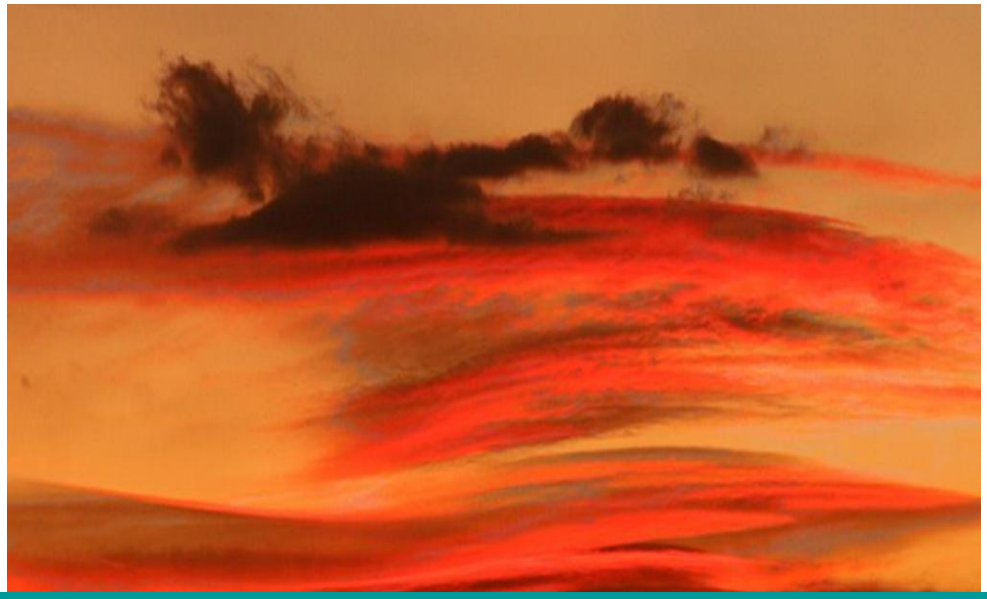


MINISTERIO DE INDUSTRIA, TURISMO Y COMERCIO

IDAE

ÁREA TECNOLÓGICA: GEOTERMIA

Mapa Tecnológico: Calor y Frío Renovables

Observatorio Tecnológico de la Energía

miércoles, 01 de febrero de 2012

Contenido

1. Descripción técnica 4
1.1. Clasificación de los tipos de yacimientos 7
1.2. Estudios previos y sondeos 8
1.2.1. Colectores horizontales enterrados 11
1.2.2. Sondas geotérmicas 12
1.2.3. Sondeos de captación de agua someros 13
1.2.4. Cimientos geotérmicos 14
1.3. Tipos de sistemas geotérmicos 16
1.4. Bombas de calor 18
1.4.1. Introducción 18
1.4.2. Bombas de calor geotérmicas 19
1.5. Tipos de plantas geotérmicas 20
1.6. Almacenamiento 24
1.6.1. Almacenamiento de energía térmica subterránea 24
1.7. Ventajas e inconvenientes 25
2. Entidades e iniciativas relevantes 27
2.1. Plan de Energías Renovables 2011-2020 27
2.2. Programa conjunto EERA sobre Energía Geotérmica (JPGE) 29
2.2.1. Asociación Geotérmica Internacional (IGA) 30
2.3. Plataforma Europea de Frío y Calor Renovable 31
2.4. European Geothermal Energy Council 32
3. Potencial 32
3.1. Potencial a nivel nacional 32
3.2. Potencial a nivel europeo 35
4. Barreras 40
5. Otras aplicaciones 40
6. Proyectos destacados 44
6.1. Proyectos I+D+i Geotermia Norvento 44
6.2. Programa Geotcasa 45
6.3. Climatización de la estación de Pacífico - Metro de Madrid 46
6.4. Colegio público Ciudad de Capadocia en Trillo (Guadalajara) 47
6.5. Edificio de viviendas con climatización geotérmica en Mataró 47

BORRADOR

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

BORRADOR

1. Descripción técnica

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

- **Desintegración de isótopos radiactivos** presentes en la corteza y en el manto
- **Calor inicial** que se liberó durante la formación del planeta
- **Movimientos diferenciales** entre las diferentes capas que constituyen la Tierra, principalmente entre manto y núcleo.
- **Cristalización del núcleo**. El núcleo externo (líquido) está cristalizando continuamente, y en la zona de transición con el núcleo interno (sólido) se libera calor.

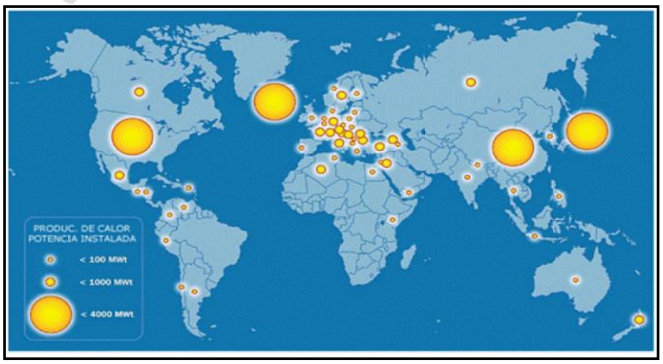
Las grandes diferencias de temperatura entre la superficie de la Tierra y las existentes en su interior originan un flujo continuo de calor hacia la superficie, estimándose que la energía que llega cada segundo a la superficie terrestre, en forma de calor, por conducción, convección y radiación, es de 42 x 10^{12} J.

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

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

Fuente: Site Geothermie-Perspectives de l'ADEME et du BRGM)

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



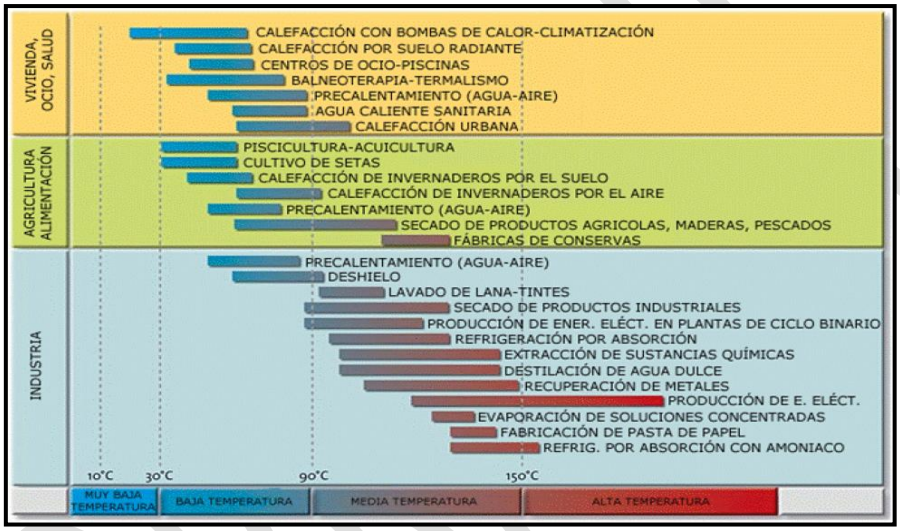
Fuente: Site Geothermie-Perspectives de l'ADEME et du BRGM)

Las aplicaciones que se pueden dar a un fluido geotermal dependen de su entalpía[1] (contenido en calor).

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

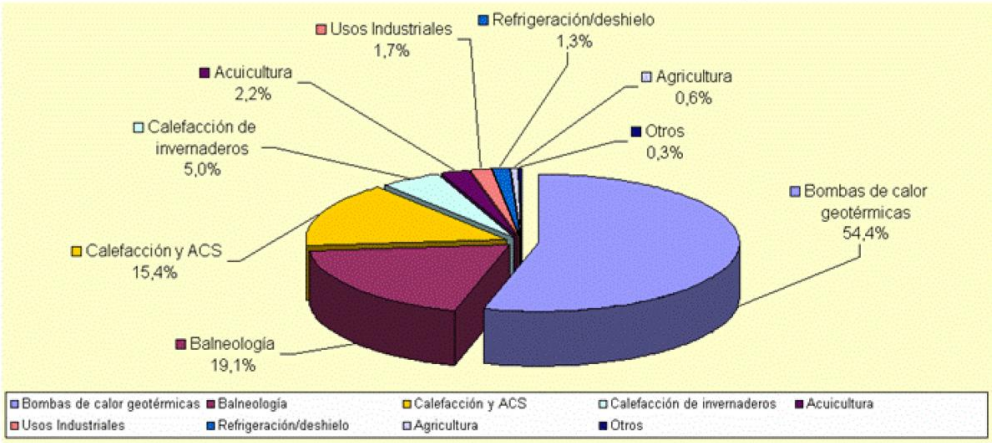
En la tabla a continuación podemos ver los principales usos de la energía geotérmica en función de la temperatura:

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



Fuente: Site Geothermie-Perspectives de l'ADEME et du BRGM)

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



Fuente: Direct Heat Utilization of Geothermal Resources Worldwide 2005. Geo-Heat Center. Oregon Institute of Technology.

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

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

- **Alta temperatura:** más de 150 ºC

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

- **Media temperatura:** entre 90 y 150 ºC.

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

- **Baja temperatura:** entre 30 y 90 ºC.

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

- **Muy baja temperatura:** menos de 30 ºC.

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

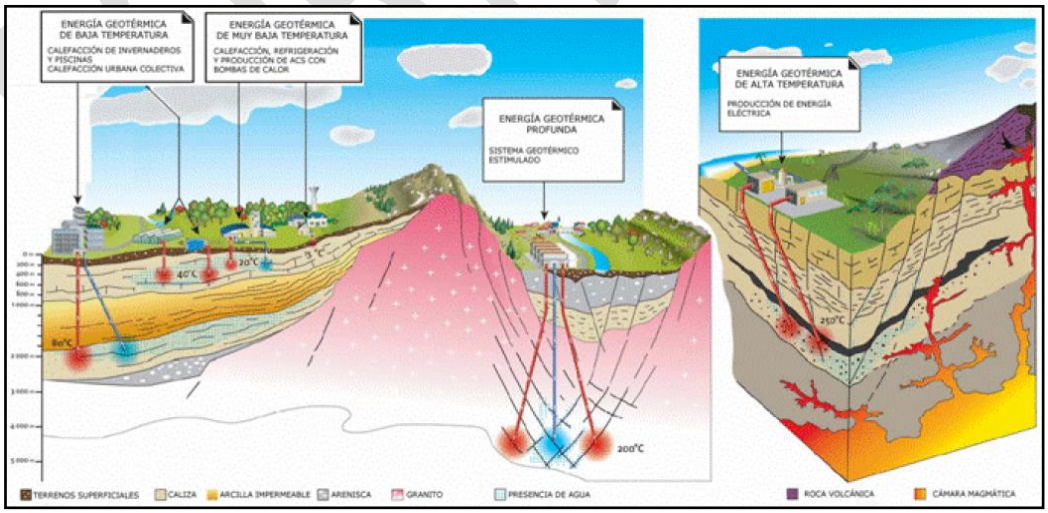


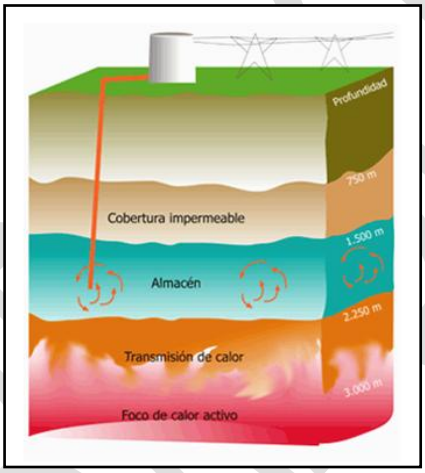
Figura: Diferentes tipos de energía geotérmica en función de la temperatura.
Fuente: Site Geothermie-Perspectives de l'ADEME et du BRGM

1.1. Clasificación de los tipos de yacimientos

Las condiciones geológicas[2] para la existencia de un **yacimiento geotérmico de alta temperatura** son:

- Estar presente en una zona en la que exista un foco de calor activo que proporcione un flujo calorífico anómalo.
- Existencia de profundidad adecuada (1,5 - 2 km) de capas de materiales permeables o almacén que permiten la circulación de fluidos capaces de extraer el calor de la roca
- Estos fluidos han de permanecer en profundidad, de forma que se evite la disipación continua de la energía de la roca. Para ello es necesaria la presencia de materiales impermeables que actúen de sello de los almacenes

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



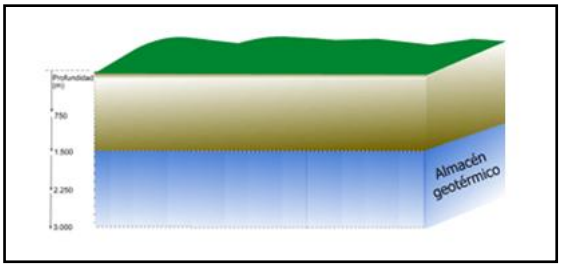
Fuente: Instituto Geológico y Minero de España

Para la existencia de **yacimientos de baja temperatura** no son necesarias estas condiciones geológicas tan estrictas. La única condición geológica que se requiere es la existencia de materiales geológicos permeables a una profundidad adecuada (1,5-2,5km) capaces de contener y dejar circular fluidos que extraigan el calor a la roca.

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

[2] http://www.igme.es/internet/geotermia/yacimientos-altatemperatura.htm

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



Fuente: Instituto Geológico y Minero de España

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

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

Los resultados obtenidos en la creación de este tipo de yacimientos geotérmicos "artificiales" han conducido a la denominación de Sistemas Geotérmicos Estimulados (EGS) en los que se engloba a todos los yacimientos creados o desarrollados por el hombre y en los que se utilizan las técnicas desarrolladas en HDR para la creación y/o estimulación del yacimiento.

Los recursos geotérmicos no pueden ser aprovechados directamente, tal y como se encuentran en la tierra. Por ello es necesario convertirlos en una forma de energía utilizable. El primer paso es trasladar el recurso hasta la superficie. Esto se consigue por la presencia de un fluido que actúa de vehículo transportador de la energía. Este fluido accede a la superficie mediante los sondeos perforados por el hombre. Una vez que alcanza la superficie, el fluido geotérmico se ha de someter a las transformaciones necesarias para que su energía térmica potencial pueda ser aprovechada. Los procesos empleados en la transformación dependen del nivel térmico del fluido.

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

1.2. Estudios previos y sondeos

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

El método más empleado es el de perforación por rotación, mediante equipos autónomos montados sobre camión, para sondeos de poca profundidad, o en enormes plataformas, para realizar sondeos hasta 5.000 m de profundidad. Esta técnica de perforación, llamada también Rotary, consiste en utilizar un trépano[3] provisto de conos dentados en los que van engarzadas piezas de carburo de tungsteno, o de diamantes industriales, que destruyen las rocas por trituración, corte y abrasión, bajo el efecto del peso y de la rotación.

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

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

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

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

- *Química:* porque el fluido está cargado de sales minerales muy agresivas
- *Galvánica*: provocada por la presencia de corrientes eléctricas parásitas
- *Bacteriológica:* pues algunas cepas bacterianas presentes en el yacimiento, pueden reactivarse con el descenso de la temperatura del agua, y los sulfuros, producidos por su metabolismo, aumentan la corrosión del acero.

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

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

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

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

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

Las bombas sumergidas permiten obtener caudales de 300 m^3/h (son las más utilizadas en el acuífero del Dogger de la Cuenca de París). Las bombas de árbol largo (hasta 140 m de profundidad) son las más utilizadas en Islandia. Las turbobombas tienen un bajo rendimiento energético, pero su vida útil es más larga que la de las bombas sumergidas.

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

Pero si el fluido está muy cargado de sales disueltas, o porque sea necesario para no agotar el recurso, tendrá que volver a reinyectarse a su acuífero original, después de su aprovechamiento, mediante un pozo de inyección. Para la reinyección se emplean bombas de superficie de tipo clásico.

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

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

Sin embargo, cuando su salinidad sobrepasa los 5-10 gr/l no se puede utilizar y la ley no permite su eliminación en superficie, por lo que se hace necesario su inyección en el subsuelo, en la misma formación acuífera de la que procede.

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

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

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

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

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

Estas instalaciones las agruparemos en:

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

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

1.2.1. Colectores horizontales enterrados

Con tan sólo una capa superficial de suelo de 0,8 m de espesor es posible enterrar unos colectores horizontales, tubos de polietileno de 25 a 40 mm de diámetro, por los que circula agua con un anticongelante que, conectados a una bomba de calor geotérmica, pueden satisfacer las necesidades de calefacción de una vivienda familiar de tipo medio, alrededor de 150 m^2.

BORRADOR

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

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

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

Dependiendo de la altitud topográfica del terreno, las capas de tubos que forman los serpentines o bucles geotérmicos permiten obtener de 20 a 30 W de energía térmica por m^2 ocupado por el bucle.

1.2.2. Sondas geotérmicas

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

Se pueden utilizar sondas geotérmicas si:

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

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

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

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

Para poder dimensionar una sonda geotérmica es necesario conocer previamente:

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

subsuelo), o en un acuífero somero, en los que el agua presente una velocidad de flujo superior a varios centímetros por día, la cantidad de calor útil aumenta sensiblemente.

- **Tipo de prestaciones de la instalación**. Puede determinarse a partir de las temperaturas del exterior y del interior del edificio, horas de funcionamiento, modalidad (calefacción-refrigeración- ACS), meses de funcionamiento, etc.

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

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

- **Conductividad térmica** es el flujo de calor transmitido por conducción a través de un cuerpo sometido a un gradiente de temperatura de 1 K/m (1 grado Kelvin por metro). Se expresa en W/m· K, o en W/m· ºC.
- **Capacidad térmica volumétrica** es la cantidad de calor necesaria para elevar la temperatura de 1 m^3 de terreno en 1 K. Se expresa en J/m^3· K.
- **Permeabilidad** es la capacidad de un suelo o roca para ser atravesado por el agua. Se expresa en m/s. Permite determinar la velocidad de flujo del agua subterránea.

La capacidad de las sondas geotérmicas verticales se puede determinar experimentalmente realizando Tests de Respuesta Térmica[4] en uno o varios sondeos piloto. A partir de las medidas de temperatura realizadas en el interior del tubo de una sonda geotérmica, se puede tener una imagen exacta de las temperaturas encontradas a lo largo del mismo.

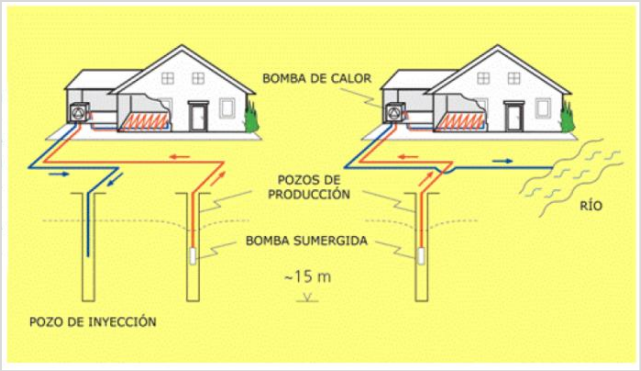
1.2.3. Sondeos de captación de agua someros

Si la permeabilidad del terreno es suficientemente elevada puede explotarse la capa freática[5] mediante dos sondeos, uno de producción, con una bomba sumergida que conduce el agua a la bomba de calor para, una vez extraída su energía y enfriada, ser devuelta a la capa freática por un pozo de reinyección, o ser vertida a un cauce fluvial.

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

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

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



Fuente: *Cattin, S. Infos- Géothermie nº 4. Suisse énergie. 2002)*

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

Para una instalación con una potencia calorífica de 20 kW puede ser necesario un caudal de agua de alrededor de 6 m^3/h.

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

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

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

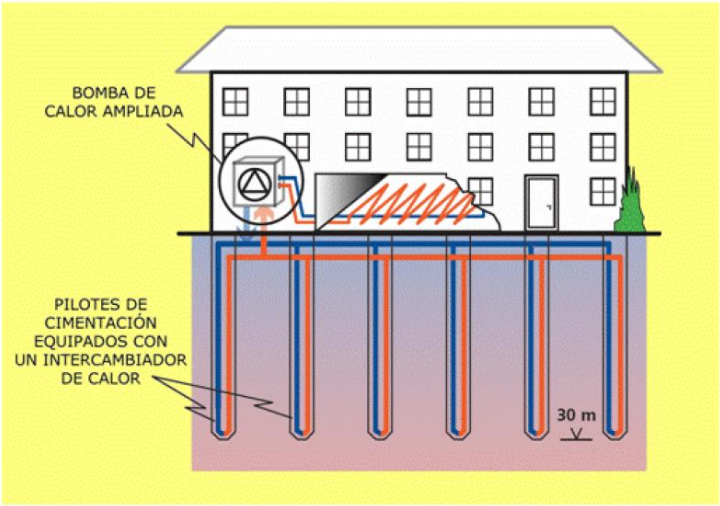
Otro aspecto a tener en cuenta en la fase de estudios previos es el de las autorizaciones para captación de agua, por la cantidad de disposiciones a nivel local, autonómico y nacional sobre protección de las aguas subterráneas que anteponen el abastecimiento de agua potable a las poblaciones para consumo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

1.2.4. Cimientos geotérmicos

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

BORRADOR

Figura: Sistema de pilotes energéticos para calefacción y climatización.



Fuente: Cattin, S. Infos-Géothermie nº 1. Suisse énergie. 2001

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

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

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

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

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

- Características geotécnicas de los estratos del subsuelo en que han de hincarse las cimentaciones activas.
- Nivel de la capa freática, oscilaciones anuales, dirección y velocidad de flujo.
- Características del terreno necesarias para definir el potencial geotérmico: capacidad térmica volumétrica, conductividad térmica y permeabilidad.
- Existencia de manantiales cercanos o construcciones subterráneas que desvíen o calienten las aguas freáticas.
- Rango de temperaturas del subsuelo (máxima, mínima y media anual)
- Distribución mensual y semanal del consumo de energía en calefacción y refrigeración, así como sus rendimientos de punta.

BORRADOR

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

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

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

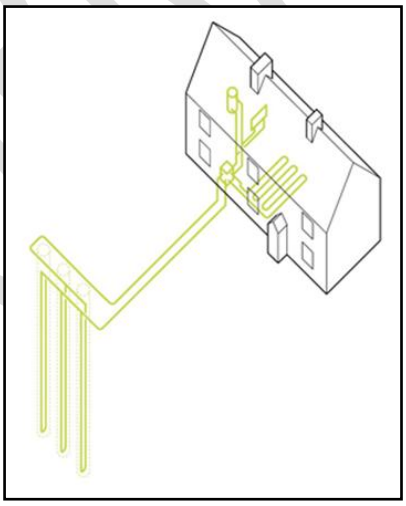
1.3. Tipos de sistemas geotérmicos[6]

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

Circuito cerrado vertical

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

Figura: Esquema de un circuito cerrado vertical



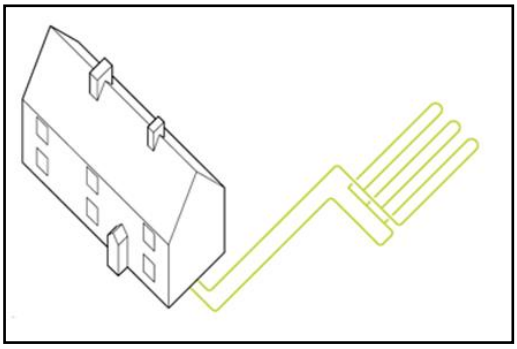
Fuente: Geothermal International España (www.giesp.es)

Circuito horizontal

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

[6] http://www.geoclima.es/residential/geothermalbasics.html

Figura: Esquema de un circuito horizontal

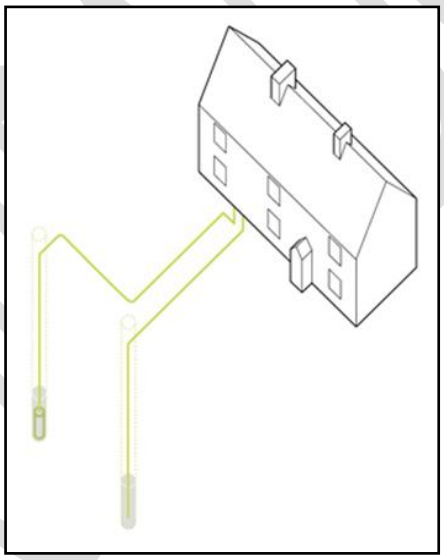


Fuente: Geothermal International España (www.giesp.es)

Circuitos abiertos

Circuitos abiertos utilizan agua subterránea como una fuente directa de energía. En condiciones ideales, una aplicación de circuito abierto puede ser el tipo de sistema geotérmico más económico.

Figura: Esquema de un circuito abierto

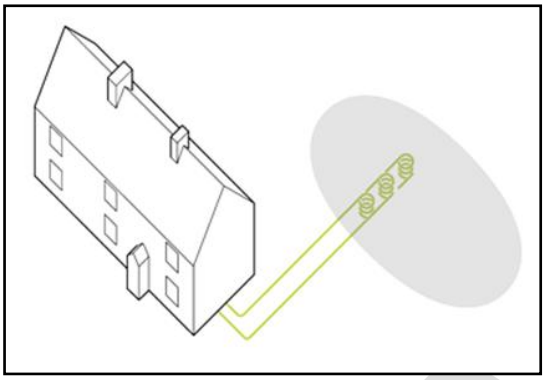


Fuente: Geothermal International España (www.giesp.es)

Circuitos en estanques

Estos son muy económicos donde hay una masa de agua disponible porque los gastos de excavación son muy pequeños. Los rollos de tubería son simplemente colocados en el fondo del estanque.

Figura: Esquema de un circuito en estanque



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

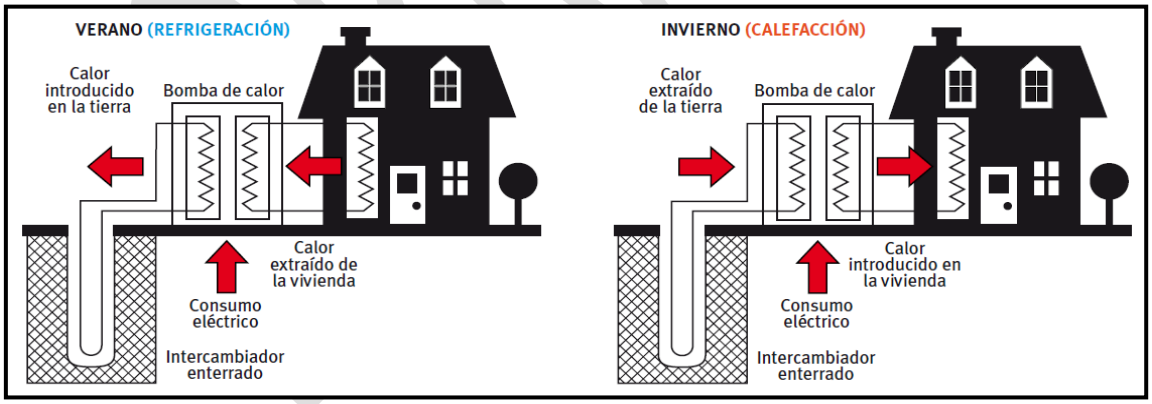
1.4. Bombas de calor

1.4.1. Introducción

Una bomba de calor[7] es una máquina que transfiere el calor desde un foco frío a otro caliente utilizando una cantidad de trabajo relativamente pequeña.

La ventaja que poseen las bombas de calor frente a otros sistemas, reside en su capacidad para aprovechar la energía existente en el ambiente (foco frío), tanto en el aire como en el agua o la tierra, y que le permite calefactar las dependencias interiores (foco caliente) con una aportación relativamente pequeña de energía eléctrica.

Figura: Diagrama que representa la transferencia de calor en una instalación, en invierno y en verano. Ambos ciclos son explicados a continuación.



Fuente: Vulcano ingeniería y gestión energética

Cuando se realiza la transferencia de calor en sentido inverso, es decir, desde el recinto que necesita frío hacia el ambiente que se encuentra a una temperatura superior, la bomba de calor trabaja en modo refrigeración. La bomba de calor geotérmica extrae energía térmica del suelo en invierno transfiriéndola al interior, mientras que en verano extrae el calor del interior y lo devuelve al subsuelo.

[7] www.mityc.es/energia/desarrollo/EficienciaEnergetica/RITE/propuestas/Documents/Climatizacion_14_BombasCalorGeotermicas7.pdf

Tanto la potencia calorífica o frigorífica de la bomba de calor como la eficiencia energética (COP, Coefficient of Performance, cociente entre la potencia calorífica o frigorífica suministrada por la bomba de calor y su consumo eléctrico) pueden variar según la temperatura de trabajo, independiente de las eficiencias mecánicas y térmicas de los distintos componentes de la máquina.

En cuanto a la refrigeración se puede ahorrar energía del mismo modo bajando la temperatura del condensador. El suelo, comparado con el aire, ofrece una fuente de calor a mayor temperatura en invierno, cuando está conectado al evaporador; en verano, cuando intercambia calor con el condensador, forma un sumidero de calor a menor temperatura.

Un aumento del rendimiento de la bomba (COP) implica automáticamente que se está utilizando una mayor proporción de energía renovable térmica, según la tipología y profundidad del circuito. La capacidad de producción de calor de origen renovable de una bomba de calor es muy grande en comparación con otras tecnologías; aunque normalmente se requiera introducir una cierta cantidad de energía eléctrica o térmica para posibilitar dicho flujo.

Al no haber muchas alternativas tecnológicas (una vez reducidas en la medida de lo posible las cargas térmicas del edificio), la bomba de calor geotérmica es una de las pocas opciones reales para producir un ahorro sustancial en climatización.

Por otro lado, el calor aportado en el suelo durante el proceso aumenta la temperatura del mismo y contribuye a mejorar la eficiencia del proceso inverso, el de calefacción.

Por tanto, una bomba de calor con intercambiador de calor enterrado en modo frío supone una buena opción de mejora energética y ahorro y produce almacenamiento de calor de origen renovable.

1.4.2. Bombas de calor geotérmicas

En las aplicaciones geotérmicas de muy baja temperatura, se pretende extraer el calor del subsuelo terrestre para poder calentar un fluido de alta compresibilidad y bajo punto de vaporización (circuito secundario), con el objeto de transmitir ese calor a una instalación en invierno, invirtiendo el proceso en verano. Pero sólo es posible extraer calor si la temperatura de entrada geotérmica es superior a la de retorno del circuito secundario, que viene determinada por el tipo de instalación de calefacción y por la temperatura exterior.

En las condiciones habituales, suele aceptarse una diferencia mínima de unos 4-6 ºC entre la temperatura media del fluido caliente y la temperatura media del frío, y un salto térmico máximo de 10 ºC entre la temperatura de entrada y la de salida del agua que aprovecha la energía geotérmica de muy baja temperatura.

En la mayoría de las aplicaciones comerciales, los caudales utilizados son los siguientes:

- Caudal del lado del agua geotérmica, entre 0,018 y 0,045 l/s kWt
- Caudal del lado del agua caliente, entre 0,045 y 0,054 l/s kWt

Esto equivale a un salto de temperatura de entre 13,3 y 5,3 ºC para el agua geotérmica y entre 5,3 y 4,4 ºC para el agua caliente.

Existen dos factores que favorecen la implantación de este tipo de instalaciones. Por un lado, en el mercado existe una amplia gama de bombas de calor de distintos tipos y de una amplia serie de potencias, de precio asequible y que no precisan una complicada instalación ni de

personal excesivamente cualificado para su instalación y mantenimiento. Por otro lado, permiten la existencia de amplias zonas potencialmente utilizables, mucho más abundantes y extensas que las de baja y media temperatura.

La bomba de calor geotérmica (GHP - Geothermal Heat Pump), tiene su aplicación fundamental en instalaciones domésticas y comerciales, para agua caliente sanitaria y calefacción, de pequeña y mediana potencia.

En las GHP, los inconvenientes de formación de escarcha en el condensador desaparecen y el rendimiento mejorará al obtener energía térmica de una fuente menos fría (el terreno) que en las bombas de calor convencionales (el aire atmosférico) en invierno, y viceversa en verano. Es más fácil ceder calor al terreno, a una temperatura casi constante con la estación, que al aire caliente de la atmósfera veraniega.

1.5. Tipos de plantas geotérmicas

En la tabla que figura a continuación vemos la clasificación de los distintos tipos de plantas existentes en geotermia:

Tabla: tipos de plantas geotérmicas

Plantas de vapor seco	Ciclo directo sin condensación
	Ciclo directo con condensación
	Ciclo indirecto con condensación y recuperación de aguas mineralizadas
Plantas flash	Simple flash
	Doble flash
Plantas binarias	ORC
	Kalina

Fuente: IDAE

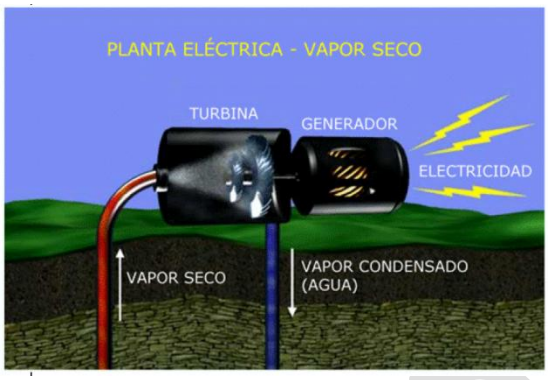
Aunque no es el objeto de este estudio, centrado en las aplicaciones térmicas de la energía geotérmica, a continuación se describirá brevemente cada uno de los tipos de tipos de plantas de generación eléctrica expuestas anteriormente:

Plantas de vapor seco:

Los campos de vapor seco (tan sólo unos pocos casos en el mundo) son los que permiten utilizar la tecnología más sencilla ya que el fluido geotérmico se puede llevar directamente a la turbina para producir electricidad. La producción del vapor en los sondeos es por expansión al reducir la presión, de modo muy similar a la producción de gas natural.

Están formadas principalmente por una serie de sondeos o pozos de captación que permiten captar la mezcla agua–vapor. Ya sobre el terreno, con un separador vapor-agua, extraen el vapor que hace funcionar el grupo turbogenerador para la producción de electricidad. Después de este proceso, el vapor condensado y el fluido remanente geotérmico se vuelve a reinyectar por un circuito cerrado a las profundidades para volver a reanudar el ciclo.

Figura: Esquema de un turboalternador funcionando con vapor seco
(@2000 geothermal Education office)



Fuente: Geoplat

- **Ciclo directo sin condensación:** el vapor escapa libremente a la atmósfera tras su paso por las turbinas. Los costes de instalación son bajos, pero también su eficiencia es baja. Se suelen emplear en plantas piloto, o en unidades aisladas de pequeña potencia.

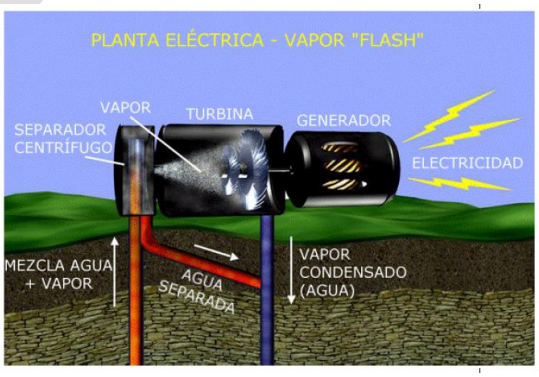
- **Ciclo directo con condensación:** es el más común en yacimientos de vapor seco. El vapor después de su paso por turbinas es condensado, separándose los gases. El agua enfriada puede ser evacuada en corriente superficial si no tiene sustancias contaminantes o reinyectadas en el almacén en caso contrario.

Plantas Flash:

En este ciclo la mezcla de agua caliente y vapor es conducida de los pozos al separador de vapor y el vapor separado es conducido posteriormente a la turbina. El agua separada se considera de desecho y puede posteriormente ser inyectada en el subsuelo (reinyectada). La mezcla de agua-vapor normalmente tiene una temperatura que supera los 200˚C y el vapor separado una presión entre 8 y 10 kg. /cm².

La fase líquida o salmuera rechazada se puede utilizar en otras aplicaciones como agricultura, acuicultura, y en otros procesos industriales que requieren un gran aporte de calor, haciendo uso en estos casos a la conocida técnica de producción en cascada.

Figura: Esquema de un turboalternador funcionando con vapor "flash"
(@2000 Geothermal Education Office)



Fuente: Geoplat

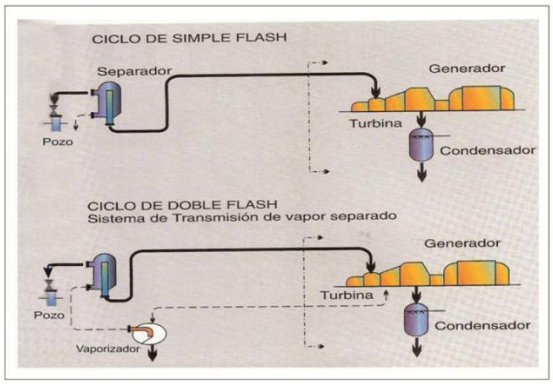
Planta doble flash:

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

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

- Se produce entre un 15 y un 20% más de energía con el mismo suministro geotérmico que el ciclo de simple flash.
- Aunque el coste de inversión de la planta es alrededor de un 5% más alto que el de simple flash, el coste neto de la energía por kwh es alrededor de 10 a 15% más bajo.
- Se consigue una presión óptima de entrada a la turbina, un 30% más alta que con el sistema de simple flash; de forma que se pueden usar tuberías de vapor y válvulas más pequeñas.

Figura: Ciclo y sistema de transmisión en una planta geotérmica de tipo agua caliente[8]



Fuente: OLADE

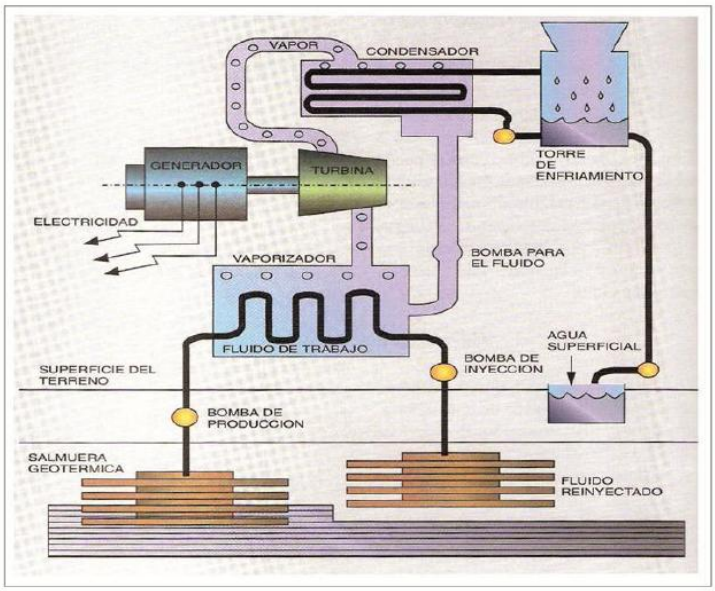
Fuente: OLADE

Plantas Ciclo Binario:

Este tipo de plantas permiten extraer energía de forma más eficiente de yacimientos de media temperatura (>100ºC) y de recursos geotérmicos con elevada salinidad. Se basan en evitar el uso directo del fluido termal y utilizar un fluido secundario con un comportamiento termodinámico mejor que éste.

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

Figura: Planta geotérmica de ciclo binario



Fuente: OLADE

Fuente: OLADE

Ciclo orgánico de Rankine[8]

La tecnología del ciclo orgánico de Rankine abre nuevos caminos para aprovechar la energía solar o geotérmica y la energía obtenida a partir de la biomasa de un modo descentralizado y razonable.

El ciclo orgánico de Rankine se basa en un procedimiento parecido a procesos con vapor de agua, pero en lugar de agua se utiliza un fluido de trabajo orgánico (hidrocarburos como isopentano, isooctano, tolueno y aceite de silicona).

La energía se produce mediante "sistemas binarios" en los cuales el ciclo térmico (vapor o aceite térmico) transmite energía mediante un intercambiador de calor a otro ciclo que acciona la turbina con el generador. En este segundo ciclo no circula agua o vapor de agua sino un fluido de trabajo especial cuyo punto de ebullición está por debajo de los 100°C por lo que la sustancia pasa del estado de agregación líquido al gaseoso. De esta manera se pueden utilizar incluso aguas termales con temperaturas por debajo de los 100°C para la generación de energía.

Debido a la utilización de sustancias orgánicas como fluidos de trabajo con un punto de ebullición bajo, el proceso es conocido como "Ciclo Orgánico de Rankine" (ORC); refiriéndose al "Ciclo de Carnot[9]".

Ciclo de Kalina

Utiliza una mezcla de amoniaco-agua como fluido de trabajo para mejorar la eficiencia del sistema y proporcionar una mayor flexibilidad en diferentes condiciones de operación. El ciclo

[8] http://www.en-t-ex.com/index.php?option=com_content&task=view&id=19&Itemid=28&lang=es

[9] El ciclo de Carnot se produce cuando una máquina trabaja absorbiendo una cantidad de calor Q1 de la fuente de alta temperatura y cede un calor Q2 a la de baja temperatura produciendo un trabajo sobre el exterior. El rendimiento es mayor que cualquier máquina que funcione cíclicamente entre las mismas fuentes de temperatura.

de Kalina puede mejorar la eficiencia de plantas de energía en un 10% a 50% en el ciclo de Rankine en función de la aplicación. Dado que las temperaturas de operación de las plantas se reducen, la ganancia relativa del ciclo de Kalina aumenta en comparación con el ciclo Rankine.

1.6. Almacenamiento

1.6.1. Almacenamiento de energía térmica subterránea

Se distinguen tres tipos de almacenamiento[10] de energía térmica:

- Almacenamiento de energía térmica subterránea (UTES)
- ASET-A: en acuíferos
- ASET-B: en sondeos

A continuación analizaremos más en detalle cada uno de los tipos anteriores:

Almacenamiento de energía térmica subterránea (UTES)

En las UTES se almacena calor, frío o ambos bajo tierra. Los métodos de acoplamiento en el suelo son principalmente los mismos que para para las bombas de calor provenientes del suelo, con sistemas abiertos (ASET-A) y sistemas cerrados (ASET-B).

El almacenamiento de frío se está haciendo muy frecuente, puesto que la refrigeración de espacios es habitualmente muy cara. Una combinación de almacenamiento de calor y frio es la conexión de superficies de calles y carreteras a una "UTES". El calor proveniente de la radiación solar sobre la superficie se puede almacenar y utilizar en invierno para descongelar y derretir la nieve en esa superficie. Este sistema se utiliza principalmente en puentes, pero también se puede utilizar para cualquier otra superfície de la carretera, en las pistas de aterrizaje, etc.

Almacenamiento Subterráneo de Energía Térmica en Acuíferos (ASET-A)[11]

Un sistema ASET-A es un sistema de bucle abierto, gestionado para efectuar almacenamiento térmico estacional, es decir, se invierten los pozos de extracción e inyección estacionalmente.

El agua subterránea es bombeada en invierno desde uno o más pozos calientes. El calor almacenado en el agua subterránea es usado para calefacción y a continuación el agua enfriada se retorna al acuífero mediante los pozos fríos. En verano el proceso se invierte. El agua subterránea fría se bombea desde los pozos fríos y es usada para refrigerar; y el agua calentada se inyecta de nuevo en los pozos calientes.

Se hace uso de una capa acuífera del subsuelo para almacenar frío o calor. En muchos casos se aplican sistemas ASET-A para almacenamiento tanto de frío como de calor de baja temperatura para suministrar refrigeración y calefacción a edificios.

Las aplicaciones de almacenamiento en acuífero se encuentran particularmente en entornos urbanos construidos. Aunque también hay proyectos implementados en el sector industrial y agrícola, incluyendo compañías de transformación de plásticos, imprentas e invernaderos.

[10] www.sogener.es/tecnologias-disponibles/energia-geotermica/
[11] http://www.iftechinternational.com/es/almacenamiento_subterraneo_de_energia_termica_en_acuiferos.cgi

BORRADOR

Por ejemplo, la mayoría de los proyectos ASET-A realizados en los Países Bajos tienen una capacidad de almacenamiento en el rango de 750 kW a 2000 kW.

Los edificios del Parlamento Alemán (el Reichstag y las oficinas que lo rodean) incorporan dos sistemas ASET-A a distintos niveles: el superior para el almacenamiento de frío y el inferior para el almacenamiento de calor (hasta 70° C).

Los sistemas ASET-A permiten una fuerte reducción del consumo de combustibles fósiles para usos de climatización. Un sistema ASET-A de un edificio de oficinas diseñado para almacenar frío y calor de baja temperatura ahorra entre el 70 y 80% del consumo de electricidad para la producción de frío y entre un 20 y 40% en el consumo de gas o petróleo para la generación de calor.

Almacenamiento Subterráneo de Energía Térmica en sondeos (ASET-B)[12]

El sistema ASET-B consiste en una serie de sondeos. En lugar de penetrar el acuífero como en el sistema abierto ASET-A, el sistema ASET-B es un sistema de bucle cerrado. En la perforación del sondeo se introduce un bucle de polietileno.

Para obtener un buen contacto térmico con el subsuelo circundante se rellena el espacio sobrante con un material con una alta conductividad térmica. Los bucles en los sondeos funcionan como un intercambiador de calor terrestre. En invierno dicho intercambiador se utiliza para extraer calor del subsuelo; por ejemplo, para una bomba de calor geotérmica.

Mientras el fluido del circuito pasa a través de la bomba de calor, el fluido se enfría. El fluido enfriado vuelve al intercambiador terrestre y la "energía fría" se almacena en el subsuelo alrededor de los sondeos.

En verano, el flujo calorífico en el sistema ASET-B funciona al revés. La "energía fría" almacenada se extrae del subsuelo y pasa a través de un intercambiador de calor suministrando refrigeración al edificio, en modo directo (refrigeración pasiva) o con apoyo de la bomba de calor en modo inverso (refrigeración activa).

Debido al transporte y la extracción de calor del edificio, la temperatura del fluido del circuito se eleva. Este fluido con temperaturas superiores a la natural del subsuelo vuelve al intercambiador terrestre donde la "energía caliente" se almacena en el terreno circundante a los sondeos para la siguiente estación en que se necesite calefacción.

El sistema ASET-B de circuito con bucle cerrado depende menos de las condiciones hidrogeológicas del emplazamiento que el sistema ASET-A. Por ello es más adecuado para zonas donde no se pueden obtener caudales de pozos relativamente altos.

1.7. Ventajas e inconvenientes

En este apartado queremos exponer de forma resumida las principales ventajas e inconvenientes de la generación y consumo de energía geotérmica; analizando aspectos relacionados por ejemplo con los costes de operación, la inversión necesaria o la repercusión medioambiental que puede tener una planta o una instalación geotérmica.

[12] http://www.iftec.es/aset-b.html

Ventajas

Entre las ventajas de la energía geotérmica se encuentran:

- Un sistema con bomba de calor geotérmica para una casa individual supone un coste de inversión elevado, del orden del doble de una instalación clásica de calefacción y refrigeración. Sin embargo, los costes de explotación son mucho más bajos que los de estos otros equipos.
- Las inversiones en materia de energía geotérmica cuentan con subvenciones gestionadas por cada comunidad Autónoma en España.
- El tiempo para la "puesta en servicio" de la instalación geotérmica es menor que el necesario para otras fuentes de energía.
- En general, se produce entre dos y cuatro veces más energía térmica o frigorífica que la energía eléctrica que se consume. Eso significa que estos sistemas tienen rendimientos de 200 a 400%, muy superiores a las resistencias eléctricas, donde el rendimiento máximo es del 100%.
- Una instalación que utilice energía geotérmica, comparada con instalaciones clásicas de bombas de calor o de climatización, permiten ahorros de energía de 30 a 70% en calefacción y de 20 a 50% en climatización.
- El terreno utilizado para la extracción de energía geotérmica puede utilizarse para otros fines; por ejemplo, instalar paneles solares.
- Los coeficientes de disponibilidad de las centrales geotérmicas eléctricas son del 90% de media, y en redes de calefacción se puede alcanzar el 100%.
- Se reduce así la dependencia de importaciones energéticas y asegura la regularidad en el abastecimiento. Disminuyen las pérdidas energéticas derivadas del transporte de electricidad y la contaminación que provoca el transporte de combustibles por carretera.
- La energía geotérmica no depende del clima, de la radiación solar ni del viento. Está disponible 24 horas al día, 365 días al año.
- El uso de la energía geotérmica en la agricultura[13] permite disponer de los productos en cualquier fecha del año y en unas condiciones óptimas, lo que influye en la capacidad de producción del país y en el precio del producto final.
- Esta forma de producir energía no emite CO_2 al medio ambiente.

Inconvenientes

Entre los inconvenientes generados de la energía geotérmica se encuentran:

- No en todas las casas se puede instalar un sistema de climatización geotérmico. Puede ser que no haya espacio suficiente en el jardín para la perforación, que la composición del terreno haga que el coste de la perforación sea demasiado alto o que las máquinas especiales de sondeo energético no entren en la parcela por razones de espacio.
- Costes de inversión inicial elevados.
- En ciertos casos se produce emisión de ácido sulfhídrico. En grandes cantidades no se percibe y es letal.

[13] www.idae.es/index.php/mod.documentos/mem.descarga?file=/documentos_10952_Manual_Geotermia_A2008_e3bf1e59.pdf

- Se puede producir contaminación de aguas próximas con sustancias como arsénico, amoníaco, etc.
- Riesgo de contaminación térmica en el entorno del lugar de donde se extrae la energía geotérmica.
- Deterioro del paisaje.
- No se puede transportar como energía primaria[14].

2. Entidades e iniciativas relevantes

En este apartado identificaremos las iniciativas y programas más relevantes a nivel nacional y europeo, como por ejemplo el Plan de Energías Renovables o la Plataforma Europea de frío y calor renovable.

2.1. Plan de Energías Renovables 2011-2020

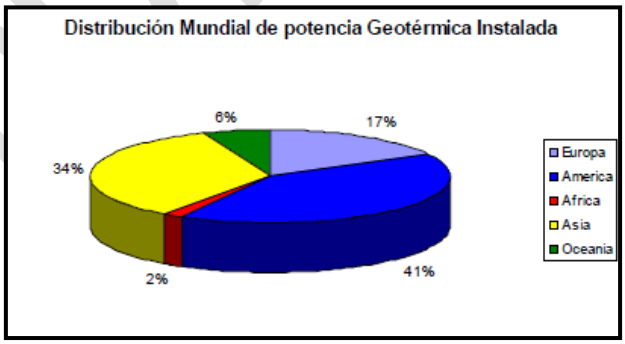
Link: http://www.idae.es/

El PER 2011-2020[15], que ha elaborado la Secretaría de Estado de Energía del Ministerio de Industria, Turismo y Comercio, a través del IDAE; incluye los elementos esenciales del PANER (Plan de Acción Nacional de energías Renovables), análisis adicionales y análisis sectorial que contiene, entre otros aspectos, las perspectivas de evolución tecnológica y la evolución de costes esperada.

Situación del sector geotérmico mundial definido en el PER 2011-2020

Entre los cinco países con mayor capacidad instalada se encuentran: Estados Unidos, Filipinas, Indonesia, México e Italia. Las tecnologías que concentran el mayor porcentaje de dicha capacidad son la de vapor seco en el caso de Estados Unidos e Italia, de tipo flash en Filipinas e Indonesia y de doble flash en México.

Figura: Gráfico que muestra la distribución de la potencia mundial geotérmica por continentes (Congreso mundial geotermia Bali 2010). El 41% corresponde a América, el 34% a Asia, el 17% a Europa, el 6% a Oceanía y el 2% restante a África.



Fuente: IDAE – Plan de Energías Renovables 2011-2020

[14] Fuente de energía primaria es toda forma de energía disponible en la naturaleza antes de ser convertida o transformada. Si no es utilizable directamente, debe ser transformada en una fuente de energía secundaria.
[15] http://www.idae.es/index.php/relcategoria.3839/id.670/mod.pags/mem.detalle. Borrador Plan de Energías Renovables 2011-2020 e Informe de Sostenibilidad Ambiental

Distribución de plantas geotérmica por tecnologías:

En la siguiente tabla se representa la aportación de cada tecnología –incluyendo las de tipo híbrido– en términos de número de unidades, capacidad instalada y producción eléctrica.

Figura: Tabla con la aportación de cada tecnología. Descrita en el texto a continuación.

Tipo	Nº Unidades	Potencia instalada		Producción Media (GWh/unidad)
		Total (MWe)	Media (Mwe/unid)	
Sin Condensación	25	145	6	96
Ciclo Binario	236	1.178	5	27
Flash	141	4.421	31	199
Doble Flash	61	2.092	34	236
Vapor Seco	62	2.878	46	260

Fuente: IDAE – Plan de Energías Renovables

La mayor capacidad instalada corresponde a la de tipo flash, con un 41% del total (4.421 MWe), seguida de la de vapor seco (27%), doble flash (20%), ciclo binario (11%) y sin condensación (1%).

Las regiones con mayor potencial geotérmico se encuentran normalmente próximas a bordes de la placa continental. Sin embargo, los avances en diferentes campos tecnológicos están permitiendo comenzar a explotar recursos geotérmicos lejos de los bordes de placa mediante la estimulación del almacén geotérmico (EGS o Sistemas Geotérmicos Estimulados) y/o la posibilidad de aprovechar fluidos cada vez de menor temperatura.

Situación actual de la geotermia española

La energía geotérmica en España presenta todavía una escasa penetración, a pesar de su gran potencial; tanto para usos térmicos a escala doméstica como a escala industrial para generación de energía eléctrica.

Su investigación comenzó tras la crisis energética de 1973. La evaluación del potencial geotérmico del subsuelo en España es acometida por el Instituto Geológico y Minero de España (IGME), que elaboró en 1975 el primer avance que constituye el Plan de Energías Renovables 2011- 2020.

Actualmente en España no existen instalaciones geotérmicas de alta entalpía para generación de electricidad, aunque sí existe un creciente interés por parte de las empresas en desarrollar proyectos de este tipo en el corto-medio plazo, por lo que la geotermia presenta una oportunidad clara de desarrollo en nuestro país.

El desarrollo de la geotermia profunda en nuestro país se caracteriza por un importante retraso respecto a otros países europeos. España no ha estado presente apenas en las iniciativas de I+D de geotermia en Europa en las últimas décadas y cuyos resultados están permitiendo el desarrollo de nuevas tecnologías como la geotermia estimulada (EGS) en Alemania y Francia.

Existe un proyecto de investigación para desarrollar una planta de generación de electricidad de geotermia convencional en Tenerife (Islas Canarias) y hay varias iniciativas estudiando la posibilidad de desarrollar proyectos de EGS en Madrid, Galicia y Cataluña.

El uso del calor geotérmico en aplicaciones distintas de la generación de electricidad se ha realizado, tradicionalmente a pequeña escala; pero los continuos avances tecnológicos han permitido su aprovechamiento en proyectos urbanos e industriales de gran envergadura.

En el sector residencial y de servicios la energía geotérmica permite reducir el consumo de gasóleo, gas natural y butano, todos ellos de origen fósil y no renovable, de una forma limpia y sencilla, adaptándose a cualquier tipo de sistema de climatización actual. Para ello se realizan instalaciones basadas en un circuito que aprovecha el fluido geotérmico para distribuirlo a las viviendas para climatización e incluso para agua caliente sanitaria.

La energía térmica utilizada en 2009 fue de 121.696 GWh/año (438.071 TJ/año), lo que significa un 60,2% más que en 2005 (9,9% de incremento anual). Ello supuso un ahorro energético por año estimado de 307,8 millones de barriles de petróleo (46,2 millones de toneladas), así como un ahorro de emisiones de 148,2 millones de toneladas de CO_2 (comparado con el empleo de petróleo para generar electricidad).

2.2. Programa conjunto EERA sobre Energía Geotérmica (JPGE)

El programa conjunto EERA sobre energía geotérmica[16] (JPGE - Joint Program Geothermal Energy) tiene como objetivo contribuir para que se cumplan los objetivos de política energética de la Unión Europea para el año 2020. El objetivo de "Joint Programme on Geothermal Energy" (JPGE) consiste en desarrollar y poner en marcha proyectos innovadores y eficientes en coste para:

- Mejorar significativamente la producción de los recursos ya identificados y utilizados
- Explorar a gran escala nuevos sistemas hidrotermales profundos (hasta 6 km)
- Desarrollar sistemas geotérmicos que permitan la implantación a gran escala.
- Acceder a nuevos recursos de gran potencial como fluídos supercríticos o sistemas magmáticos.
- Mejorar la sostenibilidad ambiental y la aceptación social de los proyectos geotérmicos.

Se desarrollará durante más de diez años y reunirá a más de 250 científicos de 12 centros de investigación diferentes. Las infraestructuras necesarias, se intercambiarán y compartirán entre los participantes de los distintos subprogramas.

El programa JPGE ha sido creado en estrecha colaboración con la Comisión Europea y organizaciones de geotermia como EGEC[17], con el propósito de crear un único programa europeo de energía geotérmica.

JPGE promoverá iniciativas en materia de educación y formación relativas al sector geotérmico y estará abierta a las distintas organizaciones de investigación que pueden proporcionar una importante contribución tanto de recursos como de infraestructuras.

[16] http://www.eera-set.eu/index.php?index=36
[17] www.egec.org

2.2.1. Asociación Geotérmica Internacional (IGA)

Link: http://www.geothermal-energy.org/index.html

La asociación geotérmica internacional es una organización sin ánimo de lucro; cuyos objetivos se centran en fomentar la investigación, el desarrollo y la utilización de las fuentes de energía geotérmica a nivel mundial mediante la publicación de información técnica e científica entre los especialistas en geotermia, representantes del gobierno, la sociedad y el público en general.

IGA es socio fundador de la Alianza Internacional de Energías renovables (REN Alliance). Esta alianza está formada por cinco asociaciones de energías renovables que promueven las energías renovables a nivel mundial, como son: the International Hydropower Association (IHA), the International Solar Energy Society (ISES), the World Bioenergy Association (WBA) and the World Wind Energy Association (WWEA).

A comienzos de 2001, se lanzaron tres estrategias por parte de tres importantes organizaciones internacionales en el área de la energía.

Estas estrategias son:

- Roadmap tecnológico - energía y calor geotérmico (Technology Roadmap – Geothermal Heat and Power, Agencia Internacional de la energía (IEA))
- Informe especial sobre Fuentes de energía Renovables y cambio climático (Special Report on Renewable Energy Sources and Climate Change Mitigation), Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC)
- Situación global Renovables 2011 (Renewables 2011 Global Status)

A continuación, vamos a ver con más detalle en qué consisten estas tres estrategias:

Technology Roadmap – Geothermal Heat and Power, International Energy Agency (IEA)

The "Technology Roadmap - Geothermal Heat and Power"[18] fue lanzado por la Agencia Internacional de la Energía con motivo de la conferencia anual EURELECTRIC[19] en Estocolmo.

Con esta serie de roadmaps formulados por la Agencia internacional de la Energía, se pretende proporcionar una guía que sirva para ayudar a los gobiernos, industria y centros de investigación para proponer medidas con el objetivo de incrementar el uso de energías renovables.

Un objetivo claro es el de aumentar el porcentaje que ocupa la geotermia en el mix global de generación de energía del 0,3% actual al 3,5% en 2050.

[18] http://www.iea.org/papers/2011/Geothermal_Roadmap.pdf
[19] http://www.eurelectric.org/

Este roadmap destaca como principales pasos:

- Alcanzar un mayor desarrollo de los yacimientos geotérmicos de depósitos de alta entalpía con el aumento del uso del calor geotérmico mediante plantas de energía binaria
- Aumentar los esfuerzos en investigación y desarrollo (I + D) de los recursos submarinos, las aguas de mina, la tecnología de perforación y sistemas geotérmicos mejorados (EGS). Se necesita un aumento de los proyectos de EGS (Enhanced Geothermal Energy).
- Establecer las condiciones marco geotérmicas favorables al inversor (concesiones, tarifas, acuerdos de Compra de Energía, moratorias fiscales, planes maestros nacionales de la energía).

Special Report on Renewable Energy Sources and Climate Change Mitigation (SRREN), Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC)

El grupo intergubernamental sobre cambio climático (Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC)) fue creado en 1988 por la Organización mundial metereológica (WMO) y el programa ambiental de las Naciones Unidas (UNEP); con el objetivo de proporcionar una visión científica del conocimiento sobre cambio climático y sus impactos ambientales y socio-económicos.

En Abril de 2008, un comité de 120 expertos elaboraron el "Special Report on Renewable Energy Sources and Climate Change Mitigation"[20], que proporciona líneas de actuación sobre cómo el 80% de la energía puede ser proporcionado mediante energías renovables en el año 2050.

Este informe se centra en los siguientes seis tipos de energías renovables: bioenergía, energía geotérmica, solar, energía oceánica, energía hidroeléctrica y la energía eólica se presentan en detalle.

Respecto a la energía geotérmica, los autores de este informe estiman un aumento de 140-160 GW para el año 2050 (actualmente 11GW).

Renewables 2011 Global Status Report, REN21

El REN21[21], se elaboró a partir de la conferencia Internacional de Energías Renovables que tuvo lugar en 2004 en Bonn (Alemania).

El Informe sobre la situación mundial de 2011 se centra en las condiciones y el marco normativo favorable al inversor y ofrece información sobre las tendencias del mercado y la evolución de la inversión.

2.3. Plataforma Europea de Frío y Calor Renovable

La Plataforma Europea de Frío y Calor Renovable[22] (RHC-Platform) agrupa las partes interesadas de biomasa, geotermia y sector solar térmico y las empresas relacionadas- para

[20] http://srren.org
[21] http://www.ren21.net/Portals/97/documents/GSR/REN21_GSR2011.pdf
[22] http://www.rhc-platform.org/cms/

definir una estrategia común con el objetivo de aumentar el uso de las tecnologías de energías renovables, tanto para frío como para calor.

La Plataforma Tecnológica Europea sobre calefacción y refrigeración renovables juega un papel muy importante para aumentar las sinergias y fortalecer los esfuerzos en investigación, desarrollo e innovación tecnológica en el sector. El conjunto de la sociedad se beneficiará de la creciente contribución del calor y frío renovables para cumplir los objetivos 20/20/20 marcados por la Unión Europea en el año 2020.

Esta Plataforma dirige sus esfuerzos hacia la coordinación de programas de I+D+i europeos, tanto a nivel nacional como regional; y las distintas iniciativas en el sector de calor y frío renovables.

La plataforma RHC impulsa el establecimiento de asociaciones público-privadas eficaces y proporciona una interfaz cualificada entre la Unión europea y los estados miembros para el desarrollo de la política de investigación y la planificación de los distintos programas.

2.4. European Geothermal Energy Council

El Instituto Europeo de Energía Geotérmica[23] (EGEC), se fundó en 1998 en Bruselas como una asociación internacional sin ánimo de lucro. Tiene más de 110 miembros de 22 países europeos; entre los que figuran empresas privadas, consultoras, centros de investigación, diversas autoridades públicas, etc.

El propósito de esta organización consiste en promover la utilización de la energía geotérmica, de la siguiente manera:

- Llevar a cabo acciones entre las distintas instituciones europeas para implementar un marco de trabajo legal e institucional que permita que las fuentes de energía geotérmica puedan competir con otras fuentes de energía más convencionales y asegurar las ayudas económicas teniendo en cuenta los beneficios ambientales.
- Fomentar la investigación y el desarrollo; permitiendo el acceso a los resultados de las investigaciones al público y maximizando el uso de esta fuente de energía renovable.
- Promover el desarrollo del mercado de la energía geotérmica en Europa y exportar tecnología, servicios y equipos a otros lugares del mundo.
- Representar los intereses de la industria europea de la energía geotérmica y de los usuarios frente a gobiernos e instituciones europeas.
- Cooperar con asociaciones geotérmicas, tanto nacionales como internacionales, y con organizaciones de investigación que promuevan la investigación y la aplicación de las fuentes de energía renovables; con el objetivo de lograr el desarrollo y la implantación de la energía geotérmica en Europa.

3. Potencial

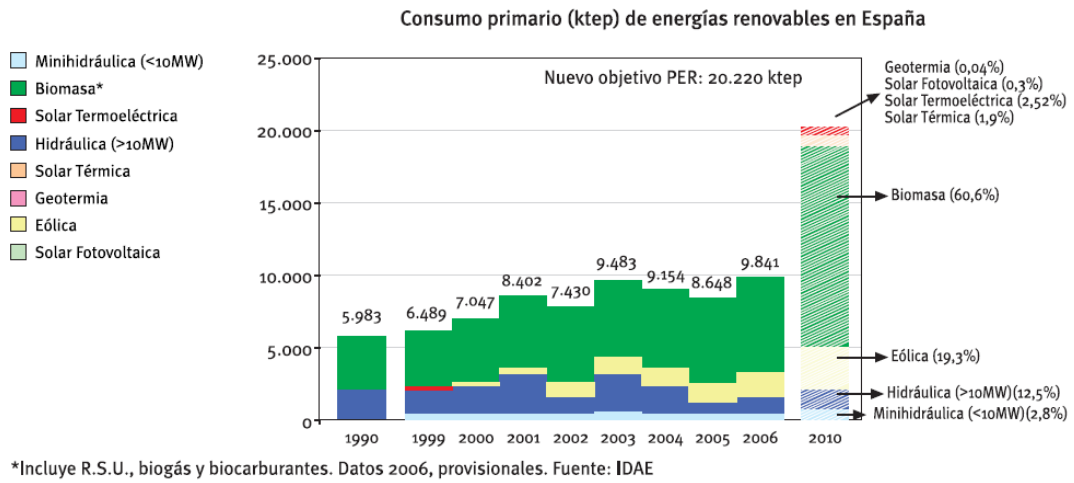
3.1. Potencial a nivel nacional

La energía geotérmica en España tiene un gran potencial de utilización; pero sin embargo, como se aprecia en la gráfica expuesta a continuación, todavía tiene una escasa penetración

[23] http://egec.info/publications/

en el sector energético español, tanto para usos térmicos a escala doméstica como a escala industrial para generación de energía eléctrica.

Figura: Consumo primario (ktep) de energías renovables en España. En concreto para el año 2010, el consumo se desglosa de la siguiente manera: Biomasa 60,6%, Eólica 19,3%, Hidraúlica 12.5%, Geotermia 0,04%, Solar fotovoltaica 0.3%, Minihidraúlica 2.8%, Solar termoeléctrica 2.52% y Solar térmica 1.9%.



Fuente: IDAE

La existencia de numerosas fuentes termales en la geografía de España es una evidencia de las múltiples posibilidades que el subsuelo español presenta en cuanto a recursos de energía geotérmica.

Los **recursos geotérmicos de baja entalpía** ligados a almacenes sedimentarios profundos se sitúan fundamentalmente en la zona norte de Madrid, donde se localiza un almacén asociado a materiales detríticos (arenas y gravas) a profundidades de 2.000-2.500 m, con temperaturas del orden de 80°C y caudales previsibles del orden de 150-200 m^3/h.

Se han localizado cerca de las poblaciones de León, Burgos y Valladolid almacenes algo menos profundos (menos de 1.500 m); con caudales y temperaturas inferiores a las del norte de Madrid, y con menor salinidad.

Son muy diversas las áreas montañosas en las que se pueden localizar almacenes geotérmicos de baja temperatura a profundidades no superiores a 1km, salinidades bajas y niveles de temperatura entre 40 y 80°C que podrían ser utilizados para uso directo y que están ligados a diferentes materiales (granitos, materiales sedimentarios o materiales volcánicos, según la zona).

Respecto a **recursos de muy baja entalpía**, existen numerosos acuíferos muy someros en distintas zonas de todo el territorio; aunque en muchos casos poseen propiedades químicas que no permiten su empleo en abastecimientos; por lo la opción de utilizarlos para su aprovechamiento energético resulta muy interesante.

Los **recursos de media temperatura** se han localizado en varias zonas de la península, mediante investigaciones geotérmicas o mediante la exploración de hidrocarburos.

A modo indicativo cabe señalar que este tipo de recursos se ha reconocido en diversas zonas como las Cordilleras Béticas, Galicia y Cataluña, Aragón y Madrid; aunque en algunos casos puede ser necesaria la aplicación de las técnicas de EGS para incrementar la productividad de los almacenes.

En cuanto a **recursos de alta temperatura**, si bien no se descarta su presencia en algunas zonas de la península, los esfuerzos investigadores se centran en Canarias

La geotermia, por su carácter renovable, su capacidad de suministro constante y su elevado potencial se plantea como una clara opción de futuro.

En la Unión Europea, el crecimiento de las energías renovables previsto en el sector calefacción y refrigeración para el año 2020 duplica las cifras actuales. En estas previsiones destaca un crecimiento muy importante para la energía geotérmica con bomba de calor.

El futuro de la tecnología geotérmica en España

En la actualidad, el máximo interés y la investigación geotérmica se concentra en la localización de estructuras favorables para el desarrollo de yacimientos geotérmicos de alta temperatura, aun sin la existencia de fluido o con muy baja permeabilidad. El potencial en España para este tipo de yacimientos, aunque aún está sin evaluar completamente, parece ser significativo. En el último año han comenzado a aparecer empresas con el objetivo de desarrollar proyectos de geotermia HDR/EGS para producción de energía eléctrica.

En una primera aproximación, las zonas con posibilidad de recursos en éste área podrían situarse en Cataluña, Islas Canarias, Madrid, etc. A corto plazo, los trabajos a realizar se centrarán en localizar las zonas favorables para el desarrollo de este tipo de yacimientos geotérmicos; para a medio plazo pasar a investigaciones más exhaustivas, basadas en sondeos exploratorios profundos en una zona preseleccionada.

No es previsible la instalación de una central geotérmica de “roca caliente seca” en un plazo de cinco años, pues independientemente del recurso es necesario estudiar todas las posibles consecuencias (sismicidad inducida) que se puedan derivar de la inyección de agua a grandes profundidades (3.000-5.000 m) para fracturar la roca.

A corto plazo, se plantea la búsqueda de recursos geotérmicos para la producción de electricidad e identificar las áreas con mayores posibilidades, realizando una estimación del potencial geotérmico de dichas áreas.

La prospección de hidrocarburos a elevadas profundidades ha llevado a las compañías de perforación a desarrollar técnicas y disponer de equipos capaces de lograr ese objetivo. Esto permite a la geotermia aprovecharse de las nuevas tecnologías de perforación profunda para satisfacer sus necesidades.

Igualmente, el desarrollo de turbinas de producción de electricidad a partir de fluidos a temperaturas no muy elevadas permite a la geotermia disponer de tecnologías para la producción de electricidad a partir de recursos geotérmicos de temperaturas notablemente inferiores a las que se necesitaban hace unos años.

En lo referente a usos térmicos, en España se está produciendo un incipiente despegue en aprovechamientos geotérmicos de muy baja temperatura a través de la bomba de calor, tanto desde el punto de vista del usuario final como de los promotores inmobiliarios y del sector industrial, por tratarse de una tecnología eficiente para calefacción, refrigeración y agua caliente sanitaria con unos destacados ahorros energéticos.

Las bombas de calor geotérmicas suelen aplicarse a instalaciones domésticas y comerciales de pequeña y mediana potencia. La instalación doméstica típica de bomba de calor geotérmica tendrá una potencia de 12 kWt y funcionará entre 1.000 y 1.500 horas anuales equivalentes, mientras que para una instalación comercial o institucional la potencia típica es de 150 kWt. La Agencia de Protección Medioambiental de Estados Unidos ha evaluado las bombas de calor geotérmicas (conocidas como GHP's) como la más eficiente de las tecnologías de calefacción y enfriamiento[24].

La instalación de este tipo de instalaciones se ve favorecida por dos tipos de factores. Por un lado, en el mercado existe una amplia oferta de bombas de calor, de distintas potencias, con precios asequibles, alta fiabilidad y que no necesitan personal altamente cualificado para su instalación y funcionamiento. Por otro lado, el potencial en recursos geotérmicos de baja temperatura y muy baja temperatura es muy alto porque existen muchas zonas utilizables, más numerosas y extensas que las zonas de media y alta temperatura.

Es por todo lo anterior por lo que el desarrollo en España de esta área será muy importante en un futuro próximo.

3.2. Potencial a nivel europeo

La Agencia Internacional de la Energía[25] plantea los siguientes hitos para llevar a cabo durante los próximos diez años:

- Establecer metas a mediano plazo para tecnologías maduras y metas a largo plazo para tecnologías avanzadas, lo que aumenta la confianza del inversor y la aceleración de la expansión de la energía y el calor geotérmico.
- Introducir esquemas de incentivos económicos diferenciados para el calor geotérmico y la energía geotérmica.
- Desarrollar a disposición del público las bases de datos, protocolos y herramientas para la evaluación de los recursos geotérmicos y la gestión de embalses en curso para ayudar a difundir conocimientos y acelerar el desarrollo.
- Desarrollar las bases de datos, protocolos y herramientas (a disposición del público) para la evaluación de los recursos geotérmicos y la gestión de embalses en curso para ayudar a difundir el conocimiento y acelerar el desarrollo.
- Introducir procedimientos simplificados y eficientes para la expedición de permisos para el desarrollo geotérmico.

[24] www.idae.es/index.php/mod.documentos/mem.descarga?file=/documentos_10952_Manual_Geotermia_A2008_e3bf1e59.pdf
[25] http://www.iea.org/papers/2011/Geothermal_Roadmap.pdf

- Proporcionar recursos a la investigación y desarrollo (I + D), para planificar y desarrollar al menos cincuenta plantas piloto de energía geotérmica durante los próximos 10 años.
- Ampliar y difundir el conocimiento de la tecnología de energía geotérmica para mejorar la producción, la sostenibilidad de los recursos y la gestión de la salud, seguridad y medio ambiente (HSE).
- En los países en desarrollo, ampliar los esfuerzos de las organizaciones de ayuda multilateral y bilateral para desarrollar rápidamente los recursos hidrotermales disponibles más atractivos, haciendo frente a las barreras económicas y no económicas.

Tabla: Roadmap geotérmico propuesto por la AIE

Procesos de habilitación para la energía geotérmica Evaluación de recursos geotermales		
Recomendaciones del roadmap	**Plazos**	**Interesados**
Ampliar bases de datos geológicos para desarrollar una base de datos accesible al público de los recursos geotérmicos.	2011-2015	Gobierno, industria geothermal e institutos de investigación.
Desarrollar un enfoque integrado para la identificación de roca caliente y recursos hidrotermales avanzados, y evaluación de su potencial geotérmico.	2011-2020	Instituciones de investigación e Industria geotérmica
Desarrollar herramientas y modelos de energía geotérmica del subsuelo, para la identificación de rocas calientes y sitios hidrotermales ocultos	2015-2025	Centros de investigación, industria de los hidrocarbonos y la industria geotérmica.
Acceso a los recursos e ingeniería		
Recomendaciones del roadmap	**Plazos**	**Interesados**
Desarrollar tecnología más baratas de perforación para exploración, evaluación de recursos, y el desarrollo y explotación de los yacimientos	2011-2025	Industria de la perforación, centros de investigación, industria de los hidrocarburos y la industria geotérmica.
Mejorar el rock duro y de alta temperatura de alta presión, tecnología de perforación.	2011-2020	Industria de la perforación, centros de investigación, industria de los hidrocarburos y la industria geotérmica.
Mejorar la instrumentación y la vigilancia de los pozos.	2011-2010	Industria de la perforación, centros de investigación, industria de los hidrocarburos y la industria geotérmica.
Uso del calor geotérmico		
Recomendaciones del roadmap	**Plazos**	**Interesados**

Aumentar la eficiencia y el rendimiento de producción combinada de calor y electricidad (CHP) mediante la mejora de la producción de componentes tales como bombas, intercambiadores de calor. Optimizar el equilibrio entre el calor y potencia de la carga de cogeneración geotérmica.	2011-2015	Distrito de la industria de calor, la investigación institutos y geotérmica de la industria.
Explorar las posibilidades de expansión del uso del calor geotérmico mediante el uso en cascada, en acondicionamiento de locales y aplicaciones de cogeneración de piedra caliente.	2015-2025	Distrito de la industria de calor, la investigación institutos y geotérmica de la industria.
Tecnologías avanzadas de energía geotérmica (EGS)		
Recomendaciones del roadmap	**Plazos**	**Interesados**
Desarrollo de plantas piloto de energía geotérmica en distintos ambientes geológicos.	2011-2020	Industria geotérmica, gobiernos y centros de investigación
Desarrollo de Técnicas de Simulación hidráulica, químicas, Térmicas para mejorar el modelado de yacimientos y aumentar la producción de energía geotérmica.	2011-2030	Industria geotérmica y centros de investigación
Mejorar la gestión de la salud, la seguridad y medio ambiente (HSE), incluyendo los riesgos asociados con la sismicidad inducida.	2011-2020	Industria geotérmica y centros de investigación
Darse a largo plazo la disponibilidad del recurso, el seguimiento y la gestión de embalses en bienes y servicios ambientales.	2015-2025	Industria geotérmica y centros de investigación
Ampliar las plantas a 50 MW y posteriormente a 200 MW; apilando módulos en serie y/o en paralelo.	A partir de 2025	Industria geotérmica
Tecnologías avanzadas de energía geotérmica: otros		
Recomendaciones del roadmap	**Plazos**	**Interesados**
Explorar la viabilidad de formas alternativas para explotar recursos de rocas calientes.	2011-25	Centros de investigación, gobierno e industria geotérmica

BORRADOR

Explorar la viabilidad de tecnologías alternativas para explotar los recursos hidrotermales, como los fluidos supercríticos y co-produjo el agua caliente de los pozos de gas y petróleo.	2011-2020	Centros de investigación, gobiernos, e industria geotérmica
Explorar la viabilidad de tecnologías alternativas para explotar recursos hidrotermales off-shore.	2020-2040	Centros de investigación, national governments and geothermal industry

Tabla: Marco regulatorio e incentivos de apoyo

Marco regulatorio e incentivos de apoyo		
Recomendaciones del Roadmap	**Hitos**	**Interesados**
Establecer objetivos a medio plazo para tecnologías geotérmicas maduras y objetivos a largo plazo de tecnologías avanzadas de energía geotérmica para producir electricidad y calor. Estos objetivos deberían basarse en la exploración del potencial de todos los tipos de recursos geotérmicos y serán incluidos en un marco de política general.	2011-15	Gobierno
Introducir incentivos económicos diferenciados, tales como las primas de las tarifas, las normas de la cartera de renovables, mediante un marco regulatorio transparente y predecible para salvar las diferencias competitivas respectivas.	Comienza en 2011, finalizándolo en función del Desarrollo de la competitividad.	Gobierno
Presentar incentivos económicos innovadores para el uso del calor geotérmico.	Comienza en 2011, finalizándolo en función del Desarrollo de la competitividad.	Gobierno
Facilitación del mercado y la transformación		
Recomendaciones del Roadmap	**Hitos**	**Interesados**

BORRADOR

Introducir los procedimientos de autorización simplificados y eficientes para las plantas geotérmicas y desarrollar procedimientos específicos para la energía geotérmica	2011-2015	Gobierno
Desarrollar y utilizar protocolos para crear apoyos a la energía geotérmica en la comunidad y facilitar la comprensión de la micro sismicidad.	2011-2020	Desarrolladores de energía geotérmica y Gobierno
Introducción de políticas que cubran los riesgos financieros relacionados con la explotación geotérmica. Consider introduction of policies to cover the financial risk involved in geothermal exploration. Develop financial instruments covering this phase of geothermal development.	Start 2011	Gobierno, bancos de desarrollo y bancos comerciales.
Mejorar la capacitación, educación y sensibilización de los trabajadores cualificados a lo largo de la cadena de valor geotérmica; ampliando el alcance de los grupos profesionales.	Start 2011	Gobierno, industria geotérmica y centros de investigación
Apoyo a I+D		
Recomendaciones del Roadmap	**Hitos**	**Interesados**
Aumentar la financiación pública de I+D	2011-20	Gobierno
Garantizar el mantenimiento de la financiación de I + D + D a largo plazo, también a través de asociaciones público-privadas.	2020-2040	Gobierno y sector privado
Colaboración internacional y despliegue de las economías en desarrollo		
Recomendaciones del Roadmap	**Hitos**	**Interesados**
Ampliar la colaboración internacional en I + D, haciendo el mejor uso posible de las competencias nacionales.	Inicio de 2011	Centros de investigación, universidades, Gobierno, industria geotérmica.
Desarrollar mecanismos para el desarrollo de energía geotérmica en los países en desarrollo.	Inicio de 2011, dependiendo del desarrollo de la competitividad	Bancos de desarrollo, ONG, Gobiernos.

BORRADOR

Ampliar el objetivo del despliegue de energía limpia.	Inicio de 2011, dependiendo del desarrollo de la competitividad	Bancos de desarrollo

Fuente: Agencia Internacional de la Energía

4. Barreras

Algunas de las principales barreras que impiden la imputación comercial de la energía geotérmica a gran escala son:

- La puesta en marcha de proyectos de aprovechamiento energético requiere un complejo entramado normativo que puede perjudicar el futuro desarrollo de la geotermia en España
- Para los recursos geotérmicos someros es necesario que se establezca un sistema de tramitación y régimen concesional más sencillo y homogéneo para todas las comunidades autónomas. Y en el caso de potencias muy pequeñas, resulta esencial que se simplifique el régimen.
- En lo referente a normativa ambiental y de aguas, debe conseguirse que se disminuyan los plazos de tramitación tan largos que existen actualmente y que pueden hacer inviables muchos proyectos de energía geotérmica.
- Es necesario un mayor desarrollo normativo que sirva de referencia y apoyo a los instaladores de instalaciones de energía geotérmica.
- La geotermia deberá estar contemplada en toda la normativa energética, no solo la relativa a la producción eléctrica con renovables; sino también a la producción de calor, agua caliente sanitaria (ACS) y frío con estas energías.
- Es necesaria una mayor formación de los arquitectos en la tecnología relacionada con la geotermia; ya que se trata de instalaciones más complejas que las solares por ejemplo.
- Las instalaciones de bombas de calor son muy habituales en otros países de Europa; sin embargo, en España no han tenido el empuje necesario para su crecimiento debido a las críticas que algunos sectores plantean a este tipo de aprovechamiento debido a su consumo de energía eléctrica.
- La correcta adecuación de las bombas de calor convencionales a las características específicas de las instalaciones geotérmicas es otra parámetro a mejorar

5. Otras aplicaciones

A continuación describiremos algunos otros tipos de aplicaciones de la energía geotérmica:

Mantenimiento de carreteras

El mantenimiento de carreteras en invierno, evitando la congelación y la formación de hielo en el pavimento, se puede realizar mediante el uso de calor geotérmico; de una forma sostenible y respetuosa con el medio ambiente.

La nieve y el hielo son la causa de numerosos accidentes en las carreteras y en las ciudades. El buen mantenimiento de las carreteras durante el invierno es un factor muy importante para garantizar la circulación durante este periodo.

El calentamiento de zonas exteriores mediante energía geotérmica se basa principalmente en intercambiadores de calor instalados en el pavimento; cuya capacidad de calentamiento dependerá de las condiciones climatológicas y de las especificaciones técnicas.

Fundir la nieve requiere de temperaturas más altas que la prevención de la formación de hielo.

Se pueden utilizar distintas fuentes: uso directo de agua calentada geotérmicamente, uso directo de aguas subterráneas cálidas, uso de intercambiadores de perforación o pilas de energía. También se puede combinar con el uso de bombas geotérmicas

Se han construído en todo el mundo un gran número plantas geotérmicas piloto para ser utilizadas para eliminar el hielo de las carreteras.

En Estados Unidos se han llevado a cabo varios proyectos de calentamiento geotérmico de puentes y carreteras; algunos de ellos combinados con bombas goetérmicas. Otros utilizan almacenamiento de calor estacional.

En la década de los años noventa, varias plantas encargadas de fundir hielo basadas en calor geotérmico se construyeron en Japón, que tiene una gran tradición en el uso de energías renovables para fundir el hielo.

- **Proyecto Geovial**

El objetivo del proyecto es el desarrollo de una metodología necesaria para la realización de sistemas de deshielo en carreteras mediante el uso de energías renovables.

Tras el estudio de distintos escenarios y tecnologías se decidió realizar un sistema piloto formado por un sistema geotérmico instalado en la calzada o almacenamiento estacional de calor en el subsuelo. Ambos serán evaluados a partir de los resultados del ensayo de respuesta térmica (ERT) y ensayos geofísicos que determinen la mayor eficiencia energética e idoneidad técnica para la implantación de uno de los sistemas.

Para la ubicación del ensayo piloto, se ha seleccionado la rampa de acceso al aparcamiento del centro de conservación de la N-230 en Vielha (Lérida), por tratarse de entre todos los contratos conservación gestionados por Valoriza Conservación de Infraestructuras, S.A.U., el que reúne las condiciones de vialidad invernal más extremas.

La idea de funcionamiento del sistema consiste en almacenar en el subsuelo la suficiente energía calorífica -solar- inyectado durante los meses de verano o directamente captar dicha energía del suelo, para su aprovechamiento posterior en el deshielo de la rampa de acceso al aparcamiento durante el invierno, minimizando el consumo eléctrico de una bomba de calor.

Para ello, si las condiciones del subsuelo lo permiten, el calor solar incidente durante todo el año y recogido mediante paneles solares se inyectará en el terreno o se emplearán las perforaciones para captar energía geotérmica (temperatura constante a lo largo del año) mediante sondeos de geointercambio.

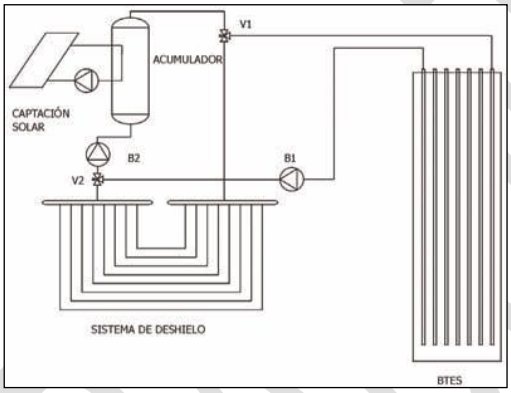
Cuando se requiera esta energía para calentar el pavimento se extraerá la energía de los sondeos de geointercambio.

La instalación consta de tres subsistemas:

- Sistema de intercambio de calor colocado bajo el pavimento del aparcamiento (sistema de deshielo).
- Sistema de almacenamiento estacional de calor (BTES)/Sistema de intercambio geotérmico.
- Sistema de captación solar.

En la siguiente figura se muestra un esquema general de funcionamiento del sistema de deshielo de la instalación.

Figura: Esquema general de funcionamiento del sistema de deshielo



Fuente: www.obrasurbanas.es

Existen dos circuitos separados:

- El circuito del sistema solar, que transfiere la energía al depósito de acumulación mediante un serpentín situado en su interior.
- El circuito BTES-Sistema de deshielo que comprende la distribución del fluido portador del calor por los sondeos geotérmicos (BTES) y bajo el pavimento de la rampa de acceso al parking. Mediante las válvulas de tres vías se dirige el caudal de forma que se lleve el calor de intercambio del BTES al sistema de deshielo (o el calor del acumulador al BTES).

Existe una tercera opción consistente en atemperar el pavimento, a través del acumulador, mediante el sistema solar. Esta configuración se utilizará en el caso de que la temperatura del aire sea baja pero exista insolación suficiente.

El sistema de deshielo se instalará bajo una superficie aproximada de 150 m^2 que comprenderá la rampa de acceso al parking del centro de control. Se ha calculado una potencia nominal para el sistema de 190 W/m^2 lo que supone 30 kW para toda la instalación.

La profundidad de las perforaciones llegaría hasta los 150 m para captar la mayor parte posible de roca sana del substrato de pizarras que se halla en profundidad, donde la temperatura del terreno se empieza a ver afectada por el gradiente geotérmico (1ºC/30m de profundidad), ya que cuanto mayor sea la temperatura de intercambio terreno/sondeo geotérmico, mayor será la eficiencia energética del sistema de deshielo.

BORRADOR

La instalación solar tiene como misión recargar el almacenamiento BTES. Para ello, se inyectará calor al BTES siempre que la temperatura que se pueda obtener en el sistema solar sea superior a la temperatura media del almacenamiento. En el caso de que ésta fuera menor, se circulará el calor.

Hasta la fecha de Abril 2010, en el proyecto GEOVIAL se habían desarrollado:

- Una metodología para el cálculo de las necesidades de calor de los sistemas de deshielo
- Un modelo en diferencias finitas para el intercambio de calor entre tuberías, pavimento y atmósfera
- El cálculo y diseño de una instalación piloto a ubicar en la rampa de acceso al parking del edificio de control del túnel de Vielha.

Utilización de la energía geotérmica en agricultura[26]

El uso de la energía geotérmica resulta especialmente indicado para su utilización en áreas rurales incluídas dentro de los objetivos de política regional de la Unión Europea.

La energía geotérmica se ha utilizado en muchos países europeos para calentar invernaderos durante los últimos 25 años. Los motivos que han llevado al uso de la energía geotérmica han sido:

- Los invernaderos son uno de los mayores consumidores de energía de baja entalpía en agricultura. Las ubicaciones de los invernaderos suelen estar próximos a reservas de energía geotérmica de baja entalpía
- La energía geotérmica requiere instalaciones sencillas.
- En numerosas ocasiones la energía geotérmica resulta competitiva económicamente.
- Las fuentes de energía que están disponibles de manera local para la producción de alimentos poseen una gran importancia estratégica.

Climatización en invernaderos con energía geotérmica[27]

Para la correcta utilización de la energía geotérmica en invernaderos, en primer lugar se debe realizar un análisis fundamental de las necesidades térmicas dentro del mismo, escogiendo un cultivo de la lista de los apropiados para el desarrollo en invernadero. Se deben estudiar las necesidades de temperatura y humedad relativa dentro del invernadero, según sus fases de desarrollo: germinación, crecimiento vegetativo y fructificación.

A continuación, se realiza un balance energético en el invernadero; es decir, un cálculo de las pérdidas de energía dentro del invernadero.

Con los datos disponibles, se calculan las aportaciones y las pérdidas de calor dentro del invernadero y se estima la demanda energética. Con ello se conoce la potencia calorífica requerida en la instalación, con la que después se hará el diseño de la bomba de calor que habrá que instalar en el invernadero.

[26] http://egec.info/wp-content/uploads/2011/03/Brochure-AGRICULTURE1.pdf
[27] http://www.ambientum.com/revista/2011/abril/Climatizacion-invernaderos-energia-geotermica.asp

El siguiente paso consiste en realizar un estudio de las características geotérmicas que debe de cubrir el invernadero, con el fin de poder definir correctamente cómo debe de ser el sistema geotérmico del invernadero y los intercambiadores. Por último se dimensiona la bomba de calor para la instalación.

Aunque inicialmente un sistema con bomba de calor geotérmica implica un coste de inversión elevado respecto a una instalación convencional, el ahorro que supone hace que su periodo de amortización se sitúe entre cuatro y ocho años.

Desalinización geotérmica[28]

La energía geotérmica de baja entalpía (T>60°C) puede utilizarse en las plantas de desalinización de agua marina para producir agua potable tanto para consumo como para riego.

Una planta de energía geotérmica, tanto para la generación de energía como para otras aplicaciones, tiene grandes cantidades de calor disponible con un coste bajo. El método más económico para la desalinización del agua del mar es proporcionar calor geotérmico directamente a una planta MED (multi effect distillation).

Douglas Firestone comenzó en la desalinización con el sistema evaporación / condensación con aire caliente en 1998, probando que el agua geotermal se puede usar económicamente para producir agua desalinizada, en 2001.

Redes de distrito (district heating)[29]

Las redes de distrito son un sistema que distribuye calor desde una planta de generación centralizada hasta los usuarios; mediante la conexión a una red de calefacción y subestaciones. En muchos casos, las redes de distrito han sustituido a los sistemas de calefacción tradicionales en el que cada edificio es calentado mediante una caldera individual.

Entre las ventajas de las redes de distrito, figuran:

- Las redes de distrito son capaces de ajustarse mejor a la demanda de los usuarios
- Hay una reducción de costes importante
- Reduce las emisiones de gases de efecto invernadero y las pérdidas de calor

El enfriamiento geotérmico usando este tipo de redes está muy poco desarrollado en Europa, apenas llega a los 30 MWt de capacidad instalada.

6. Proyectos destacados

6.1. Proyectos I+D+i Geotermia Norvento

NORVENTO[30] está desarrollando el proyecto de "Investigación del recurso geotérmico orientado a la construcción de una central eléctrica de energía geotérmica en Galicia",

[28] http://egec.info/wp-content/uploads/2011/03/Brochure-DESALINATION1.pdf
[29] http://egec.info/wp-content/uploads/2011/03/Brochure-DISTRICT-HEATING1.pdf

[30] www.norvento.com

BORRADOR

financiado por el Ministerio Industria, Turismo y Comercio y el Fondo Europeo de Desarrollo Regional (FEDER).

En el Centro de Operación y Mantenimiento de Norvento en Vilalba (Galicia) se ha aprovechado la energía geotérmica, biomasa y solar para proporcionar a esta instalación de una autonomía prácticamente total en su consumo energético.

Estas instalaciones son compartidas con una instalación de investigación fotovoltaica de 100 kW donde se combinan distintos tipos de tecnología de paneles solares y seguidores con el objetivo de optimizar y desarrollar las futuras instalaciones solares.

La geotermia es una energía renovable muy poco desarrollada en nuestro país. Sin embargo, las posibilidades que ofrecen la energía geotérmica de baja temperatura para la calefacción, la climatización y el agua caliente en edificios públicos y viviendas particulares empiezan a interesar a las administraciones.

Un ejemplo representativo es el caso de Galicia. La Xunta[31] pretende "hacer accesible al conjunto de la sociedad gallega el uso cotidiano de la energía geotérmica". Hasta ahora el uso de la energía geotérmica se ha limitado de forma experimental en algunas escuelas infantiles y centros de salud (por ejemplo: la biblioteca de la Universidad de Vigo o el centro de salud de As Neves). La Xunta tiene como objetivo fomentar la implantación de la energía geotérmica de baja temperatura en Galicia, simplificando y facilitando el procedimiento de autorización de las instalaciones de este tipo de energía renovable.

6.2. Programa Geotcasa

En el marco del Plan de Energías Renovables en España 2005-2010, el 19 de mayo de 2010 fue publicada en el Boletín Oficial del Estado la Resolución de la Presidencia del Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía[32] (IDAE), por la que se establece la convocatoria y bases correspondientes para la habilitación de empresas en el Programa GEOTCASA de energía geotérmica en edificios (antes llamado GEOCASA).

Este programa fue anteriormente denominado GEOCASA.

Al igual que con los Programas BIOMCASA y SOLCASA, este Programa pretende establecer un sistema de financiación que impulse una oferta de calidad adaptada a las necesidades de los usuarios de agua caliente y climatización en edificios, utilizando la energía geotérmica, todo ello en el marco del Plan de Energías Renovables en España 2005-2010.

El programa promueve que empresas del sector, actuando como Empresas de Servicios Energéticos (ESE) contraten con el usuario un servicio integral de energía adaptado a sus necesidades y habiendo sido previamente habilitadas por el IDAE, puedan acceder a una línea específica de financiación de sus proyectos a partir de energía geotérmica.

Los objetivos de GEOT-CASA se centran en extender el uso de la energía geotérmica como fuente energética en edificios del siguiente modo:

[31] http://www.renovables-energia.com/
[32] www.idae.es

- En instalaciones adaptadas a las distintas necesidades del usuario
- Ofreciéndose al cliente un servicio integral de energía
- Garantizando el cumplimiento de la reglamentación aplicable
- Maximizándose la eficiencia energética

Para la financiación de los proyectos presentados por las empresas habilitadas que cumplan con los requisitos del Programa, el IDAE ha dispuesto un presupuesto específico de 3.000.000 euros.

6.3. Climatización de la estación de Pacífico - Metro de Madrid

Link: http://www.madrid.org/

La estación de Metro de Pacífico ha sido la primera estación del suburbano capaz de generar su propia energía para la climatización de las instalaciones gracias a un sistema de intercambio energético basado en la geotermia, que permite obtener calor y frío de la tierra.

Se encuentra en funcionamiento desde octubre de 2009 y permite ahorrar hasta un 75% de energía, reduciendo en un 50% las emisiones de CO_2.

Este proyecto puede marcar una tendencia en lo relativo al suministro energético de Metro de cara a su progresiva implantación en el resto de la red.

Se ha dotado de un sistema de climatización completamente respetuoso con el medio ambiente a los andenes de la línea 1 de la estación de Pacífico, así como a los cuartos técnicos y a los locales comerciales de la estación, lo que supone una superficie total de 1.090 m^2 (640 m^2 en andenes y 450 m^2, en locales comerciales y dependencias).

El sistema funciona mediante un intercambiador de calor terrestre y unas bombas de calor geotérmico que ceden calor al suelo cuando funcionan como refrigeración y absorben calor del suelo mientras funcionan como calefacción.

En las fases iniciales del proyecto se realizaron estudios previos de hidrogeología en la zona, para determinar la viabilidad del terreno y sus características en cuanto a temperatura, conductividad térmica media y profundidad del nivel freático.

A partir de los resultados de este estudio, se determinó la implantación de un intercambiador de calor terrestre formado por un bucle cerrado que consiste en 32 tubos en forma de 'U' de polietileno de alta densidad introducidos a unos 150 metros de profundidad, ya que a esa profundidad la temperatura del suelo es de unos 15ºC. Por el interior de estos tubos circularía un gel especial capaz de mantener unos determinados valores térmicos.

Este sistema presenta una serie de ventajas respecto a los sistemas tradicionales, como el ahorro energético y la menor dependencia del suministro eléctrico de la red.

Este proyecto ha supuesto una inversión de 620.000 euros (el 26% está financiado por la Comunidad de Madrid).

BORRADOR

6.4. Colegio público Ciudad de Capadocia en Trillo (Guadalajara)

El Ayuntamiento está ultimando la instalación de un sistema basado en la energía geotérmica, en el Colegio Público Ciudad de Capadocia en Trillo.

Se trata de una iniciativa del consistorio local (encargado del mantenimiento de la calefacción). La empresa ha finalizado las labores de la empresa realizando seis sondeos de algo más de 100 metros de profundidad cada uno, y cuya misión es captar la energía que será transferida a los radiadores del colegio mediante una bomba de calor.

El Ayuntamiento calcula que el nuevo sistema podría comenzar a funcionar en marzo de 2012. Esta solución geotérmica sustituirá a la actual calefacción de gasoil.

6.5. Edificio de viviendas con climatización geotérmica en Mataró

La empresa municipal de Urbanismo de Mataró, PUMSA, ha construido un edificio de viviendas dotado de un sistema de energía geotérmica para la calefacción y el aire acondicionado.

Se trata de un bloque de siete pisos de protección oficial. Por primera vez se aprovecha en un edificio la energía calorífica contenida en el subsuelo para que las viviendas tengan un sistema propio de climatización. Este sistema pionero ha hecho que se otorgara uno de los galardones de los Premios de Eficiencia Energética Isover 2011.

El inmueble ocupa una superficie de 220 m^2 y se distribuye en: dos plantas, piso más cubierta, planta baja y cuatro plantas subterráneas para el aparcamiento.

Se presenta como un modelo de arquitectura sostenible que ha obtenido una calificación energética de clase A, que representa haber recibido la máxima puntuación que concede la Generalitat en los edificios con sistemas de ahorro energético.

El edificio cuenta con controles de dióxido de carbono, para analizar los niveles y renovar el aire. Como protección de las posibles radiaciones que pueda emitir la estación transformadora situada en la planta baja, también se han colocado láminas de plomo.

6.6. Nueva sede del BBVA

La nueva sede del BBVA en Las Tablas es un complejo de edificios de 250.000 m^2; con parte de su superficie destinada a aparcamientos. Durante la construcción se consideró importante la integración en el edificio de sistemas de intercambio y generación de energía a partir de fuentes renovables.

Se pretende aprovechar el enorme potencial de intercambio geotérmico de las estructuras enterradas del edificio (más de 7.000 m^2 de muros de pantalla y 30.000 m^2 de soleras y losas) con un potencial total aproximado de 600 kW térmicos.

Se asignó un sector del edificio al sistema de climatización con intercambiador geotérmico, en el que se plantean dispositivos de viga fría para la climatización con temperaturas moderadas y alto rendimiento con baja potencia. La potencia total del sistema proyectado es de 250 kW aproximadamente para refrigeración y 270 kW para calefacción

BORRADOR

La reducción del consumo energético respecto a un sistema convencional se estima en un 50-60% del consumo de energía primaria y una reducción del 3-5% de emisiones de CO_2. La reducción de los costes de mantenimiento de la instalación se cifra en torno a un 50%.

6.7. Proyectos en Estados Unidos

6.7.1. Proyectos innovadores seleccionados por el DOE

Link http://apps1.eere.energy.gov/

El secretario de Energía anunció en 2010 la creación de unas ayudas de 20 millones de dólares para investigar, desarrollar y demostrar las tecnologías de vanguardia geotérmica que podría reducir la demanda de EE.UU. de los combustibles fósiles, reducir significativamente la contaminación de carbono, y crear nuevos puestos de trabajo

Estos siete proyectos demostrarán la viabilidad técnica y económica de tecnologías no convencionales de energía geotérmica en tres áreas de investigación: fluidos de baja temperatura, los fluidos geotérmicos recuperados de pozos de petróleo y gas, y fluidos geotérmicos de alta presión.

Estos fondos ayudarán a enseñar y comercializar tecnologías innovadoras para reducir los altos costos iniciales de desarrollo geotérmico y ayudar a que el despliegue operativo de unidades de temperatura geotérmica de baja más económico.

Se han seleccionado los siguientes proyectos, relacionados con fluídos geotérmicos de baja temperatura destacan:

- **Energent Corporation – Dixie Valley, Nevada - 1,2 millones de dólares.** Energent presentará las innovadoras características de una planta de energía geotérmica con un diseño resistente al calor de un intercambiador que permitirá un mayor uso de recursos de baja temperatura. La planta de energía tiene el potencial para aumentar la producción de energía del flujo de la salmuera en un 40% más que la tecnología actual.
- **GreenFire Energy – Springerville, Arizona – 2 millones de dólares**. GreenFire Energía recopilará datos de campo de la planta geotérmica de generación eléctrica, basada en dióxido de carbono a baja temperatura. En la Fase I, se pondrá en marcha e iniciará la monitorización sísmica, así como se recopilarán y evaluarán los datos existentes. En la Fase II, se pondrán a prueba diversas técnicas de recuperación de energía en los pozos de poca profundidad y el comportamiento del CO_2 como fluido de trabajo.
- **Modoc Contracting Company – Canby, Modoc County, California – 2 millones de dólares.** Modoc propone la creación del uso "en cascada" de un recurso geotérmico (generación de energía de baja temperatura a través de varias aplicaciones de uso directo como un sistema de calefacción directa, invernaderos, etc) que demuestran la eficiencia energética del uso de los fluidos geotermales. La empresa facilitará, instalará y pondrá en marcha una unidad de ingeniería y un generador escalable para utilizar el calor residual de una planta geotérmica existente. La aplicación en "cascada" tendrá importantes repercusiones para el potencial de cerca de 1.500 emplazamientos de

BORRADOR

baja a moderada temperatura, dentro de los pueblos y ciudades de tamaño medio en el oeste de Estados Unidos.

- **Oski Energy, LLC – Susanville, Lassen County, California – dos millones de dólares**. Oski Energía pondrá a prueba una tecnología innovadora que utiliza una mezcla de amoniaco y agua como fluido de trabajo. Se desplegarán nuevas técnicas de diseño de sistemas que permitan optimizar la generación en tiempo real, auto-ajuste del proceso que compensará las variaciones en el fluido geotérmico y la velocidad de flujo, así como los cambios en la temperatura ambiente que repercuten negativamente en la generación de energía.

Entre los proyectos relacionados con fluídos geotérmicos producidos a partir de pozos de gas y petróleo, destacan:

- **ElectraTherm, Inc. – Florida Canyon Mine, Nevada- 982,000 dólares**. ElectraTherm busca demostrar la viabilidad financiera y técnica de producción de electricidad a partir de fuentes de calor coproducido en salmuera geotérmica. La capacidad de los generadores de energía móviles se espera que se encuentre en un rango de 30-70kw.

Entre los proyectos relacionados con fluídos altamente presurizados o geopresurizados destacan:

- **Louisiana Geothermal – Cameron Parish, Louisiana (cinco millones de dólares)**. Geotérmica Louisiana busca demostrar que la electricidad se puede producir de manera económica con los recursos geopresurizados; mediante la validación de la importante base de recursos geotérmicos geopresurizados disponibles en el sur de Louisiana y el norte del Golfo de México. La creación y funcionamiento de una planta generadora de energía proporcionará valiosos datos de costes y de ingeniería para futuros proyectos geotérmicos.
- **NRG Energy Inc. – Princeton, New Jersey (cinco millones de dólares**). NRG Energy evaluará y caracterizará una reserva geotérmica para el desarrollo de una planta de energía. NRG pretende demostrar e identificar la producción de energía de manera viable a partir de recursos geotérmicos geopresurizados.

6.7.2. Aeropuerto de Portland

Para disminuir la contaminación del aeropuerto de Portland (Maine - EEUU) y reducir el gasto de energía, se implementará un sistema de energía geotérmica para la climatización de las instalaciones.

La infraestructura necesaria para su aprovechamiento consiste en unas tuberías que son colocadas a unos 150 m por debajo, en un emplazamiento en el que se conoce que las temperaturas alcanzan los 55ºC durante todo el año.

Se calculó que el ahorro en energía en el aeropuerto rondaría los 140.000 euros al año. El sistema geotérmico del aeropuerto se compone principalmente de pozos perforados por debajo del nuevo aparcamiento para empleados.

6.7.3. Proyecto Greenfire

Link: http://greenfireenergy.com/

La compañía geotérmica Greenfire[33] ha desarrollado un nuevo sistema que utiliza dióxido de carbono presurizado en vez de agua. Este sistema necesita menos energía para el bombeo.

Estos sistemas de energía geotérmica basados en CO_2 presentan numerosas ventajas; entre las que destacan:

- Menores costes operativos y de capital combinado de cualquier sistema de generación de energía escalable
- Prácticamente sin emisiones a la atmósfera
- Generación de energía renovable

El proyecto piloto de Greenfire estará situado en St. John's Dome en Arizona. Utiliza el dióxido de carbono retenido naturalmente en el terreno procedente de la actividad volcánica de la zona.

BORRADOR

[33] http://greenfireenergy.com/

7. Referencias

Webs:

- http://www.igme.es
- http://www.geoclima.es/residential/geothermalbasics.html
- http://www.upme.gov.co
- http://www.en-t-ex.com
- http://www.sogener.es/tecnologias-disponibles/energia-geotermica/
- http://www.iftechinternational.com
- http://www.idae.es
- http://www.eera-set.eu
- http://www.egec.org
- http://www.eurelectric.org/
- http://srren.org
- http://www.rhc-platform.org/cms/
- http://egec.info/publications/
- http://www.renovables-energia.com/
- http://greenfireenergy.com/
- http://www.giesp.es
- http://www.vulcanoenergia.com
- http://www.geoplat.org
- http://www.iea.org
- http://www.obrasurbanas.es

Documentos

- Guía Técnica: diseño de sistemas de bomba de calor geotérmica. Instituto para la diversificación y ahorro de la energía.
- Manual de Geotermia. Instituto para la Diversificación y ahorro de Energía e Instituto geológico y minero
- Plan de energías Renovables 2011-2020. Instituto para la diversificación y ahorro de energía.
- Technology roadmap. Geothermal Heat and Power. International Energy Agency.
- Renewables 2011. Global status Report.
- Geothermal District Heating. European Geothermal Energy Council.

BORRADOR