residencial y comercial.
- ✓ 200 millones de toneladas de CO₂ en el sector industrial.

Este potencial de reducción de emisiones de CO₂ es uno de los mayores que puede ofrecer una única tecnología como es la bomba de calor geotérmico, con la ventaja de que se trata de una tecnología que ya está disponible en el mercado.

Las emisiones de CO₂, como consecuencia de los procesos de calefacción y refrigeración, y por el uso de agua caliente sanitaria en los sectores residenciales y de servicios, ascienden anualmente en España a 28 millones de toneladas de CO₂.

La ventaja más grande de las bombas de calor geotérmico es que utilizan 25 - 50% menos electricidad que los sistemas convencionales de calefacción y refrigeración.

La mayor parte del calor geotérmico de baja temperatura se emplea en aplicaciones domésticas.

Los sistemas de calefacción de distritos geotérmicos bombean agua geotérmica hacia un intercambiador de calor, donde éste transfiere su calor a las aguas de la ciudad limpia que es conducida por tuberías a los edificios del distrito.



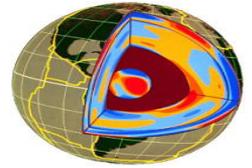
Luego, un segundo intercambiador de calor transfiere el calor al sistema de calefacción del edificio. El agua geotérmica es inyectada de nuevo al pozo de reserva para ser recalentada y utilizada de nuevo.



Esquema de una bomba de calor geotérmica para climatización de un edificio.



Capítulo 5:



PRINCIPIOS Y APLICACIONES FÍSICAS DEL GRADIENTE GEOTÉRMICO

La tierra posee en su interior un núcleo incandescente que se encuentra a grandes temperaturas. Por tanto esta claro que la tierra experimenta, al aumentar de profundidad, una variación de temperatura que resulta relativamente proporcional.

Es decir, a mayor profundidad las temperaturas aumentan, de acuerdo al gradiente geotérmico. La energía que la tierra desprende desde su interior se le llama geotérmica y a las aplicaciones de dicha energías se les denomina geotérmicas.

La Geotermia:

A menudo se piensa en la GEOTERMIA como una fuente energética utilizable únicamente en zonas volcánicas. El término GEOTERMIA se refiere a la energía térmica producida en el interior de la tierra (variación de temperatura).

La gran masa de la Tierra hace que la temperatura del subsuelo, a partir de unos 20m de profundidad, se mantenga prácticamente constante durante todo el año; esta temperatura varía según las características del terreno y la radiación solar propia de la región.

En España, un país con una gran radiación solar, la temperatura de la tierra a profundidades de más de 20m es relativamente alta (alrededor de los 15 grados). El cálculo de las temperaturas en el interior de la Tierra no es tan sencillo.



Las medidas de temperaturas se realizan en sondeos que penetran unos pocos Kilómetros en la corteza terrestre.

Por tanto el gradiente térmico medido en superficie debe descender en profundidad. Para explicar este descenso en el gradiente térmico superficial con la profundidad, debemos considerar diversos tipos de datos y observaciones procedentes de diferentes ramas de la Geología.

La diferencia de temperatura entre zonas calientes profundas y zonas superficiales más frías genera un flujo conductivo de calor hacia la superficie, tendiendo a crear condiciones uniformes de temperatura, a pesar que a menudo debido a fenómenos naturales esta situación nunca se alcanza.

Gradiente Geotérmico:

El gradiente geotérmico es el aumento de la temperatura con la profundidad en la corteza terrestre.

La corteza terrestre es la capa rígida más externa de la Tierra. En comparación con las demás capas concéntricas, es la más delgada y su espesor varía entre los 20 y los 40km debajo de los continentes (corteza continental, granítica) y los 6 y 15km debajo de los océanos (corteza oceánica, basáltica). La corteza continental o externa está formada principalmente de granito y rocas de composición química similar. La corteza oceánica o interna está formada fundamentalmente por basalto.

En la capa más superficial de la corteza, la temperatura aumenta en un valor promedio de $3^{\circ}\text{C}/100\text{ m}$ ($0.03^{\circ}\text{C}/\text{m}$) de profundidad. Esta variación se conoce como "gradiente geotérmico". Cuando los valores del gradiente se encuentran entre $2\text{-}5^{\circ}\text{C}/100\text{ m}$ se consideran normales, mientras que los



valores que exceden 5°C/100 m, habrá a 1500m una temperatura de 180°C aproximadamente.

Modos de transmisión del calor (Q): el concepto de flujo térmico terrestre.

Para determinar el gradiente térmico en la litosfera terrestre, debe conocerse, aunque sea superficialmente, como se transmite el calor desde regiones con mayor temperatura a otras más frías.

Estos mecanismos de transmisión del calor dependen de las características del medio que lo transmite. Así, en el vacío el calor se puede transmitir por *radiación* exclusivamente; en un gas o líquido de baja viscosidad lo hace por *convección* (Ejemplo: agua hirviendo en un cazo); y en un sólido opaco el calor se transmite por *conducción* exclusivamente.

En la conducción el mecanismo más importante en la mayoría de las situaciones geológicas la energía térmica se transmite de una sustancia a otra por una transferencia de la energía cinética de un átomo o molécula a otro/a.

La ecuación general que gobierna la conducción de calor es:

$$\frac{dQ}{dt} = -KA \frac{dT}{dz} \quad [1]$$

dónde,

- dQ/dt es la velocidad de conducción o transmisión de calor del cuerpo considerado.
- K es una constante denominada conductividad térmica (o también "coeficiente de conductividad térmica").
- A es el área a través de la cual queremos medir la transferencia de calor.



- Z es la profundidad que separa el área considerada de la fuente de calor.

Si queremos normalizar la velocidad de conducción con el área del cuerpo, se obtiene el concepto de *flujo térmico* o *flujo calorífico* (J), que resulta ser:

$$J_z = \frac{dQ}{dtA} = -K \frac{dT}{dz} \quad [2]$$

Esta expresión es conocida como la ley de Fourier.

Los valores medios de flujo térmico (J) oscilan entre 60-80 Mw/m² para regiones estables de corteza continental, y hasta 335-350 Mw/m² en regiones de corteza oceánica.

Por tanto, suponiendo que el mecanismo de transmisión de calor en la litosfera es esencialmente por conducción, ya que en la ley de Fourier la conducción es directamente proporcional al negativo del gradiente térmico (dT/dz), se concluye que en la dirección que disminuya la temperatura en la Tierra, mayor será la cantidad del calor transmitido.

Siendo la conductividad térmica, K, el factor de proporcionalidad en esta relación. Aplicando esta conclusión al gradiente geotérmico, que se mide según la dirección vertical z, resulta que a medida que disminuye z (hacia zonas más superficiales de la litosfera) el gradiente térmico dT/dz disminuye, o en otras palabras el flujo térmico J aumenta hacia la superficie terrestre (una cantidad positiva de calor es transferida hacia fuera de la Tierra)

El gradiente geotérmico puede variar de un punto a otro de la superficie de la tierra y, como ya hemos comentado, su valor medio es de 0.02 a 0.04 °C/m. A partir del gradiente geotérmico, multiplicándolo por la conductividad de la roca se obtiene el flujo de calor J.



El gradiente geotérmico estable se dice que ha alcanzado el estado estacionario cuando no varía con el tiempo. En un gradiente de este tipo la temperatura varía en relación exclusivamente con la profundidad. La expresión numérica de una geotermia estable de este tipo, se realiza mediante las series de expansión de Taylor. Así la temperatura a una profundidad cualquiera z es igual a:

$$T_z = T_0 + \frac{dT}{dz}(z - z_0) + \frac{1}{2!} \frac{d^2T}{dz^2}(z - z_0)^2 + \dots + \frac{1}{n!} \frac{d^n T}{dz^n}(z - z_0)^n$$

Siendo $T_0=0$ la temperatura en la superficie terrestre (en °C), y el gradiente geotérmico superficial es dT/dz . Esta expresión se puede poner en función del flujo térmico J sabiendo que $dT/dz = -J/K$.

Si integramos esta ecuación tenemos la expresión que representa al gradiente lineal, o sea;

$$T_z = -\frac{J_0}{K} z + T_0 \quad [3]$$

Por lo que el tercer sumando de la expansión de Taylor, que es una ecuación de segundo grado del gradiente geotérmico sería:

$$\frac{d^2T}{dz^2} = -\frac{J_0}{K} *$$

El perfil de temperatura $T(z)$, solución de esta ecuación, se llama geotermia estable. Para conocer la distribución de temperatura en una zona particular hay que resolver esta ecuación. Como se trata de una ecuación diferencial de segundo orden, se necesitan dos condiciones de contorno (de frontera), que normalmente serán la temperatura y el gradiente geotérmico en la superficie; ya que son los datos que podemos medir.



Si integramos la ecuación anterior para una capa uniforme, tenemos que;

$$\frac{dT}{dz} = -\frac{J_0}{K}z + C_0^*$$

Que aplica a la superficie, $z=0$, resulta que;

$$\frac{dT}{dz} = C_0$$

O sea que, C_0 es el gradiente en la superficie de la capa. Integrando una vez más la ecuación anterior *, se obtiene;

$$T = -\frac{J_0}{2K}z^2 + C_0z + C_1$$

Ecuación que, para las condiciones de la superficie, $z=0$, resulta;

$$T_0 = C_1$$

O sea, que C_1 es igual a la temperatura superficial T_0 y finalmente la expansión de Taylor que representa la variación de la temperatura a una profundidad cualquiera z es igual a;

$$T = -\frac{J_0}{2K}z^2 + C_0z + T_0 \quad [4]$$

Siendo:

- J_0 =flujo térmico medido en la superficie ($3 \cdot 10^{-6} \text{Mw/m}^3$)
- T_0 = temperatura superficial (temperatura ambiente 30°C).
- z = la profundidad considerada.
- C_0 = el Gradiente Geotérmico (0.03°C/m).
- K = la conductividad térmica ($1.5 \text{ Mw/m}^\circ\text{C}$).

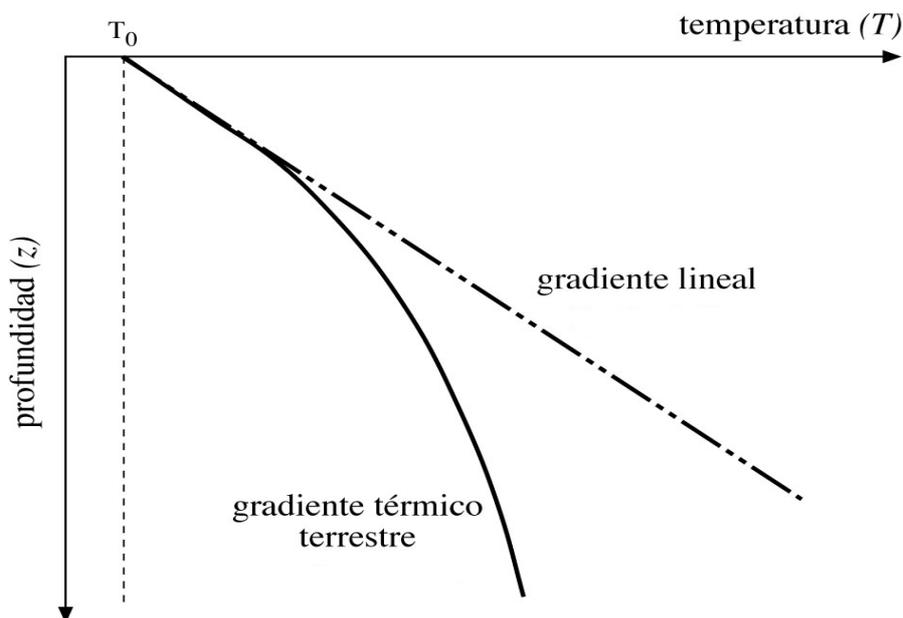


A medida que se incluyen términos en esta ecuación, más nos aproximamos al valor real de la temperatura en el interior de la corteza terrestre.

La ecuación [4] puede utilizarse para calcular la geotermia estable (variación de temperatura) en cualquier situación geológica. En la siguiente tabla se recogen los valores de los diferentes parámetros considerados para el cálculo de una geotermia.

Rocas	Producción radiogénica de calor ($J \times 10^{-6} \text{ Mw/m}^3$)	Conductividad térmica ($K \times \text{Mw/m}^\circ\text{C}$)
Corteza terrestre	3.00	1.5
Granito	2.93 – 2.95	2.93
Basalto	0.56	2.09
Sedimento	1.00	2.50
Rocas sedimentarias	1.30	2.30
Media corteza continental	1.00	2.50
Corteza superior	$2.09 - 2.5e^{(-z/h)}$	2.51
Corteza inferior	0.20	2.10

La figura siguiente muestra una aproximación al gradiente geotérmico real de la Tierra, mediante un gradiente lineal con la profundidad (línea discontinua) como una geotermia estable corregida con la producción radiogénica de calor (línea continua). Para estimar con mayor precisión la T , deben incluirse parámetros que expliquen la variación de J con la profundidad.



INVESTIGACION DE TEMPERATURA DE SUELO EN NICARAGUA:

Las temperaturas del suelo explicadas en esta investigación fueron muestras tomadas a 20m de profundidad en territorio nicaragüense en el departamento de León, a partir del 26 de abril del 2007 con un termómetro *infra - rojo* marca **EXTECH**, aporte que nos brinda el Lic. César Hernández (departamento de Biología UNAN-LEON), reflejadas en el siguiente cuadro:

Horas/días	Temp.°C /lunes	Temp.°C /Martes
6:00 A.M	31	31
12:00 M.D	32	31
6:00 P.M	31	31



Aplicaciones físicas de medición de campo realizada en esta investigación.

Las temperaturas del suelo explicadas en este trabajo investigativo fueron muestras tomadas por una capa con un espesor de 20m de profundidad, con un flujo térmico superficial de $3 \cdot 10^{-6} \text{Mw/m}^3$, de conductividad térmica de la superficie de 1.5Mw/m^2 y se considera que en la superficie de la tierra el gradiente geotérmico es de 0.03°C/m y la temperatura ambiente de 30°C , tendremos que;

Datos:

$$z = 20\text{m}$$

$$J_0 = 3 \cdot 10^{-6} \text{Mw/m}^3$$

$$K = 1.5 \text{Mw/m}^2$$

$$C_0 = 0.03^\circ\text{C/m}$$

$$T_0 = T_{\text{Amb.}} = 30^\circ\text{C}$$

$$T = -\frac{J_0}{2K} z^2 + C_0 z + T_0$$

$$T = -\frac{3 \cdot 10^{-6}}{2 \cdot 1.5} z^2 + 0.03z + 30$$

Con el estudio realizado a una profundidad de 20m resulta que;

$$T = -\frac{3 \cdot 10^{-6}}{2 \cdot 1.5} (20)^2 + (0.03 \cdot 20) + 30$$

$$T = 30.596. ^\circ\text{C}$$

$$T = 31^\circ\text{C}$$



Capítulo 6:

COSTOS DE LAS BOMBAS DE CALOR GEOTERMICAS

Las bombas de calor geotérmicas, son unos de los sistemas de ahorros más eficientes en costes de funcionamiento y de mantenimiento.

En promedio, un sistema de bomba de calor geotérmico cuesta cerca de \$2.500 por cada tonelada de capacidad, (para un tamaño residencial típico de 3 toneladas costaría \$7.500).

Un sistema que usa intercambiadores de calor horizontales costará generalmente menos que un sistema con intercambiadores verticales.

En comparación, con otros sistemas convencionales, como aire acondicionado costarían cerca de \$4.000.

El precio de una instalación geotérmica bien calculada en España dependerá de la zona climática y los m^2 de la vivienda, esta instalación en una vivienda de $200m^2$ ($700m^3$) puede rondar entre 12.000 € en una zona continental con una temperatura de calculo de -5° , y alrededor de 10.000 € en una zona costera con un cálculo base de 0° .

Si comparamos estos precios con los de una instalación de gas sumada a un equipo de aire acondicionado, estos pueden rondar los 13700 € respectivamente, la opción geotérmica es más apetecible.

Sólo en Francia, alrededor del 50 % de las bombas de calor instaladas son geotérmicas.



Equipo y/o sistema	Condiciones de operación	Fabricante o marcas	Costos
Bomba de calor Geotermia(GHP)	Horas anuales de 365 a 90% l año se trabaja 7884 horas	-Westinghouse	Us\$ 2400
		- Mitsubishi	Us\$ 7000
		- Fiat Avip	Us\$ 14000

Estos equipos geotérmicos no queman ningún tipo de combustible para generar calor y al igual que cualquier caldera convencional también dispone de una serie de motores o bombas de circulación que consumen energía eléctrica.

El rendimiento energético de un sistema de climatización, utilizando como fuente de calor el subsuelo a 15 grados, es de como mínimo del 40% calentando y del 60% enfriando. Esto es posible puesto que no se genera todo el calor, sino que la mayor parte sólo se transfiere de una fuente a otra.

La eficiencia de las bombas de calor geotérmica se calcula por su COP (coeficiente de operación) que es el efecto sobre refrigeración y el trabajo realizado. El COP para las bombas de calor geotérmico y los sistemas de intercambio de calor con la tierra genera una relación entre 3 y 4. Esto significa que por cada \$ dólar de energía eléctrica invertido en la operación de sistemas de calentamiento y/o enfriamiento de aire, con nuestro sistema, obtenemos entre \$ 3 ó \$ 4 dólares de ahorro en relación a un sistema diferente.

Este ahorro se genera porque los sistemas de transferencia de energía aprovechan el calentamiento o enfriamiento proveniente de la tierra (1W pagado = 4W obtenidos = 3W gratuitos).³



$$COP_{VERANO} = \frac{Q_{EVAPORADOR}}{W_{COMPRESOR}}$$

$$COP_{INVIERNO} = \frac{Q_{CONDENSADOR}}{W_{COMPRESOR}}$$

$$COP = \frac{Q_{CONDENSADOR} + Q_{EVAPORADOR}}{W_{COMPRESOR}}$$



Ejemplo de instalación de una bomba de calor geotérmica: ⁴

POTENCIA TÉRMICA: 14.3 Kw.

- Casa de 200m² (1400m³) sobre dos niveles, 2 zonas de calefacción.
- Estimación climática para una temperatura base de -5° C.
- Superficie de captación prevista: entre 200m² y 240m².

Radiador €1303

Captador €1585

Generador €2950

Driver €150

Instalación €6 000

TOTAL: €11 988

Estimación de consumo anual (En Francia).

Gasóleo: €879

Propano: €1546

Gas natural: €724

GEOTÉRMICO: €491



Capítulo 7:

DIFERENTES USOS DE LAS BOMBAS DE CALOR GEOTERMICA

Actualmente, con esta tecnología de bombas de calor geotérmica es posible calefaccionar y refrigerar un edificio con una eficiencia muy superior a la que ofrecen los sistemas de climatización convencionales.

Las bombas de calor geotérmicas se pueden:

- ❖ Acoplar en la instalación interior del edificio tanto en calefacción como en refrigeración.
- ❖ Se utilizan para la producción de agua caliente sanitaria,
- ❖ Se emplean en la refrigeración de piscinas,
- ❖ Se pueden adaptar para enfriamientos de procesos industriales,
- ❖ Se puede usar para derretir hielo o nieve,
- ❖ y, en general, aprovechar para todos aquellos procesos en los que se requiera calor o frío.

Las características técnicas de la instalación de bombas de calor geotérmico permiten su adaptación a distintas tipologías de edificios, destacando:

- ❖ Hospitales
- ❖ Colegios
- ❖ Hoteles
- ❖ Edificios públicos
- ❖ Viviendas

Los sistemas de bomba de calor geotérmica ya están muy estables en países como Estados Unidos, Suecia, Japón, Alemania, Austria, Suiza y Francia. Además, en estos países el número de estas aplicaciones crece anualmente debido,



principalmente, a su buen funcionamiento y al ahorro energético que garantizan.

Los estudios demuestran que los sistemas geotérmicos proporcionan a los consumidores el mayor ahorro posible en los costos. Usted ahorrará hasta el 50 % o más en las facturas de calefacción y refrigeración debido a un sistema que es entre tres y cuatro veces más eficiente que su sistema convencional.

De este modo, aunque un sistema geotérmico cueste más que un sistema convencional, los estudios demuestran que el ahorro en los costos de energía permite recuperar la diferencia en un plazo de cinco a ocho años.

7.1 Usos domésticos:

Producción de Agua Caliente Sanitaria (A. C. S.)

La Bomba de Calor agua-agua también puede utilizarse para la producción de agua caliente sanitaria. Aquí el agua es el foco caliente o sumidero de calor. En primer lugar el COP estacional en este caso es superior al de la aplicación para climatización, ya que su utilización tiene lugar durante todo el año.

En segundo lugar el COP práctico en verano es muy elevado, como consecuencia de las altas temperaturas del aire exterior. Por último dado que el punto de demanda de agua caliente sanitaria tiene lugar a primeras horas de la mañana resulta económica la producción y acumulación de agua caliente sanitaria mediante Bomba de Calor geotérmica durante la noche acogiéndonos a la tarifa nocturna.

El recuperador de gases calientes se monta en la descarga del compresor quedando en serie con el condensador y trabajando a temperaturas medias



aproximadas del fluido frigorífico de 70°C en la entrada y 50°C a la salida del mismo, por lo que puede producir agua a temperaturas en la salida en torno a 55°C.

Usted nunca se quedará sin agua caliente. El Sistema de intercambiador de calor nunca lo dejará sin agua caliente cuando es tiempo de tomar un baño, lavar los platos o su ropa. En verano su agua caliente es virtualmente gratis, ya que se produce con el exceso de calor generado en su casa cuando el sistema está en el ciclo de enfriamiento.

Para la producción y acumulación de ACS se cuenta con dos depósitos de acero inoxidable de doble camisa de 220 litros de capacidad cada uno de ellos y que incorporan vías a resistencias eléctricas de 2Kw para ser utilizadas periódicamente para dar un calentamiento a 70° C como prevención de la legionella (Los organismos de la legionella se pueden encontrar en diversos tipos de sistemas de agua.

No obstante, la bacteria se reproduce en grandes cantidades en las aguas calientes y estancadas (32°- 40° C), como las de ciertos sistemas de conducción de agua y tanques de agua caliente, torres de refrigeración y evaporadores condensativos de grandes sistemas de aire acondicionado y en los remolinos de agua de los balnearios) y como elemento de seguridad en caso de que la bomba de calor quedara fuera de servicio.

El circuito primario de ambos depósitos está conectado al intercambiador-recuperador de gases calientes de la Bomba de Calor geotérmica, existiendo también la posibilidad de conexión al circuito principal, de forma que en temporadas que no es necesaria la climatización (otoño y primavera) toda la potencia calorífica (recuperador más condensador) se utiliza para la producción de ACS dentro del periodo de tarifación nocturna.



Con este sistema está asegurado el abastecimiento de agua caliente a bañeras de cuartos, de baños y a las duchas, contando estos puntos de consumo con grifos termostáticos. Además se suministra agua caliente a la ducha junto a la piscina, al lavavajillas y opcionalmente a la lavadora, y por supuesto, al fregadero.^{5,9}



7.2 Usos comerciales:

Para usos comerciales las bombas de calor geotérmico tiene diferentes aplicaciones en climatización.

Climatización del agua de la piscina:

En el mismo circuito primario de recuperador de calor utilizado para la producción de ACS, se la colocado un intercambiador de calor para que opcionalmente se pueda calentar el agua de la piscina al aire libre, con el objetivo de alargar la temporada de utilización de la misma en aquellos días de final de la primavera y principios del otoño en los que aún sigue siendo necesaria la refrigeración.

Recordar que con este tipo de máquina de bomba de calor agua-agua siempre que necesitemos refrigeración tenemos la posibilidad de utilizar la potencia calorífica de



forma gratuita para la producción de ACS (en prioridad) y calentamiento del agua de la piscina.

Ejemplo de climatización de una piscina.

Ubicación: Club de Campo Villa de Madrid (Madrid).

Sector: Piscina.

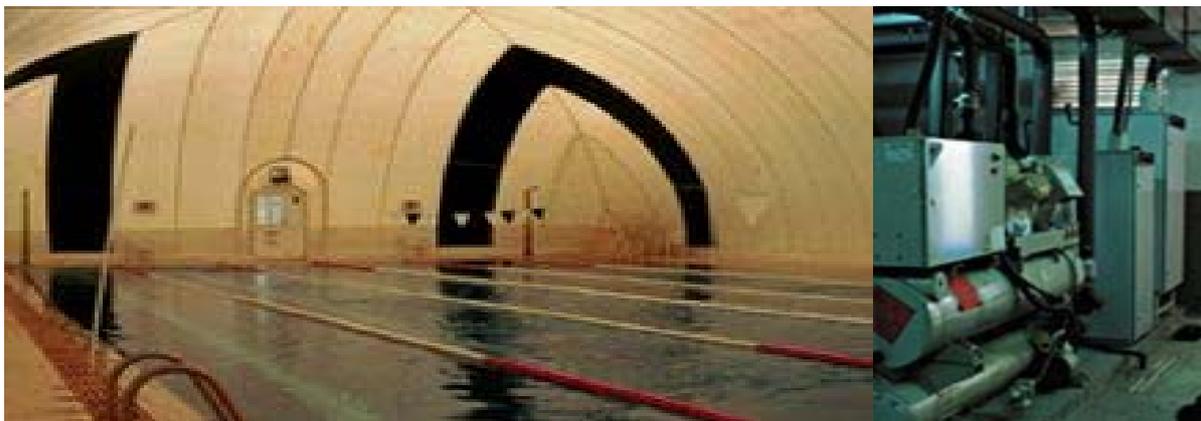
Equipo: Bomba de calor agua-agua.

Potencia calorífica: 150,5 kW.

Potencia frigorífica: 116,4 kW.

Descripción: Climatización de piscina mediante Bomba de Calor agua-agua, que permite la deshumidificación (extraer grandes volúmenes de humedad del ambiente) del vapor de la piscina, utilizando la recuperación de calor para los distintos puntos de calentamiento de la instalación.

La climatización mediante una solución convencional, obligaría a recurrir a importantes caudales de renovación de aire para eliminar el vapor producido por el agua de la piscina, que se expulsaría al exterior, lo que representaría una importante pérdida de energía, situación que no se produce utilizando el sistema con Bomba de Calor geotérmico.





En muchas viviendas unifamiliares de Europa, Bombas de Calor agua-agua con aprovechamiento de energía geotérmica, y utilización en el interior de suelo radiante se están empleando desde hace mucho tiempo porque son instalaciones que proporcionan bienestar, son de alta eficiencia energética, y bajo nivel sonoro en su funcionamiento.

La bomba de calor agua-agua de esta instalación que se ha descrito al incorporar las novedades de recuperación de gases calientes, regulación del punto de consigna en función de la temperatura exterior y grupo hidráulico completo, permite resultados espectaculares en cuanto eficiencia energética y además simplifica en gran medida los elementos de control y regulación y el montaje mecánico en obra.



Aprovechamiento de la temperatura de la tierra por medio de una bomba de calor geotérmico en un hotel.

Ubicación: San Juan de Beleño (Asturias).

Sector: Hotelero.

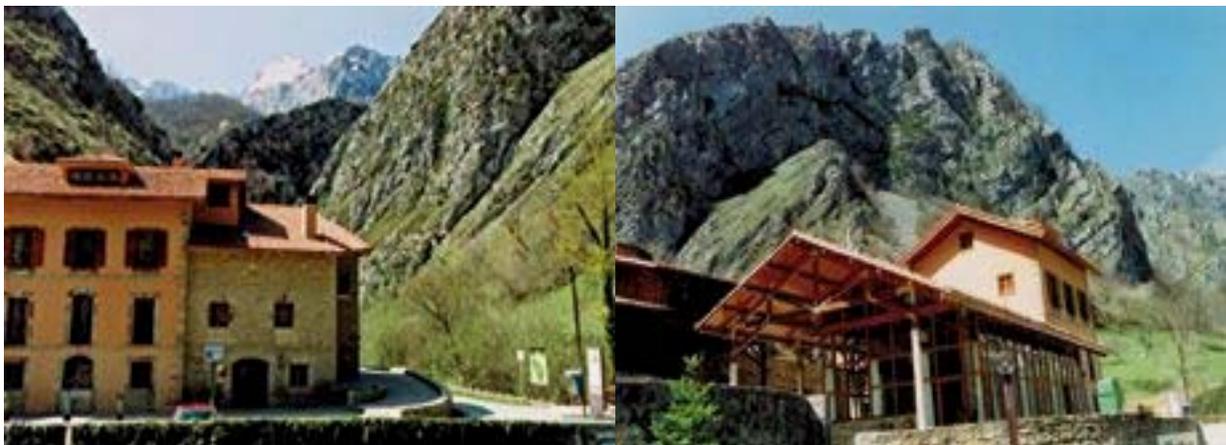
Equipo: Bomba de calor agua-agua.

Potencia eléctrica instalada: 16,5 kW.



Descripción: Antiguo balneario de aguas termales, restaurado y convertido en un hotel con catorce habitaciones. El periodo de utilización es de octubre a mayo. Lleva utilizándose desde el año 1989. La calefacción del recinto y habitaciones es mediante agua caliente termal.

En origen surge a 30°C y posteriormente se eleva a 50° C mediante una Bomba de Calor agua-agua. El sistema de calefacción es por suelo radiante en el comedor y lugares comunes.



7.3 Usos industriales:

Para usos industriales los sistemas geotérmicos de bombas de calor tienen diferentes aplicaciones por ejemplo para calefaccionar y refrigerar a diferentes temperaturas algunos productos energéticos necesarios para la economía de muchos países, como es el proceso de pasteurización.

Pasteurización:

Para poder adaptar una bomba de calor geotérmico en el proceso de pasterización solo es necesario buscar el equipo geotérmico con la potencia adecuada.



Intercambiadores de calor para pasteurización de GEA Liquid Processing - utilizando un intercambiador de calor GEA Ecoflex a placas (PHE).

El proceso de pasteurización fue llamado así luego que Luís Pasteur descubriera que organismos contaminantes productores de la enfermedad de los vinos podían ser eliminados aplicando temperatura. Luego se empleó a otros productos para lograr su conservación.

Es común la pasteurización de la leche que consiste en la aplicación de diferentes temperaturas y tiempos para la destrucción de microorganismos patógenos, y la mayoría de los saprofitos presentes en el producto, y a partir de ese proceso, garantizar la calidad microbiológica y evitar su degradación.



Un pequeño intercambiador de calor a placas, utilizado en un pequeño sistema de pasteurización de lácteos



Sistema	Temperatura °C	Duración del calentamiento	Efecto germicida en %
Pasteurización baja o lenta	62 - 65	30 minutos	95
Pasteurización rápida	71 - 74	15 minutos	99,5
Pasteurización alta	85	1 a 2 minutos	99,9

Ejemplo: Zumo (jugo de manzana) en América del Sur.

Descripción del producto final y uso al que se destina

Nombre del producto	Jugo de manzana
Descripción	Pasteurizado a 90°C durante 2 minutos





Pasteurización de la miel:

Normalmente se somete a la miel a un temperatura térmica entre (78 - 82°), (2 - 3 minutos), que destruye la mayor parte de las estructuras cristalinas iniciales que favorecen la total o parcial cristalización de la miel, permitiendo que ésta permanezca líquida durante más tiempo.



Pasteurización de las botellas plásticas:

Las botellas plásticas tiene que sobrevivir también a las temperaturas de pasteurización, de alrededor de 172° F (78° C) durante 15 minutos que, de acuerdo con reportes técnicos.





Capítulo 8:

REFRIGERANTES DE LAS BOMBAS DE CALOR GEOTERMICO

Refrigerantes fluorados:

Los refrigerantes fluorados siempre llevan la designación "R" seguido de un número, por ejemplo: R11, R122 R22 y R502. Muy a menudo también se emplean sus nombres comerciales.

Los refrigerantes fluorados todos tienen las siguientes características:

- Vapor sin olor y no es irritante.
- No son venenosos, excepto en presencia del fuego pueden dar ácido y fosgeno que son venenosos.
- No son corrosivos.
- No son inflamables ni explosivos.

En la actualidad se utilizan refrigerantes de nueva generación como el "R-407-C", que no tiene cloro y está hecho principalmente de HFC's e hidrocarburos. Los HFC's son fluidos refrigerantes sin cloro, y por tanto sin efecto sobre la reducción de la capa de ozono.

Los más utilizados en las Bombas de Calor Geotérmica son los líquidos R-134a, R-152a, R-32, R-125 y R-143a y cabe destacar que el R-407-c presenta un 40% de R-134-a (ver tabla de abajo). ^{6,7}



Refrigerante	Contenido cloro	Factor destrucción (ODP)	Vida media estimada (años)
R-11 (CFC)	77.4%	1	60
R-12 (CFC)	58.6%	0.95	130
R-22 (HCFC)	41%	0.05	15
R-134-a (HFC)	0	0	16

El R-134a es bastante similar al R-12 en lo que se refiere a sus propiedades termodinámicas, y se contempla como un buen sustituto de este, tanto para la fabricación de nuevas bombas como para el llenado de circuitos de bombas existentes. Con la sustitución de refrigerante se pierde eficacia pero el COP no se reduce significativamente.

El R-152a se emplea principalmente en mezclas. Se puede utilizar sólo en pequeñas bombas con poca carga de refrigerante debido a su inflamabilidad.

R-22 (Monoclorodifluormetano Fórmula química CHClF_2):

El R22 es el gas refrigerante más utilizado actualmente en el sector del aire acondicionado, tanto para instalaciones de tipo industrial como domésticas, aunque está prohibido su distribución por ser altamente perjudicial para la capa de ozono.

Los sustitutos del R22 deberán cumplir ciertas características:

- No dañar la capa de ozono.
- Tener un bajo efecto invernadero.
- No deberán ser tóxicos, ni inflamables.
- Deberán ser estables en las condiciones normales.
- Deberán ser eficientes energéticamente.



Los candidatos más importantes son: el R410A, R407C y R134a.

El R-125 y el R-143 tienen propiedades bastante similares a las del R-502 y R-22. Son principalmente utilizados como componentes en mezclas ternarias reemplazando al R-502 y al R-22. Sin embargo su acción sobre el efecto invernadero parece ser tres veces superior al del R-143^a.

El R-227 es una alternativa al R-114, mientras que el R-254ca y R-356 son considerados como sustitutos para el R-11 en enfriadoras y del R-114 en Bombas de Calor Geotérmicas de alta temperatura.

Mezclas:

Las mezclas constituyen una importante posibilidad para la sustitución de los CFC's, tanto para su utilización en Bombas de Calor Geotérmicas como en las ya existentes. Una mezcla está constituida por dos o más fluidos refrigerantes y puede ser:

- Zeotrópica
- Azeotrópica
- Cuasi-zeotrópica

Una azeotrópica es una mezcla líquida de dos o más componentes que poseen un único punto de ebullición constante y fijo, y que al pasar al estado vapor se comporta como un líquido puro, o sea como si fuese un solo componente.

Las mezclas azeotrópicas evaporan y condensan a temperatura constante, mientras que las otras lo hacen en un rango de temperatura (deslizamiento). El deslizamiento puede ser utilizado para mejorar la eficiencia pero requiere la modificación del equipo.



La ventaja de las mezclas es que pueden variar sus propiedades en función de las necesidades de cada aplicación variando la proporción entre los componentes.

Las mezclas no azeotrópicas presentan problemas por diferente volatilidad de sus componentes. En caso de fugas no se puede saber que cantidad de cada uno de los refrigerantes que componen la mezcla se ha perdido por lo que es necesario llenar el circuito de nuevo con la carga total de refrigerante.

La nueva generación de mezclas para reemplazar al R-502 y R-22 no tienen cloro y están hechas principalmente de HFC's e hidrocarburos.

R407C denominación del gas refrigerante (en realidad mezcla de tres gases) que sustituye al R22. Es una mezcla ternaria no azeotrópica compuesta de R32 (23%), R125 (25%) y R134a (52%). Químicamente es estable, tiene buenas propiedades termodinámicas, bajo impacto ambiental y muy baja toxicidad.

Refrigerante R409A:

Es una mezcla sobre la base de HCFC: R22, R124 y R142. Las proporciones de masa de los componentes respectivamente 60; 25 y 15. La temperatura de ebullición a las condiciones atmosféricas es -34°C . La masa molecular es 97,4 gm/mole. El PDO = 0,05. Es un refrigerante no inflamable y no es tóxico, es compatible con aceites minerales y alquilbencenos. Es empleado para la readaptación de sistemas de equipos de transporte comerciales móviles y refrigeradores domésticos, equipos de refrigeración industrial con compresores de pistón y de hélice.



Refrigerante C10M1:

El refrigerante C10M1 (2412-003-32837395-98), desarrollado por la compañía "ASTOR" y producido bajo registro de la marca ASTRONTM 12, es una mezcla de tres componentes sobre la base de los HCFCs R22/R21/R142b, teniendo un periodo limitado de servicio de vida. La mezcla C10M1 es empleada para la readaptación de los sistemas de refrigeración operando con R12.

Se han producido las mezclas de dos marcas (A y B), diferenciadas por las proporciones en masa de los componentes: en la mezcla C10M1 de la clase A - las proporciones en masa de R22, R21 y R142b son respectivamente 65; 5 y 30%; en la mezcla C10M1 de la clase B son 65; 15 - 20%.

Los refrigerantes C10M1 no son tóxicos ni combustibles, y por sus características químico-físicas, termodinámicas y operacionales básicas, están muy próximas a las del refrigerante R12.

Las ventajas del refrigerante C10M1 (ASTRONTM 12) son las siguientes:

- Comparativamente bajos precios.
- El refrigerante puede ser transportado en contenedores y vagones designados para la transportación del R12.
- La sustitución del R12 por las mezclas C10M1 no exigen de cualquier modernización o alteración del equipo de refrigeración, ni de ningún cambio en el aceite del compresor (en el equipo de refrigeración que opera con R12 se usa el aceite mineral;
- El cambio por el refrigerante C10M1 no supone preparación adicional para operar el sistema de refrigeración, ni un entrenamiento avanzado del personal, para el funcionamiento del equipo.



La tecnología de operación del equipo de refrigeración al cambiar el R12 por las mezclas C10M1 ha sido desarrollada y optimizada en el proceso de operación experimental del equipo correspondiente. El requerimiento obligatorio para el uso de las mezclas está dado por la carga del equipo con un refrigerante en la fase líquida. En el caso de escape del 30-35 % del refrigerante C10M1 fuera del sistema, se debe rellenar con la mezcla de la misma composición.

FACTORES IMPORTANTES DE LOS REFRIGERANTES.

- el refrigerante no debe ser venenoso: cuando no se cumple debe de tener un olor característico y un color de forma que una fuga puede observarse rápidamente.
- El refrigerante no debe ser inflamable o explosivo. Cuando ésta condición no se cumpla han de observarse las mismas precauciones que se indican en el punto primero.
- El refrigerante debe tener una presión razonable: preferentemente un poco más alta que la presión atmosférica a la temperatura requerida que debe mantenerse en el evaporador.
- Se requiere en el refrigerante un calor de evaporación relativamente alto para que la transmisión de calor se lleve a cabo con el mínimo posible de refrigerante en circulación.
- El vapor no debe tener un volumen específico demasiado alto puesto que esto es determinante de la carrera del compresor a una determinada producción de frío.



- El refrigerante necesariamente ha de ser estable a las temperaturas y presiones normales en una planta de refrigeración.
- El refrigerante no debe ser corrosivo y necesariamente tanto en forma líquida o vapor no atacará a los materiales normales de diseño en una planta frigorífica o bomba de calor geotérmica.
- El refrigerante necesariamente no debe destruir al aceite de lubricación. El refrigerante necesariamente ha de ser fácil. de adquirir y manipular.¹⁰

PROPIEDADES TERMICAS Y FISICAS DE LOS REFRIGERANTES:

Número ASHRAE	Composición(en peso)	Efecto destrucción capa de Ozono	Influencia en efecto invernadero	Punto de ebullición normal	Capacidad de enfriamiento (-5/+45°C)	Nombre comercial	Observaciones
R-22	CHCLF2	0,05	0,35	-40,8	100%		HCFC
R-407c	R32/R-125/R134a23% / 25% / 52%	0	0,29	-43,6 / -36,8	97%	SUVA9000 KLEA66 AZ20	Zeotrópico
R-410a	R32 / R125	0	0,41	-50,5	141%	AZ20	Cuasi-azeotrópico
R-410b	R-32 / R-125 45% / 55%	0	0,41	-51,3 / -51,2	137%	SUVA9100	Cuasi-azeotrópico
R-507	R 125 / R 143a 50 / 50	0	0,98	-46,7	96%	AZ50	Azeotrópico
R-717	NH3	0	0	-33,6	112%	amoniac	Inflamable y tóxico



RECOMENDACIONES DE LAS BOMBAS DE CALOR GEOTÉRMICAS

Dado el estudio y observaciones, para una excelente instalación de una Bomba de calor Geotérmica damos a continuación las siguientes recomendaciones y pasos importantes que debemos de tener en cuenta:

1. Evaluación de tu sitio para una bomba de calor geotérmica:

Por debajo de la superficie de la tierra las temperaturas son relativamente constantes a 31°C. En los Estados Unidos, las bombas de calor geotérmicas se pueden utilizar con eficacia casi dondequiera.

Sin embargo, las características geológicas e hidrológicas, y espacios específicos de la superficie de la tierra ayudarán al instalador particular del sistema a determinar el mejor tipo de intercambiador de calor de tierra para tu sitio:

2. Geología:

Los factores tales como la composición y las características del suelo y roca (que pueden afectar la transferencia térmica) requieren la consideración al diseñar un intercambiador de calor para instalarse en la tierra.

Por ejemplo, el suelo con buenas características de transferencia térmica requiere menos tubería recolectar cierta cantidad de calor.

La cantidad de suelo disponible contribuye hacer una mejor instalación del sistema, pueden instalarse tuberías verticales en vez de tuberías horizontales en la tierra.



3. Hidrología:

La disponibilidad del agua subterránea o superficial también es importante mencionar qué tipo de intercambiador de calor va utilizar en la tierra.

Dependiendo de factores tales como profundidad, volumen, y calidad del agua, los cuerpos del agua superficial se pueden utilizar como fuente del agua para un sistema de anillo abierto, o como depósito para las bobinas de instalar tubos en un sistema a circuito cerrado.

El agua subterránea se puede también utilizar como fuente para los sistemas de anillo abierto, con tal que la calidad del agua sea conveniente y todas las regulaciones de la descarga del agua subterránea son en m.

Antes de que compres un sistema de anillo abierto, desearás estar seguro que tu surtidor/instalador del sistema ha investigado completamente la hidrología de tu sitio, así que puedes evitar problemas potenciales tales como agotamiento del acuífero y contaminación del agua subterránea.

Los líquidos del anticongelante circulan con actitud a circuito cerrado de los sistemas generalmente poco a ningún peligro para el medio ambiente.

4. Disponibilidad de la tierra:

Las tuberías enterradas en la tierra horizontales (generalmente es la más económica) se utilizan típicamente para los edificios nuevamente construidos con la suficiente disponibilidad de tierra.

Las instalaciones verticales o instalaciones horizontales más compactas de "Slinking" son de uso frecuente para los



edificios existentes porque reducen al mínimo el disturbio al paisaje.

Consideramos las siguientes interrogantes que pueden surgir en el cliente a la hora de invertir en un sistema geotérmico de esta magnitud:

5. Instalación de las bombas de calor geotérmicas:

Debido a el conocimiento técnico y el equipo necesitados para instalar correctamente la tubería, para una instalación del sistema de GHP no es un proyecto del hágalo usted mismo. Los instaladores deben ser certificados y ser experimentados.

La bomba de calor geotérmica al intercambiar calor con la corteza de la tierra, tiene un rendimiento muy alto no dependiendo de la temperatura exterior, lo cual hace que el sistema sea muy eficiente técnicamente.



6. Impacto visual de tecnología bomba geotérmica:

Las bombas de calor geotérmicas son fácilmente integradas en las comunidades con bajo impacto visual, abriendo una posibilidad de un futuro mejor para todos. Las bombas de calor geotérmicas tienen los costes más bajos, en el ciclo de la vida para la calefacción y refrigeración del



espacio, la calefacción de agua, y el acondicionamiento del aire.

La instalación de un sistema de bomba geotérmica puede ser una medida inteligente establecida al ahorro de dinero y energía. Como hemos explicado estos equipos geotérmicos no queman ningún tipo de combustible para generar calor.

7. ¿Cuáles son los principales beneficios de la casa / edificio propietario?

Los propietarios disfrutan de facturas de servicios públicos de un 25% a un 70% menor que con los sistemas convencionales, menor mantenimiento, y los mayores niveles de confort, durante todo el año; calefacción, refrigeración, deshumidificación y también soluciona el calentamiento del agua doméstica, de una manera limpia, ecológica y económica.

Si bien los aspectos medioambientales y económicos son los que más pesan a la hora de decidir la inversión, estos aspectos son secundarios a la hora de valorar la satisfacción como usuario del sistema, pasando a un primer plano el aspecto del confort.

8. ¿Cuáles son las ventajas para el medio ambiente?

Según los datos facilitados por los EE.UU. del Departamento de Energía (DOE) de la Oficina de Tecnologías de aprovechamiento de la energía geotérmica, casi el 40% de todos los EE.UU. las emisiones de dióxido de carbono (CO₂) son el resultado de la utilización de energía para calentar, enfriar y proporcionar agua caliente para los edificios. Es un sistema altamente ecológico porque no genera CO₂, puesto que no realiza ninguna combustión.



9. ¿Qué grado de aceptación tiene una bomba de calor geotérmica?

Hay más de un millón de instalaciones en los Estados Unidos hoy en día. Aunque se trata de un porcentaje muy pequeño del total del mercado de HVAC, el número de personas que han optado por instalar una bomba de calor geotérmica está creciendo rápidamente (alrededor de 20% cada año) como aprender más sobre la tecnología.

10. ¿Sistema geotérmico utilizado principalmente en su hogar?

Si, muchos hogares han sido equipados con sistema geotérmico, un gran número de empresas comerciales, incluidas las fábricas, los comercios, los edificios de oficinas y las escuelas también utilizan sistema geotérmico para ahorrar energía y proteger el medio ambiente.

De acuerdo con los EE.UU. Agencia de Protección Ambiental (EPA), las escuelas son un lugar especialmente atractivo para el uso de la tecnología. En todo el país, las escuelas están utilizando sistema geotérmico, ahora están ahorrando un estimado de \$ 25, 000,000 en los costos de la energía, que se puede utilizar en la educación para un mejor equipo y más maestros.

La agencia de protección medio ambiental (EPA) ha estimado que podría reducir las importaciones de petróleo por 61 millones de barriles al año, y ofrecer los mismos beneficios ambientales como la plantación de 8 millones de acres de árboles o la conversión de casi 4 millones de automóviles para los vehículos de emisión cero.



11. ¿Al trabajar con sistema geotérmico es muy caliente o muy frío, el clima?

Sí, la tecnología con sistema geotérmico puede ser usada en cualquier parte del país. ¿Por qué? Debido a que las transferencias de calor y de la tierra, que se mantiene en una temperatura relativamente constante, en lugar de la del aire, donde las temperaturas pueden variar mucho.

12. ¿Es muy cara la instalación de la climatización geotérmica?

Normalmente, supone una inversión inicial mayor que otros sistemas de calefacción y refrigeración, pero su mayor eficacia hace que la inversión se recupere en un periodo de 3-5 años. Los sistemas geotérmicos son una buena inversión. La cantidad que se ahorra cada mes a los dueños de casa en los costos de la energía es más que suficiente para compensar su mayor costo de instalación.

Por otra parte, la eficiencia energética de que el sistema añade valor a la casa. La Asociación Nacional de Agencias de Evaluación se basa en el Diario para ayudarle a determinar el valor total de su hogar.

13. ¿Cuánto tiempo se necesita para que mi sistema pueda pagar por sí misma?

La respuesta a esta pregunta depende de lo que habría costado si se opera otro sistema de calefacción y refrigeración, y cuánto más bajos serán sus cuentas cuando usted está usando el sistema geotérmico. Usted debe preguntar a su contratista para darle un estimado de análisis del coste del ciclo de vida, que debe decirle a usted acerca de cuánto le costará a operar el sistema y cuánto tiempo tomará para los ahorros para cubrir el costo del sistema completo.



14. ¿Qué vida útil tiene el equipamiento de la climatización geotérmica?

El único elemento que tiene un desgaste en la bomba de calor geotérmica es el compresor, que tiene una vida útil muy larga y que es muy fácil de reemplazar por el servicio técnico correspondiente.

Las bombas de calor geotérmicas tienen una vida útil media alrededor de los 20 años y el intercambiador con el subsuelo, por las características de los materiales utilizados, tiene una vida útil de 50 años.

15. ¿Qué tamaño de sistema geotérmico necesito?

El tamaño del sistema depende del diseño de su casa o edificio. Al igual que con la pregunta anteriores acerca de la estimación de los costos, las preguntas son contestadas mejor por un contratista local que puede tener en contexto todas las variables para una instalación.

16. ¿Cuál es la mejor marca en el mercado?

No podemos recomendar una marca o fabricante sobre otro, pero sin duda puede llamar y hacer preguntas sobre quiénes son, qué hacen y qué pueden hacer para satisfacer sus necesidades.⁸



ANEXO



GLOSARIO

APENDICE DE TERMINOS DE BOMBA DE CALOR GEOTERMICA:

Lo siguiente tiene la intención de proporcionar una lista adecuada de palabras para referencia. No es un glosario completo y las definiciones se han conservado tan breves como ha sido posible, congruentes con la precisión.

AMBIENTE: La condición natural del medio ambiente en cualquier momento.

ALMACENAMIENTO DE CALOR: dispositivo o medio que absorbe calor y lo guarda con miras a usarlo posteriormente.

AGUA SUBTERRÁNEA: Se denomina agua subterránea al total del agua que se ha infiltrado debajo de la superficie terrestre. Incluye las corrientes subterráneas y el agua de los poros y grietas de las rocas de la corteza terrestre.

ACUÍFERO: Un acuífero es una capa rocosa subterránea, por lo general porosa y permeable, donde se almacenan y fluyen las aguas subterráneas que pueden ser aprovechadas por los manantiales y extraídas por los pozos. La lluvia se infiltra en el suelo debido a la gravedad y llega hasta el nivel freático, por debajo del cual las aguas subterráneas saturan y rellenan todos los minúsculos espacios de las rocas.

AZEOTROPO: Un azeotropo es una mezcla líquida de dos o mas componentes que poseen un único punto de ebullición constante y fijo, y que al pasar el estado vapor se comporta como un líquido puro, o sea si fuese un solo componente.

BOMBA DE CALOR: dispositivo eléctrico que extrae el calor disponible de un área (la fuente de calor) y lo transfiere a



otra (el disipador térmico) para calentar o enfriar un espacio interior o para extraer la energía calorífica de un fluido.

CORTEZA TERRESTRE: La corteza terrestre es la capa rígida más externa de la Tierra, en comparación con las demás capas concéntricas, es la más delgada y su espesor varía entre los 20-40km debajo de los continentes (corteza continental) y los 6-15km debajo de los océanos (corteza oceánica). La corteza continental (sial) o externa está formada principalmente de granito y rocas de composición química similar. La corteza oceánica (sima) o interna está formada fundamentalmente por basalto.

CALOR: forma de energía térmica producida por combustión, reacción química, fricción o movimiento de la electricidad. Como condición termodinámica, el calor, a presión constante, es igual a energía interna o intrínseca más la presión por el volumen.

CONDENSACIÓN: el proceso en que el agua del aire pasa de vapor a líquido debido a un cambio de temperatura o presión; se produce cuando el vapor de agua alcanza el punto de rocío (punto de condensación); también se utiliza para expresar la existencia de agua en estado líquido sobre una superficie.

CONDENSADO: el líquido resultante de que el vapor de agua entre en contacto con una superficie fría; también es el líquido que resulta al enfriar o despresurizar un fluido de trabajo vaporizado (como un refrigerante).

CONDUCCIÓN: la transferencia de calor a través de un material por medio de la energía cinética de partícula a partícula; el flujo de calor entre dos materiales a distinta temperatura y en contacto físico directo.

CONDUCTIVIDAD (TÉRMICA): constante positiva, k , que es una propiedad de una sustancia y se utiliza para calcular



los coeficientes de transferencia de calor de los materiales. Es la cantidad de calor que circula por un área especificada y el espesor de un material durante un tiempo especificado, cuando hay una diferencia de temperatura de un grado entre las superficies del material.

CONVECCIÓN: la transferencia de calor por medio de las corrientes de aire.

CONDUCTO(S): son tubos redondos o rectangulares, generalmente de lámina metálica, fibra de vidrio o un compuesto flexible de plástico y alambre, ubicados dentro de una pared, piso y cielo raso, que distribuyen en las viviendas el aire calentado o enfriado.

CICLO: en la corriente alterna, la corriente se incrementa de cero potencial o voltaje a un máximo en un sentido, vuelve a cero y luego a un potencial o voltaje máximo en el otro sentido. La cantidad de ciclos completados por segundo determina la frecuencia de la corriente; en el estándar estadounidense, la corriente alterna es de 60 ciclos.

CICLO ABIERTO: el típico ciclo sin condensación, propio de la máquina de vapor.

CICLO CERRADO: sistema en el cual se utiliza un fluido de trabajo una y otra vez sin introducir fluido nuevo, como en un sistema hidrónico de calefacción o un sistema de refrigeración mecánico.

CICLO FRIGORÍFICO: El ciclo completo de las etapas (evaporación y condensación) de enfriamiento o del refrigerante.

DIÓXIDO DE CARBONO: Anhídrido carbónico. Gas pesado incoloro que es el cuarto más abundante en el aire seco de la atmósfera, comprende el 0.033% del total.



DORSAL OCEÁNICA: también cordillera central oceánica, término que designa las extensas cadenas montañosas submarinas con actividad volcánica, normalmente situadas en las zonas centrales de los grandes océanos.

ENERGÍA: La energía se define como todo lo que es capaz de convertirse en trabajo, o de ser producido a partir del trabajo, es un elemento fundamental para la vida.

GEOTÉRMICO: Relativo al calor interior de la Tierra.

GRADIENTE GEOTÉRMICO: El valor del aumento de temperatura en la tierra como una función de la profundidad. La temperatura incrementa a un promedio de $0.03^{\circ}\text{C}/\text{m}$ que se descende.

IMPACTO AMBIENTAL: Se denomina impacto ambiental a las consecuencias provocadas por cualquier acción que modifique las condiciones de subsistencia o de sustentabilidad de un ecosistema, parte de él o de los individuos que lo componen.

INTERCAMBIADOR DE CALOR: Un dispositivo para transferir la energía térmica de un fluido a otro. Un intercambiador de calor puede ser de diversas formas y tamaños y usualmente esta diseñado para realizar una función específica.

MICROORGANISMO: son organismos vivos (bacterias, virus, hongos, parásitos) que sólo se pueden ver a través de un microscopio.

MANTO INFERIOR: El manto inferior de la Tierra tiene unos 2.200 km de espesor. A pesar de las elevadas temperaturas, esta parte del manto es sólida, debido a las tremendas presiones existentes que impiden la fusión del material rocoso.



MANTO SUPERIOR: El manto superior de la Tierra tiene algo más de 600 km de espesor y está formado por dos capas diferenciadas. Directamente debajo de la corteza terrestre encontramos una capa sólida que, conjuntamente con aquélla, constituye la litosfera, que forma las placas tectónicas de la Tierra. Por debajo de la litosfera está la astenosfera, donde las rocas están semifundidas y fluyen creando corrientes de convección, que son las que mueven las placas tectónicas situadas encima.

NÚCLEO INTERNO: El núcleo interno de la Tierra es la parte más profunda del planeta y tiene unos 1600 km de espesor. Está constituido por hierro y níquel sólidos. Las temperaturas del núcleo interno pueden alcanzar los 5500° C.

NÚCLEO EXTERNO: El núcleo externo de la Tierra tiene un espesor aproximado de 1.800 km y tiene una temperatura muy elevada. Es más bien líquido y está compuesto de hierro y níquel fundidos. Este material líquido es el que ayuda a generar el campo magnético de la Tierra.

POZO: Un pozo es un profundo orificio que se ha perforado en la tierra para extraer agua, petróleo o gas.

PASTEURIZACIÓN: El proceso de pasteurización fue llamado así luego que Luís Pasteur descubriera que organismos contaminantes productores de la enfermedad de los vinos podían ser eliminados aplicando temperatura.

PATÓGENO: Cualquier organismo que puede causar enfermedades o iniciar un proceso patológico.

PROCESO: Un proceso es la serie de estados por los cuales el sistema pasa cuando sufre un cambio.



PROCESO ADIABÁTICO: Proceso durante el que no entra ni sale energía en forma de calor a un sistema que sufre el cambio de estado especificado.

PROCESO REVERSIBLE: Es aquel que se lleva a cabo de manera tal que el sistema y todos sus alrededores pueden regresar a sus estados iniciales efectuando el proceso inverso.

REVERSIBILIDAD: Se dice que un proceso en un sistema reversible cuando el sistema puede recorrer los mismos estados intermedios del proceso en sentido inverso. No se debe confundir el proceso reversible con el proceso cíclico. Un proceso cíclico puede ser reversible cuando se puede invertir el sentido de cada paso del mismo y pasar por los mismos estados que existen en el proceso original. También hay ciclos irreversibles.

REFRIGERACION: La refrigeración es el proceso de producir frío o, más precisamente, de extraer calor puesto que, a diferencia del calor, el frío no se puede producir. Tampoco se puede convertir el calor en otra energía para conseguir energía y frío.

REFRIGERANTE: Fluido de trabajo en un ciclo termodinámico invertido.

SISTEMAS ABIERTOS: Son los sistemas más comunes. Este tipo de sistema tiene intercambio de *materia y energía* con el exterior. Un ejemplo: automóvil (entra combustible, aceite, aire. Salen gases de escape, desechos, se produce energía).

SISTEMAS CERRADOS: En este sistema *solo hay intercambio energético con el exterior*. No hay intercambio de masa.



SISTEMAS AISLADOS: No hay intercambio ni de masa ni de energía con el exterior. En la práctica estos sistemas son una abstracción cómoda para analizar situaciones.

SISTEMAS NO AISLADOS: Son los intercambios energéticos con el exterior. Ejemplo: el equipo de frío de un refrigerador doméstico. El fluido de trabajo circula en circuito cerrado y solo hay intercambios de calor o energía eléctrica con el exterior. Otro sistema que (en la práctica) se puede considerar como sistema cerrado no aislado es la Tierra.

TEMPERATURA: La temperatura es una propiedad de la materia. Medida del movimiento molecular del grado del calor en una sustancia. Una temperatura alta indica un alto nivel de presión térmica y se dice que el cuerpo está caliente, una temperatura baja indica el nivel bajo la presión térmica y se dice que el cuerpo está frío.

TEMPERATURA DE SATURACIÓN: Es la temperatura a la cual un fluido cambia de la fase líquida a la fase de vapor o, a la inversa, de la fase de vapor a la fase líquida, se le llama temperatura de saturación.



BIBLIOGRAFIA:

- **TERMOFLUIDOS, TURBOMAQUINAS Y MAQUINAS TERMICAS.**
GOLDEN, Frederick M.1989 ISBN 9682608600. pp.145-156.

- **PRINCIPIOS DE REFRIGERACIÓN.**
ROY J. DOSSAT. Compañía Editorial Continental, México (1973) - Principios y Sistemas de Refrigeración. pp. 11-27.

- **AIRE ACONDICIONADO Y REFRIGERACIÓN.**
BURGUÉS H. JENNINGS. Profesor y jefe del Department of Mechanical Engineering, North-Western University. SAMUEL R. LEWIS. Ingeniero consultor ex-presidente in American Society of Heating And Air-conditioning Engineers. pp. 567-611.

- **TERMODINÁMICA.**
GRANET, IRVING. Termodinámica. Tercera edición. México; Prentice Hall Hispanoamérica-na S.A. pp. 68-82

- **Cuenca Paya A, y Walker, M J.** 1982. "Una evaluación de las temperaturas medias seculares durante el ultimo milenio a partir de las desviaciones del gradiente geotérmico". Anal. Univ. de Alicante, Historia Medieval, 1, pp. 245-251.



➤ **DIRECCIONES DE INTERNET RELACIONADAS CON LA BOMBA DE CALOR GEOTERMICA:**

1. http://www.lajornadanet.com/diario/archivo/2006/agosto/no_hay_solucion_15.htm

2. <http://www.ingelco.es/index.html?enlace=geotermia.php&menu=geotermia&titulo=principio+de+la+geotermia>

3. <http://www.ciberia.es/~egl/definibomba.htm>

4. <http://www.ecohabitar.org/articulos/tecnoapropiadas/geotermica.html>

5. http://www.galeon.com/pikaso/Vivienda_geoterm

6. <http://www.hictesa.com>

7. <http://www.ribernet.es/instalaciones/instala.htm>

8. <http://www.geoexchange.org>

9. http://cienbas.galeon.com/03Multi_HCFCs.htm

10. <http://www.allchemi.com/eng/refregerants/alternative3.html>