



**ESCUELA ESPECIALIZADA EN INGENIERÍA ITCA FEPADE
CENTRO REGIONAL SANTA ANA
ESCUELA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA
TÉCNICO EN INGENIERÍA ELÉCTRICA**

**ENERGÍAS RENOVABLES.
GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA GEOTÉRMICA**

AUTORES:

NOEL ERNESTO MATOZO SAGASTIZADO.
MARIELA ERISELDA SANTANA HERNÁNDEZ.
EDWIN ALEXANDER RIVERA ORELLANA.
LUIS MIGUEL NICIA GODÍNEZ.

SANTA ANA, EL SALVADOR, 2012

ÍNDICE.

Contenido

ÍNDICE.....	1
INTRODUCCIÓN.....	3
OBJETIVOS.....	5
Los yacimientos geotérmicos.....	6
ROCA CALIENTE SECA Y SISTEMAS GEOTÉRMICOS ESTIMULADOS	6
TECNOLOGÍA DE APROVECHAMIENTO	7
PRODUCCIÓN DE ELECTRICIDAD	8
USO DIRECTO DEL CALOR.....	10
RECURSOS DE MUY BAJA TEMPERATURA.....	11
La energía geotérmica.....	13
La geotermia en el mundo.....	15
ALGUNOS DATOS.....	15
Producción de electricidad.....	15
EVOLUCIÓN DE POTENCIA INSTALADA EN EL MUNDO Generación de electricidad	16
Utilización directa del calor	16
EVOLUCIÓN DE POTENCIA INSTALADA EN EL MUNDO Uso directo del calor	17
Geotermia de muy baja temperatura. Energía de los acuíferos	18
Descripción del proceso de una planta geotérmica	19
Tipos de yacimientos geotérmicos según la temperatura del agua.....	20
Tipos de fuentes geotérmicas	21
Ventajas e inconvenientes.....	22
Ventajas	22
Inconvenientes	22

LA GEOTERMICA EL SALVADOR	23
LA PLANTA GEOTERMICA AHUACHAPÁN	23
LA PLANTA GEOTERMICA BERLÍN.....	25
¿CÓMO SE GENERA LA ENERGÍA ELÉCTRICA CON BASE A GEOTÉRMIA?.....	26
LA ENERGÍA GEOTÉRMICA COMO FUENTE DE DESARROLLO	29
IMPORTANCIA DE LA ENERGÍA GEOTÉRMICA EN EL SALVADOR	30
DIAGRAMAS.....	32
Esquema de una planta geotérmica.....	32
PROCESO DE GENERACIÓN ELÉCTRICA EN GEOTERMIA AHUACHAPÁN.....	33
CONCLUSIONES.....	34
BIBLIOGRAFÍA.....	35

INTRODUCCIÓN.

Las plantas geotérmicas aprovechan el calor generado por la tierra. A varios kilómetros de profundidad en tierras volcánicas los geólogos han encontrado cámaras magmáticas, con roca a varios cientos de grados centígrados. Además en algunos lugares se dan otras condiciones especiales como son capas rocosas porosas y capas rocosas impermeables que atrapan agua y vapor de agua a altas temperaturas y presión y que impiden que éstos salgan a la superficie. Si se combinan estas condiciones se produce un yacimiento geotérmico.

La energía almacenada en estas rocas se conoce como energía geotérmica. Para poder extraer esta energía es necesaria la presencia de yacimientos de agua cerca de estas zonas calientes. La explotación de esta fuente de energía se realiza perforando el suelo y extrayendo el agua caliente. Si su temperatura es suficientemente alta, el agua saldrá en forma de vapor y se podrá aprovechar para accionar una turbina. Esto posibilita la producción de electricidad a bajo costo y de forma permanente durante un periodo prolongado de tiempo.

Podemos encontrar básicamente tres tipos de campos geotérmicos dependiendo de la temperatura a la que sale el agua:

- La energía geotérmica de alta temperatura existe en las zonas activas de la corteza. Su temperatura está comprendida entre 150 y 400°C.
- La energía geotérmica de temperaturas medias es aquella en que los fluidos de los acuíferos están a temperaturas menos elevadas, normalmente entre 70 y 150°C.
- La energía geotérmica de baja temperatura es aprovechable en zonas más amplias que las anteriores; por ejemplo, en todas las cuencas sedimentarias. Es debida al gradiente geotérmico. Los fluidos están a temperaturas de 60 a 80°C.

La geotermia es una fuente de energía renovable ligada a volcanes, géiseres, aguas termales y zonas tectónicas geológicamente recientes, es decir, con actividad en los últimos diez o veinte mil años en la corteza terrestre. "La actividad volcánica sirve como mecanismo de transporte de masa y energía desde las profundidades terrestres hasta la superficie. Se relaciona con dos tipos de recursos explotables por el ser humano: la energía geotérmica y algunos tipos de yacimientos minerales, que son depósitos de origen magmático e hidrotermal".

Hacen falta inversiones para crear plantas geotérmicas que permitan extraer a través de pozos agua subterránea que se calienta entre 200 y 300°C, calor que se aprovecha como energía mientras el agua se regresa al acuífero para no desequilibrar al planeta.

En un sistema binario el agua geotérmica pasa a través de un intercambiador de calor, donde el calor es transferido a un segundo líquido que hierve a temperaturas más bajas que el agua. Cuando es calentado, el líquido binario se convierte en vapor, que como el vapor de agua, se expande a través y mueve las hélices de la turbina. El vapor es luego re-condensado y convertido en líquido y utilizado repetidamente. En este ciclo cerrado, no hay emisiones al aire.

OBJETIVOS.

OBJETIVO GENERAL.

- Comprender el proceso por el cuál se genera energía eléctrica de modo ecológico a través de la utilización del método geotérmico, el cual está siendo explotado como recurso renovable en varios lugares del planeta incluyendo nuestro país El Salvador.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS.

- ◆ Analizar cuáles son las condiciones apropiadas del lugar donde se quiera realizar excavaciones para poner a actuar este tipo de generación.
- ◆ Investigar los tipos de generación geotérmica que existen, definir cuáles son y la aplicación que estos posean.
- ◆ Determinar los beneficios que conduce la utilización de este tipo de energía tanto para la no contaminación del medio ambiente, como para la producción económica de un recurso tan necesario llamado electricidad.
- ◆ Considerar las ventajas e inconvenientes que crearse en cuanto a la generación de energía geotérmica.

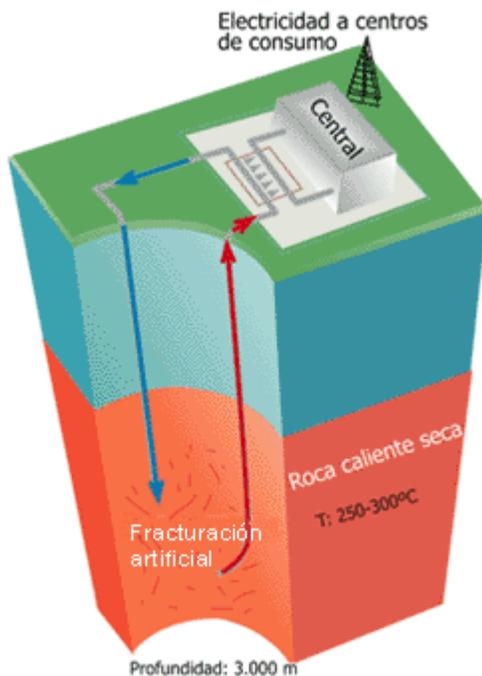
LOS YACIMIENTOS GEOTÉRMICOS.

Definición y condiciones

Cuando en un área geográfica concreta se cumplen las condiciones geológicas y económicas necesarias para que se puedan explotar los recursos geotérmicos del subsuelo, se dice que en ese punto existe un yacimiento geotérmico.

ROCA CALIENTE SECA Y SISTEMAS GEOTÉRMICOS ESTIMULADOS

Las limitaciones o condiciones geológico-económicas 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.



Así, nos encontramos con que, si la tecnología sigue progresando en el sentido actual, pronto 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 factores son introducidos artificialmente por el hombre.

Las experiencias pilotos en este sentido progresan día a día, habiéndose llegado ya a producir electricidad en campos de este tipo.

Los resultados obtenidos en la creación de este tipo de yacimientos geotérmicos "artificiales" ha 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 los campos de roca caliente seca para la creación y/o estimulación del yacimiento.

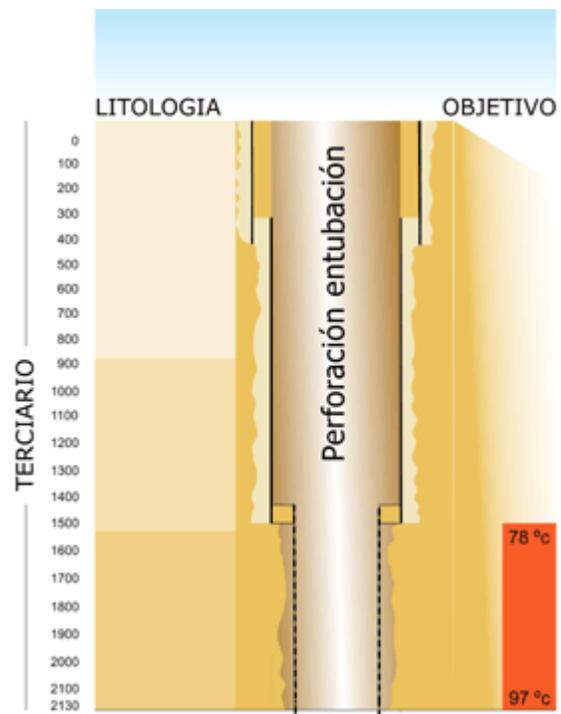
Se incluyen, por tanto, en esta denominación, tanto los yacimientos de roca caliente seca como aquellos yacimientos convencionales que, por su baja productividad, requieren para su aprovechamiento el empleo de las técnicas de estimulación de yacimientos.

TECNOLOGÍA DE APROVECHAMIENTO

Tal y como se encuentran en la Tierra los recursos geotérmicos no pueden ser aprovechados por el hombre. Para ello es necesario convertirlo en una forma de energía directamente utilizable. Esta conversión dependerá, sobre todo, del nivel térmico del recurso.

El primer paso en esta conversión es trasladar el recurso, que se encuentra a profundidades de 1,5-3 km, 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. Para cumplir su objetivo, los sondeos han de reunir las condiciones de dimensión y acabado adecuadas, de manera que duren el mayor tiempo posible, produciendo la máxima cantidad de fluido, con el menor coste de mantenimiento.

El fluido geotérmico, una vez alcanzada la superficie, 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 de alta temperatura ($T > 150^{\circ}\text{C}$) se emplean para la producción directa de electricidad; los de media temperatura ($100^{\circ}\text{C} < T < 150^{\circ}\text{C}$) se pueden emplear para producir electricidad mediante el uso de ciclos binarios, que hoy en día presentan todavía rendimientos termodinámicos muy bajos, siendo su mejor utilización la aplicación en procesos industriales; y, por último, los de baja temperatura ($T < 100^{\circ}\text{C}$) se emplean en usos directos del calor, como calefacción de viviendas, procesos industriales, usos agrícolas, y cuando la temperatura es muy baja ($20\text{-}30^{\circ}\text{C}$), agua caliente sanitaria y aire acondicionado con el empleo de bomba de calor.



PRODUCCIÓN DE ELECTRICIDAD

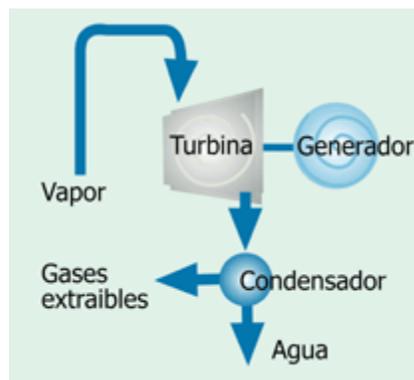
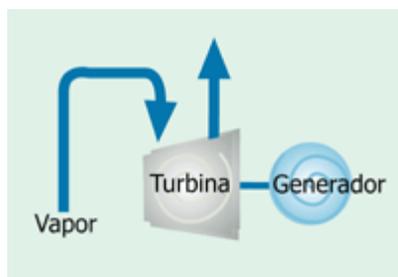
Los procesos empleados para producir electricidad a partir de fluidos geotérmicos de alta temperatura dependen de las características termodinámicas de dichos fluidos en su almacén profundo.

A este respecto, se pueden diferenciar tres tipos de yacimientos geotérmicos de alta temperatura:

- Yacimiento de vapor seco
- Yacimiento de agua sobrecalentada o vapor húmedo
- Yacimiento de salmueras

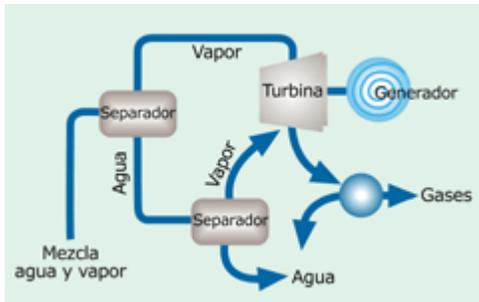
En los yacimientos de vapor seco el fluido, debido a las condiciones de presión y temperatura, se encuentra en fase gaseosa, y está constituido por una mezcla de vapor de agua y gases. En los yacimientos de agua sobrecalentada, debido a las elevadas presiones, el fluido se encuentra en fase líquida. Cuando se comunica con la superficie mediante el sondeo y, por lo tanto, se pone a la presión atmosférica, se produce una mezcla de fases dando lugar a una cantidad de vapor, que una vez separado del agua caliente puede ser enviado a turbinas, y a una cantidad de agua caliente de menor entalpía que la original de almacén. Los yacimientos de salmueras constituyen una variedad de los campos de agua caliente, pero que debido a la elevada concentración en sales es difícil producir el flash y la consiguiente mezcla de vapor de agua. Por ello es necesario que cedan toda su entalpía (y temperatura) a un fluido que puede utilizarse en las turbinas y que generalmente es agua dulce.

Para cada uno de estos tipos de yacimientos de alta temperatura existe una tecnología de aprovechamiento energético.



✓ **Yacimientos de vapor seco.**

Se pueden explotar mediante dos tipos de ciclos termodinámicos: “Ciclo directo sin condensación”. Tras su paso por turbinas el vapor escapa libremente a la atmósfera. Los costes de instalación son muy bajos, pero también su eficacia es muy baja. Se suelen emplear en plantas piloto, o en unidades aisladas de pequeña potencia. “Ciclo directo con condensación”. Esta tecnología es la más común en los grandes campos geotérmicos de vapor seco. El vapor después de su paso por turbinas es condensado, separándose los gases.



✓ **Yacimientos de agua sobrecalentada.**

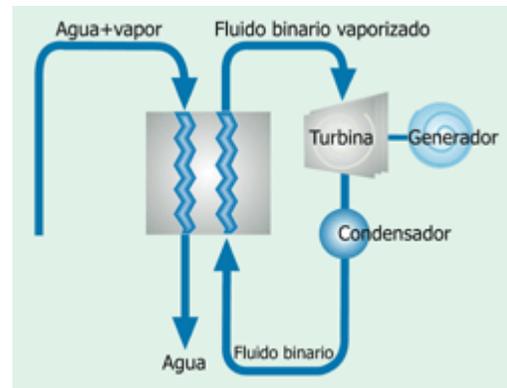
Estos campos se explotan mediante ciclo semi-directo con flash en una o varias etapas y con condensación. Este ciclo es el utilizado en la mayor parte de las centrales geo-termoeléctricas. La primera operación que se realiza es la separación de las fases vapor y agua líquida. El vapor se envía a la turbina de alta presión. El agua separada,

todavía muy caliente, es sometida a nuevos flashing, con separación de vapor a baja presión que se envía a turbinas de baja presión. Esta operación puede ser repetida tantas veces como lo permita la entalpía o temperatura del agua separada.

✓ **Yacimientos de salmueras.**

Estos campos han de ser explotados mediante ciclos binarios. En ellos el fluido geotérmico cede su calor a un fluido binario, que una vez adquirido el calor y ya en fase vapor pasa a las turbinas. Posteriormente, tras un proceso de condensación, el fluido binario vuelve al intercambiador, por lo que este fluido se encuentra en un circuito cerrado.

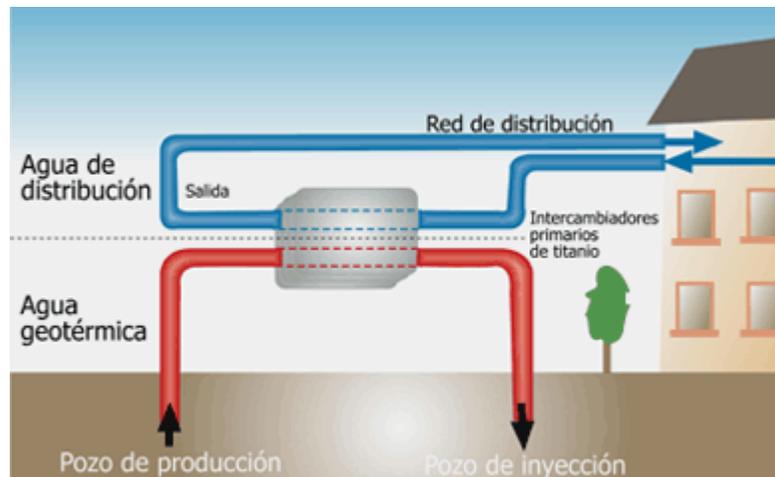
Cuando el fluido geotérmico tiene suficiente entalpía (>200 kcal/kg), se puede utilizar como fluido binario agua. Sin embargo cuando el fluido geotérmico tiene menor entalpía (yacimientos de media temperatura), se usa como fluido binario compuestos con bajo punto de ebullición (como los denominados freones).



USO DIRECTO DEL CALOR

A la hora de emplear un recurso geotérmico de baja temperatura, existen tres características que definen la explotación:

- Caudal de producción
- Temperatura de producción
- Salinidad del agua caliente



Las dos primeras influyen en las dimensiones de la operación (a través de la potencia térmica disponible) y en el esquema de utilización que se adopte.

La tercera característica, es decir, la salinidad, influye en el sistema de explotación. En efecto, el fluido geotérmico una vez cedido su calor, plantea el problema de su uso posterior o eliminación. 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, lo que suele ocurrir muy a menudo, 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.

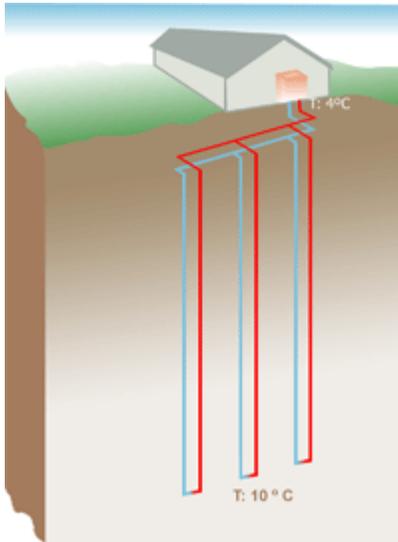
Para que el fluido existente en el entorno del sondeo de extracción no se enfríe, es necesario alejar suficientemente el sondeo de inyección.

RECURSOS DE MUY BAJA TEMPERATURA.

Energía geotérmica de los acuíferos.

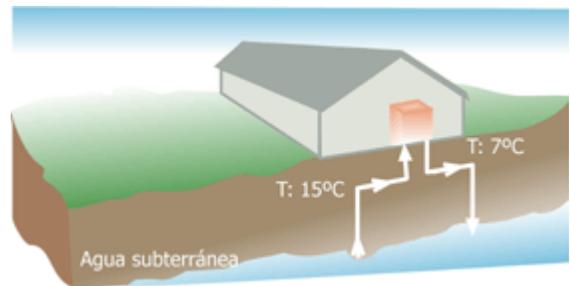
En las capas menos profundas de la corteza terrestre, que se encuentran muy próximas a la superficie, también está presente la energía geotérmica.

La temperatura del subsuelo a profundidades de apenas unas decenas de metros se mantiene sensiblemente constante como expresión del flujo de calor procedente del interior de la Tierra. Tan sólo en los metros más cercanos a la superficie ésta se ve ligeramente influenciada por las variaciones térmicas estacionales.



Esta energía puede estar contenida en dos medios diferentes: por una parte las materiales que constituyen el subsuelo y por otro el agua contenida en los acuíferos. En ambos medios existe una importante cantidad de calor que se renueva continuamente y puede ser extraída siempre que la intensidad de la extracción sea del mismo orden de magnitud que la renovación natural.

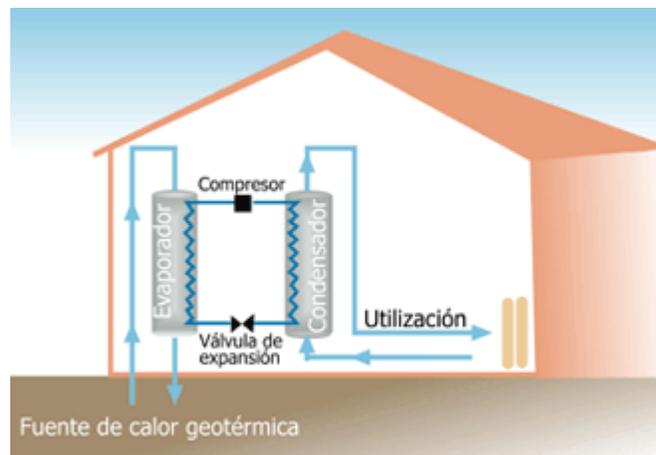
La extracción de este calor de bajo nivel térmico (<20° C) y su transformación a los niveles térmicos utilizables por el hombre (40-50° C), se puede llevar a cabo gracias a la existencia de la bomba de calor. Básicamente, ésta es una máquina en la que, mediante la aplicación de una energía mecánica o eléctrica, es posible suministrar una energía térmica bastante más elevada. La relación entre la energía térmica cedida y la energía mecánica eléctrica consumida que se conoce como coeficiente de funcionamiento, tiene valores habituales entre 3 y 4.



La energía térmica cedida al utilizador, en forma de agua caliente o aire caliente, la extrae de una fuente externa que en el caso geotérmico es el subsuelo o las aguas subterráneas.

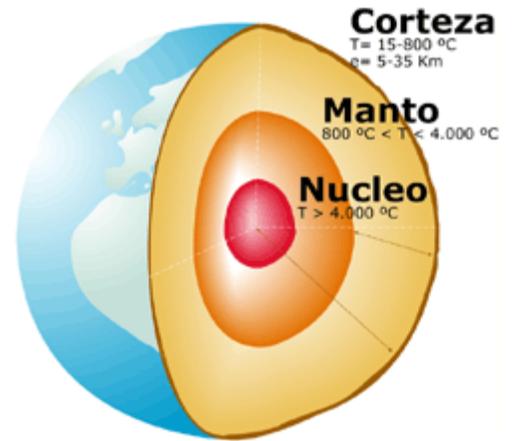
El desarrollo tecnológico de las últimas décadas ha permitido que en Europa la potencia térmica instalada en operaciones de aprovechamiento de esta forma de energía geotérmica alcance en 2002 los 3.281 MW, con un mínimo total de unidades superior a 350.000. El crecimiento entre los años 2001 y 2002 superó el 16%.

El potencial de este tipo de recurso en España, es como en otros casos, muy elevado. En su fracción de las aguas subterráneas, fue ya analizado por el Instituto Geológico y Minero de España en la década de los ochenta con la realización de una “Síntesis de acuíferos para su utilización con bomba de calor”



LA ENERGÍA GEOTÉRMICA.

En su sentido más amplio y literal, la energía geotérmica es el calor interno de la Tierra. Es un hecho conocido que en el subsuelo, bajo la tierra que pisamos, la temperatura aumenta con la profundidad, es decir, existe un gradiente térmico y, por lo tanto un flujo de calor desde el interior de la Tierra hacia el exterior. Ello es consecuencia de su estructura interna.



La Tierra está constituida básicamente por tres capas concéntricas: el núcleo que es la más interna tiene una composición de hierro fundido a una temperatura superior de los 4.000°C; el manto que es la capa intermedia formada por silicatos de hierro y magnesio tiene un espesor de 2.900 km y su temperatura varía desde los 4.000°C en su contacto con el núcleo hasta los 800-1000°C de su superficie exterior que contacta con la corteza que es la capa más superficial y visible por el hombre. Esta corteza tiene un espesor variable de 5 a 35 km y está formada por silicatos de aluminio y magnesio, variando su temperatura entre los 800-1000°C del contacto con el manto y los 15-20°C de la superficie que conocemos. El flujo medio de calor registrado en la corteza terrestre es del orden de 1,5 $\mu\text{cal}\cdot\text{cm}^{-2}\cdot\text{seg}^{-1}$.



En determinados puntos de la Tierra el flujo de calor es, sin embargo, anormalmente elevado, llegando a alcanzar valores de hasta diez y veinte veces el flujo medio citado. Estas áreas con flujo elevado coinciden siempre con zonas de existencia de fenómenos geológicos singulares, como son una actividad sísmica elevada, la formación de cordilleras en épocas geológicas recientes y una actividad volcánica actual o muy reciente.

Estos fenómenos geológicos representan distintas formas de liberación de la energía interna de la Tierra, cuya explicación puede darse a la luz de la tectónica de placas que rige la estructura de la corteza de la Tierra y su relación con el manto.

El flujo de calor anómalo ocasionado en estas áreas singulares da lugar a gradientes geotérmicos con valor de 15-30°C cada 100 metros, por lo que a profundidades de 1,5 a 2 km se pueden encontrar temperaturas de 200-300°C. Por el contrario, en las demás zonas de la superficie terrestre el flujo calorífico antes mencionado da lugar a gradientes geotérmicos con valor medio de 3°C cada 100 metros, por lo que a profundidades entre 2 y 3 km se encuentran temperaturas de 60-90°C.



Esta diferencia de la corteza terrestre en áreas estables con flujo calorífico bajo y áreas inestables con flujo calorífico muy elevado sirve para marcar los dos grandes tipos de energía geotérmica conocidas: la energía geotérmica de baja temperatura y la energía geotérmica de alta temperatura.

LA GEOTERMIA EN EL MUNDO.

ALGUNOS DATOS

PRODUCCIÓN DE ELECTRICIDAD

Los primeros intentos de producción de electricidad con energía geotérmica comienzan con los experimentos en Italia, del Príncipe Gionori Conti entre 1904 y 1905. La primera planta (250kWe) se construye en 1913. En 1950 se alcanzan los 300MWe en Italia, en el yacimiento de Landareello. En 1958 comienza la producción geo-termoeléctrica en Nueva Zelanda, con el yacimiento de Wairakei, en 1959 en Méjico, yacimiento de Pathe y en 1960 en Estados Unidos con el yacimiento de The Geysers.

A partir de 1973, año de la primera crisis del petróleo se produce la gran expansión en la generación de electricidad con energía geotérmica, incorporándose sucesivamente Japón, Islandia y El Salvador (1975), Indonesia, Kenia, Turquía y Filipinas (1980), Nicaragua (1985), Costa Rica (1995), Guatemala (2000), etc.

Para algunos de estos países, la producción geo-termoeléctrica representa una fracción importante de su producción eléctrica total:

Filipinas	16,2%
Nicaragua	17,0%
El Salvador	15,4%
Islandia	13,0%
Costa Rica	7,8%
Kenia	5,3%
Nueva Zelanda	5,1%
Indonesia	3,0%

GEOTERMIA DE ALTA TEMPERATURA	
PRODUCCIÓN DE ELECTRICIDAD (Año 2000) Potencia instalada (MWe):	
Total en el mundo	7.974
EEUU	2.228
Filipinas	1.909
Italia	785
Méjico	755
Indonesia	590
Japón	547
Nueva Zelanda	437

EVOLUCIÓN DE POTENCIA INSTALADA EN EL MUNDO GENERACIÓN DE ELECTRICIDAD



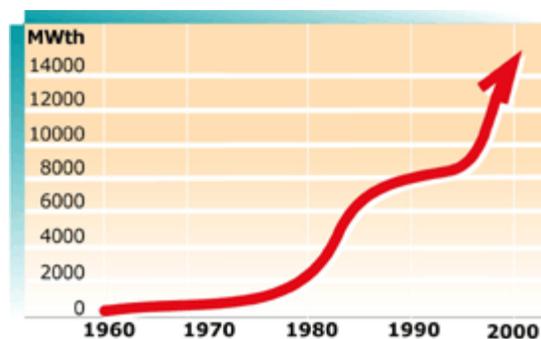
UTILIZACIÓN DIRECTA DEL CALOR

Existen pruebas de que el uso directo del calor de la Tierra es tan antiguo como el hombre. Todas las civilizaciones antiguas conocían y usaban la balneoterapia. Pero el uso industrial y a mayor escala de esta energía se produce también en el siglo XX, siendo en este caso Islandia el país pionero, donde ya en la década de los 20 se comienza a calefactar invernaderos con energía geotérmica. En 1930 se establece el primer sistema de district-heating en Reykiavik para suministrar calor a 70 casas. Es en la década de los 50 cuando comienza a desarrollarse a mayor escala el aprovechamiento de la energía geotérmica de baja temperatura en Islandia, Italia, Nueva Zelanda y Japón. A principio de los setenta ya se habían incorporado Hungría, Kenya, la URSS y Francia. En el 1975 tenían también producción de calor Filipinas, Turquía y EEUU.

A partir de entonces, como ocurrió con la generación de electricidad se produce la gran expansión. Austria y Alemania (1980), Australia, Canadá, China, Polonia, Rumania, Suiza, Yugoslavia en 1985, etc., alcanzando en el año 2000, el número de 58 los países con aprovechamientos, declarados y de cierta entidad, del calor geotérmico.

GEOTERMIA DE BAJA TEMPERATURA	
UTILIZACIÓN DIRECTA DEL CALOR (Año 2000). Potencia instalada (MW):	
Total en el mundo	15.145
EEUU	3.766
China	2.282
Islandia	1.469
Japón	1.167
Turquía	820
Suiza	547
Hungría	473
Alemania	397

EVOLUCIÓN DE POTENCIA INSTALADA EN EL MUNDO USO DIRECTO DEL CALOR



GEOTERMIA DE MUY BAJA TEMPERATURA. ENERGÍA DE LOS ACUÍFEROS

Asociada al desarrollo de los usos directos del calor se produce la evolución de las aplicaciones de la bomba de calor para aprovechamiento del calor contenido en el subsuelo más superficial y en las aguas subterráneas poco profundas. Dada la pequeña envergadura individual de estas operaciones se dispone de menos referencias históricas. Es bien conocido el desarrollo en la década de los 70 y 80 en Francia con la implantación de un sistema de cobertura de riesgo geológico, para casos de sondeos improductivos. Actualmente en Europa existe un incremento continuo del número de instalaciones que alcanzó el 16% en 2002 respecto a 2001.

GEOTERMIA DE MUY BAJA TEMPERATURA	
ENERGÍA DE LOS ACUÍFEROS Y SUBSUELO POCO PROFUNDO (BOMBA DE CALOR) Potencia instalada (MW). Año 2002:	
Total Unión Europa	355.837 ud 3.281 MW
Suecia	176.000 ud 1.056 MW
Alemania	73.455 ud 587 MW
Francia	36.500 ud 541 MW
Austria	34.000 ud 590 MW
Finlandia	19.833 ud 320 MW
Dinamarca	7.200 ud 86 MW
Holanda	5.200 ud 62 MW

DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE UNA PLANTA GEOTÉRMICA

Por medio de pozos específicamente perforados, las aguas subterráneas, que poseen una gran cantidad de energía térmica almacenada, se extraen a la superficie transformándose en vapor, que se utiliza para generar energía eléctrica. Este tipo de planta opera con los mismos principios que los de una termoeléctrica como vapor, con excepción de la producción de vapor, que en este caso se extrae del subsuelo. El vapor de agua obtenido de la mezcla se envía a un separador; el secado de vapor va a la turbina de energía cinética que se transforma en energía mecánica y esta a su vez, en electricidad en el generador.

Existen unidades de 5 MW en la que el vapor, una vez que trabajó en la turbina, se libera directamente a la atmósfera. En unidades de 20, 37,5 y 110MW, el vapor es enviado a un sistema de condensación; agua condensada, junto con la proveniente del separador, se reinyecta en el metro o descargadas a través de un tubo de evaporación.

TIPOS DE YACIMIENTOS GEOTÉRMICOS SEGÚN LA TEMPERATURA DEL AGUA

✓ **Energía geotérmica de alta temperatura.**

La energía geotérmica de alta temperatura existe en las zonas activas de la corteza. Esta temperatura está comprendida entre 150 y 400 °C, se produce vapor en la superficie y mediante una turbina, genera electricidad. Se requieren varias condiciones para que se dé la posibilidad de existencia de un campo geotérmico: una capa superior compuesta por una cobertura de rocas impermeables;¹ un acuífero, o depósito, de permeabilidad elevada, entre 0,3 y 2 km de profundidad; suelo fracturado que permite una circulación de fluidos por convección, y por lo tanto la transferencia de calor de la fuente a la superficie, y una fuente de calor magmático, entre 3 y 15 km de profundidad, a 500-600 °C. 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.

✓ **Energía geotérmica de temperaturas medias.**

La energía geotérmica de temperaturas medias es aquella en que los fluidos de los acuíferos están a temperaturas menos elevadas, normalmente entre 70 y 150 °C. Por consiguiente, la conversión vapor-electricidad se realiza con un rendimiento menor, y debe explotarse por medio de un fluido volátil. Estas fuentes permiten explotar pequeñas centrales eléctricas, pero el mejor aprovechamiento puede hacerse mediante sistemas urbanos reparto de calor para su uso en calefacción y en refrigeración (mediante máquinas de absorción).

✓ **Energía geotérmica de baja temperatura.**

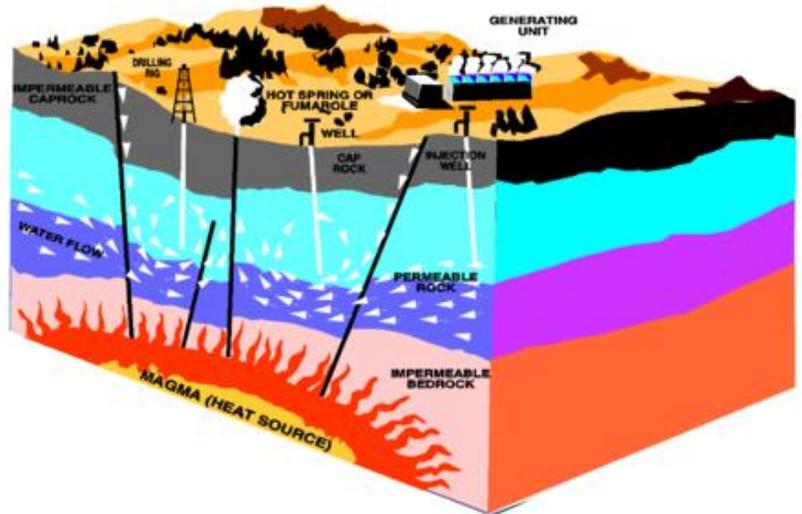
La energía geotérmica de temperaturas bajas es aprovechable en zonas más amplias que las anteriores; por ejemplo, en todas las cuencas sedimentarias. Es debida al gradiente geotérmico. Los fluidos están a temperaturas de 50 a 70 °C.

Energía geotérmica de muy baja temperatura. La energía geotérmica de muy baja temperatura se considera cuando los fluidos se calientan a temperaturas comprendidas entre 20 y 50 °C. Esta energía se utiliza para necesidades domésticas, urbanas o agrícolas.

Las fronteras entre los diferentes tipos de energías geotérmicas es arbitraria; si se trata de producir electricidad con un rendimiento aceptable la temperatura mínima está entre 120 y 180 °C, pero las fuentes de temperatura más baja son muy apropiadas para los sistemas de calefacción urbana.

TIPOS DE FUENTES GEOTÉRMICAS

En áreas de aguas termales muy calientes a poca profundidad, se aprovecha el calor desprendido por el interior de la tierra. El agua caliente o el vapor pueden fluir naturalmente, por bombeo o por impulsos de flujos de agua y de vapor. El método a elegir depende del que en cada caso sea económicamente rentable. Un ejemplo, en Inglaterra, fue el "Proyecto de Piedras Calientes HDR" (sigla en inglés: HDR, *Hot Dry Rocks*), abandonado después de comprobar su inviabilidad económica en 1989. Los programas HDR se están desarrollando en Australia, Francia, Suiza, Alemania. Los recursos de magma (rocas fundidas) ofrecen energía geotérmica de altísima temperatura, pero con la tecnología existente no se pueden aprovechar económicamente esas fuentes.



En la mayoría de los casos la explotación debe hacerse con dos pozos (o un número par de pozos), de modo que por uno se obtiene el agua caliente y por otro se vuelve a reinyectar en el acuífero, tras haber enfriado el caudal obtenido. Las ventajas de este sistema son múltiples:

Hay menos probabilidades de agotar el yacimiento térmico, puesto que el agua reinyectada contiene todavía una importante cantidad de energía térmica.

Tampoco se agota el agua del yacimiento, puesto que la cantidad total se mantiene.

Las posibles sales o emisiones de gases disueltos en el agua no se manifiestan al circular en circuito cerrado por las conducciones, lo que evita contaminaciones.

VENTAJAS E INCONVENIENTES

VENTAJAS

- Es una fuente que evitaría la dependencia energética del exterior.
- Los residuos que produce son mínimos y ocasionan menor impacto ambiental que los originados por el petróleo y el carbón.
- Sistema de gran ahorro, tanto económico como energético.
- Ausencia de ruidos exteriores.
- Los recursos geotérmicos son mayores que los recursos de carbón, petróleo, gas natural y uranio combinados.
- No está sujeta a precios internacionales, sino que siempre puede mantenerse a precios nacionales o locales.
- El área de terreno requerido por las plantas geotérmicas por megavatio es menor que otro tipo de plantas. No requiere construcción de represas, tala de bosques, ni construcción de conducciones (gasoductos u oleoductos) ni de depósitos de almacenamiento de combustibles.
- La emisión de CO₂, con aumento de efecto invernadero, es inferior al que se emitiría para obtener la misma energía por combustión.

INCONVENIENTES

- En ciertos casos emisión de ácido sulfhídrico que se detecta por su olor a huevo podrido, pero que en grandes cantidades no se percibe y es letal.
- Contaminación de aguas próximas con sustancias como arsénico, amoníaco, etc.
- Contaminación térmica.
- Deterioro del paisaje.
- No se puede transportar (como energía primaria).
- No está disponible más que en determinados lugares.

LA GEOTERMICA EL SALVADOR

LA PLANTA GEOTERMICA AHUACHAPÁN

La Central Geotérmica se encuentra ubicada a 103 km. al Oeste (occidente) de la ciudad capital, en el sector norte de la cordillera de Apaneca, en el lugar conocido como Cantón Santa Rosa Acacalco del Municipio y Departamento de Ahuachapán, e incluye la zona que actualmente está en explotación, la zona de Chipilapa en donde se reinyecta el agua residual y la zona de Cuyanausul, un área actualmente en exploración. Las elevaciones promedio del campo geotérmico oscilan entre los 700 a 950 msnm.



PLANTA. Panorámica interna del edificio de la casa de máquinas.

La energía producida de esta planta es producto de la operación de dos unidades a condensación de una entrada de presión (single flash) de 30 MW cada una, ambas de la marca Mitsubishi. Estas turbinas son de cinco etapas de tipo impulso que operan a una velocidad de 3,600 RPM. Para una carga completa requieren de 520 t/h (144 kg/s) de vapor saturado a una presión de entrada de 4.6 bar-g que proviene de dos tanques a presión que son los colectores del vapor producido por una serie de pozos productores. A la salida de turbina se localiza un condensador del tipo barométrico de contacto directo en donde se rocía agua líquida proveniente de una torre de enfriamiento de cinco celdas del tipo flujo cruzado tiro forzado. El flujo total de agua de enfriamiento es aproximadamente 8,650 m³/h a una temperatura ambiente de 27°C, la presión promedio del condensador es de 0.085 bar-a. En el condensador se encuentra un sistema de extracción de gases del tipo “eyector” que posee un sistema de enfriamiento que enfría 0.2% en peso de los gases no condensables que entran junto con el vapor geotérmico.

El sistema de extracción de gases es de dos etapas con Inter condenser y after condenser, estos eyectores requieren para operar un flujo de vapor de 4,100 kg/h de vapor para comprimir el gas desde las condiciones de vacío en el condensador a las condiciones atmosféricas externas en la zona de descarga.

Las turbinas se encuentran acopladas directamente a un generador síncrono con excitación sin escobillas y sistema de enfriamiento por intercambiador para evitar contaminación con gas sulfhídrico (H₂S). La capacidad nominal del generador es de 35 kVA a un factor de potencia de 0.85. El voltaje a la salida del generador es de 13.8 kV, el cual es acoplado a la red nacional de 115 kV por medio de una sub estación.

La tercera unidad de la central es marca Fuji de doble entrada de presión (double flash) con una capacidad de 35 MW, entró en operación comercial en 1981. A diferencia de las otras dos unidades esta utiliza un vapor de menor presión (1.5 bar-a) el cual se obtiene de un proceso doble de separación del fluido geotérmico. Para llevar a cabo este proceso, el agua separada de cada pozo es conducida a dos separadores de baja presión (flashers) del cual se obtiene el vapor de baja presión (BP) que es llevado a la entrada BP de la turbina por medio de un colector BP. Con esta modificación la salida de la central se incrementó en 20%.

La turbina de la tercera unidad es de 7 etapas del tipo de reacción y opera a una velocidad de 3,600 RPM. El vapor MP requerido es de 170 t/h a 5.6 bar-a mientras que el vapor BP es 145 t/h a 1.5 bar-a para generar a plena carga. La potencia nominal del generador es de 40,000 kVA a un factor de potencia de 0.875, es del tipo síncrono con excitación sin escobillas y enfriamiento por intercambiador.

LA PLANTA GEOTERMICA BERLÍN

La Central Berlín se encuentra ubicada a 120 km. al Este (oriente) de la ciudad capital, en el flanco norte del complejo volcánico Berlín-Tecapa, en el lugar conocido como Cantón Montañita del Municipio de Alegría y Departamento de Usulután. Las elevaciones promedio del campo geotérmico oscilan entre los 650 a 950 msnm.



PLANTA. Panorámica interna del edificio de la casa de máquinas.

Las dos unidades a condensación instaladas en la planta son marca Fuji de 28.1 MW cada una, ambas de una sola entrada de presión (10 bar-a) que proviene de dos colectores de vapor. El vapor a la salida entra a un condensador de contacto directo de bajo nivel y la presión de operación del condensador es de aproximadamente 0.01 bar-a, ambas unidades disponen de eyectores de doble etapa para la extracción de gases no condensables.

El flujo de agua en el condensador es de 6,480 m³/h a una temperatura de 29°C. La mezcla de agua y condensado en el condensador alcanza una temperatura de alrededor de 42.4°C a una presión de operación del condensador de 0.098 bar-a

El agua de enfriamiento se recircula por medio de dos bombas hacia sendas torres de enfriamiento del tipo tiro forzado flujo cruzado.

Cada una de las unidades generadoras requiere para plena carga un flujo de vapor de 186.2 t/h (51.72 kg/s) que incluye el vapor para los eyectores. El vapor geotérmico contiene 0.4% en peso de gases no condensables.

Ambos generadores son del tipo síncrono y operan a 3,600 RPM, la capacidad nominal es de 34,000 kVA a un factor de potencia de 0.85. El voltaje de salida del generador es de 13.8 kV el cual se conecta la red nacional de 115 kV por medio de una sub estación.

¿CÓMO SE GENERA LA ENERGÍA ELÉCTRICA CON BASE A GEOTÉRMIA?

Todo proyecto de generación de energía eléctrica con base a geotermia se ejecuta generalmente en cinco fases:

- ✓ Reconocimiento
- ✓ Pre-factibilidad
- ✓ Factibilidad
- ✓ Desarrollo y
- ✓ Explotación sostenible del recurso.

El reconocimiento consiste en la exploración, recolección y análisis de información existente sobre el potencial geotérmico en una zona determinada.

Pre-factibilidad, es la etapa de estudio y evaluación de macro-áreas para la determinación de sitios de interés.

Factibilidad, es la etapa en que se evalúa los resultados obtenidos en las investigaciones geo-científicas, definición de sitios de interés, formulación del proyecto, la inversión y proyección de retorno de la inversión.

Desarrollo, es la fase de la ejecución del proyecto, que consiste en la perforación de pozos geotérmicos, sistema de acarreo, diseño, montaje y construcción de la central de generación de energía eléctrica.

Explotación, es la etapa de producción y administración sostenible del recurso.

Las etapas de reconocimiento, pre-factibilidad, factibilidad y desarrollo requieren del concurso de diferentes disciplinas geo-científicas como geología, geofísica, geo-hidrología, geoquímica entre otras y son estos especialistas quienes a través de un exhaustivo análisis e interpretación de datos dan las directrices sobre las zonas de interés, ubicación de reservorios y de los sitios en donde se deben perforar los pozos productores y re-inyectores.



Una vez confirmada la existencias de recursos geotérmicos en una zona determinada, s e perforan pozos con profundidades que oscilan entre 1000 y 3000 metros de profundidad, según la necesidad para conectar con el reservorio geotérmico.

Un pozo geotérmico tiene una estructura tipo telescópica en su interior, se inicia perforando un agujero de 34 pulgadas de diámetro, hasta una profundidad de 100mts. Se corre tubería, se cementa para fijarla al subsuelo y luego se continua perforando y corriendo tubería de 20 pulgadas y al final ya en el reservorio se coloca una tubería ranurada de 12 pulgadas de diámetro y es a través de esas ranuras que gracias a la presión del reservorio se extrae la mezcla de vapor y agua caliente hacia la superficie.

Los pozos geotérmicos se perforan con fines y modalidades diferentes. Así en un campo geotérmico hoy en día se cuenta con pozos, exploratorios o someros, re-inyectores y productores. Los pozos productores por su perfil se dividen en pozos verticales y direccionales y su finalidad es producir o extraer del reservorio geotérmico el vapor y agua, insumo necesario para producir la electricidad.

Los pozos re-inyectores tiene la finalidad de devolver al subsuelo la masa de agua extraída del reservorio para generar energía eléctrica.

Ya en la superficie el vapor y agua geotérmica se separan por medio de un equipo denominado separador ciclónico, el agua es reinyectada nuevamente al subsuelo, mientras que el vapor (agua en estado gaseoso) es conducido a través de una red de tuberías hasta la central geotérmica, donde la presión y energía calorífica, es convertida en energía mecánica al hacer girar la turbina, que a su vez mueve el generador convirtiendo la energía mecánica en energía eléctrica.



Del generador la energía es transferida a los transformadores, donde es convertida a 115.000 voltios, los cuales son inyectados a las líneas de alta potencia, para ser trasladados a las subestaciones y de ahí hacia los hogares, fábricas y escuelas.

El vapor geotérmico, después de haber cumplido con la función de activar la turbina es condensado nuevamente (se convierte en agua) y también es reinyectado al subsuelo nuevamente, para que en una forma reciclable se vuelva a calentar, se convierta en vapor que podría ser extraído nuevamente con fines de generación de energía eléctrica.



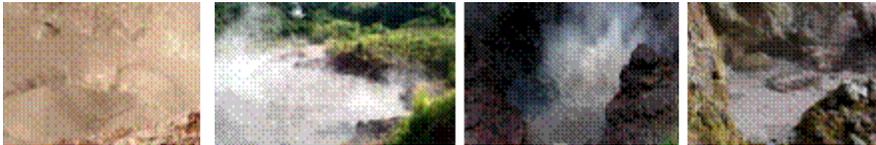
De esta forma la geotermia se convierte en una fuente de generación de energía eléctrica cíclica, renovable y sostenible ya que con la reinyección se logra recargar el recurso, alargando su vida útil o productiva a través de una administración sostenible.

La energía geotérmica es reconocida a nivel mundial como una forma de generación amigable con el medio ambiente, debido a que no produce gases tóxicos, ni causantes de efecto invernadero, el uso del suelo es poco y si el recurso se maneja adecuadamente, el impacto ambiental es mínimo.

La generación de electricidad con fuentes geotérmicas se inició en 1904 en Larderello Italia, campo que actualmente continúa funcionando y está considerado, el más importante de Europa.

LA ENERGÍA GEOTÉRMICA COMO FUENTE DE DESARROLLO

La energía geotérmica es la fuente de generación cuya materia prima, es el vapor de agua, que se encuentra desde tiempos remotos almacenada en forma natural en el subsuelo y cuyas manifestaciones externas las encontramos en lugares como los ausoles de Ahuachapán, San Vicente, Usulután, etc.



La producción de energía geotérmica tiene como base la utilización de la energía cinética calorífica del vapor y agua a altas temperaturas del subsuelo, insumos que se extraen mediante la perforación de profundos , pozos geotérmicos cuya finalidad es extraer a presión el vapor caliente para llevarlo a través de una red de tuberías denominada “ sistema de acarreo ”, hacia la central de generación donde la energía potencial del vapor al chocar contra los álabes de la turbina la hace girar, al mismo tiempo que ésta activa al generador produciéndose así la energía eléctrica que es transferida al transformador, luego a la subestación para ser inyectada al sistema nacional.

La energía geotérmica es una fuente de energía renovable, abundante, de bajo costo y favorable para el medio ambiente ya que no produce gases tóxicos como CO₂ que produce el efecto invernadero, ya que no se quema combustible fósil que produce el calentamiento global. La geotermia solo utiliza el vapor de agua calentada en calderas naturales que luego de ser utilizado es condensado y reinyectado nuevamente al subsuelo. No se pueden negar los impactos al medio ambiente pero sí son mínimos, y pueden ser fácilmente prevenidos o mitigados evitando así efectos secundarios en el medio ambiente.

Las principales desventajas de la geotermia que se pueden mencionar son: el alto nivel de incerteza en la búsqueda del recurso a explotar durante la perforación de los pozos geotérmicos, la fuerte inversión que requiere y el largo proceso de desarrollo de un proyecto productivo a gran escala.

Sin embargo El Salvador y la región centroamericana son ricos en yacimientos con suficiente potencial para ser desarrollados como proyectos de generación de energía eléctrica.

IMPORTANCIA DE LA ENERGÍA GEOTÉRMICA EN EL SALVADOR

Nuestro planeta está formado estructuralmente por diferentes estratos o capas rocosas y que su núcleo es una masa incandescente y líquida, compuesta de minerales, gases, rocas fundidas formando lo que comúnmente conocemos como magma. Las altas temperaturas que fluyen a través de la corteza terrestre dan origen al fenómeno conocido como gradiente geotérmico que se presenta superficialmente de diferentes formas según el adelgazamiento cortical o simplemente por el emplazamiento de cuerpos magmáticos a niveles poco profundos.

Estos fenómenos afectan diversas regiones del planeta y en nuestro caso especialmente a lo largo del llamado cinturón de fuego o cinturón del pacífico donde su actividad y presión son causa del fracturamiento terráqueo y el surgimiento de las placas tectónicas y sus áreas de subducción, además de provocar temblores, el surgimiento de volcanes, erupciones y otras fascinantes manifestaciones termales y geológicas.

En el continente americano el cinturón de fuego afecta las costas pacíficas de países como Estados Unidos, México, Guatemala, El Salvador, Nicaragua y varios países del cono sur.

Para el caso de El Salvador, este fenómeno se extiende bajo la cadena volcánica que atraviesa el país, desde la zona de Ahuachapán pasando por Coatepeque, volcán de San Salvador, volcán de San Vicente, volcán Tecapa, Conchagua y otras zonas que presentan manifestaciones hidrotermales como: actividad geo-vulcanológica, fumarolas, manantiales de agua caliente y otros fenómenos indicadores del potencial geotérmico almacenado en el subsuelo salvadoreño.

Entre las áreas con mayor manifestación geo-vulcanológicas en el país, están Los Ausoles de Ahuachapán y el Tronador en Alegría Usulután. En Ahuachapán encontramos muchos lugares con manifestaciones hidrotermales como Chipilapa, Cuyanausul, La Labor, Agua Shuca. Las cuales son una clara manifestación de la actividad geotérmica de la zona.

Estas y las demás áreas con potencial geotérmico mencionadas se caracterizan por tener como fuente de calor una cámara magmática poco profunda la cual por presiones de la incandescencia se separa de la masa magmática, se incrusta y queda atrapada en la corteza terrestre, es por esta razón que en estas áreas afectadas a un par de kilómetros de profundidad encontramos temperaturas que oscilan entre 250 y 300 grados centígrados.

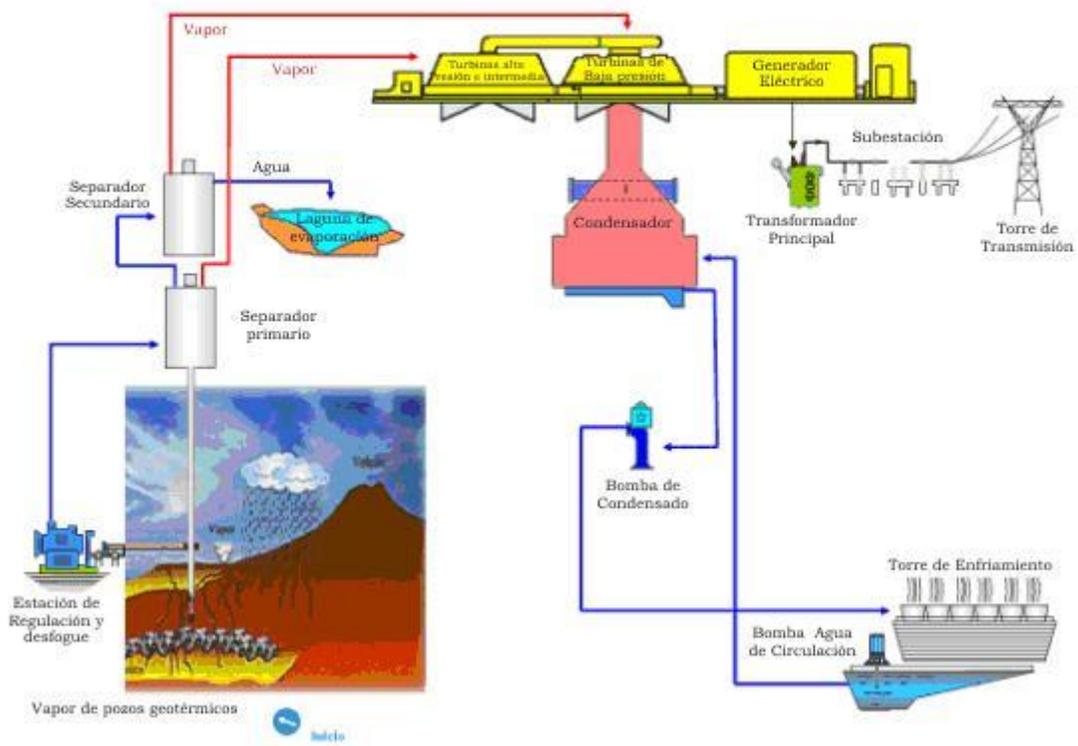
El agua lluvia que se filtra a través de la corteza terrestre forma mantos y corrientes de aguas profundas que al entrar en contacto con las altas temperaturas, dan origen a los yacimientos o reservorios de agua y vapor geotérmico, cuya temperatura y presión ofrecen la posibilidad de ser explotados con fines de generación de energía eléctrica.

Para El Salvador la energía geotérmica es de suma importancia, ya que nuestro país anualmente consume unos 940 GWh, al año, que representa un 21% del total de energía inyectada al sistema eléctrico nacional.

Debido a esto, El Salvador sigue siendo el país del mundo con la mayor contribución de la geotermia para su abastecimiento energético. Por lo que estos yacimientos de vapor y agua caliente han sido bautizados como EL PETROLEO BLANCO DE EL SALVADOR.

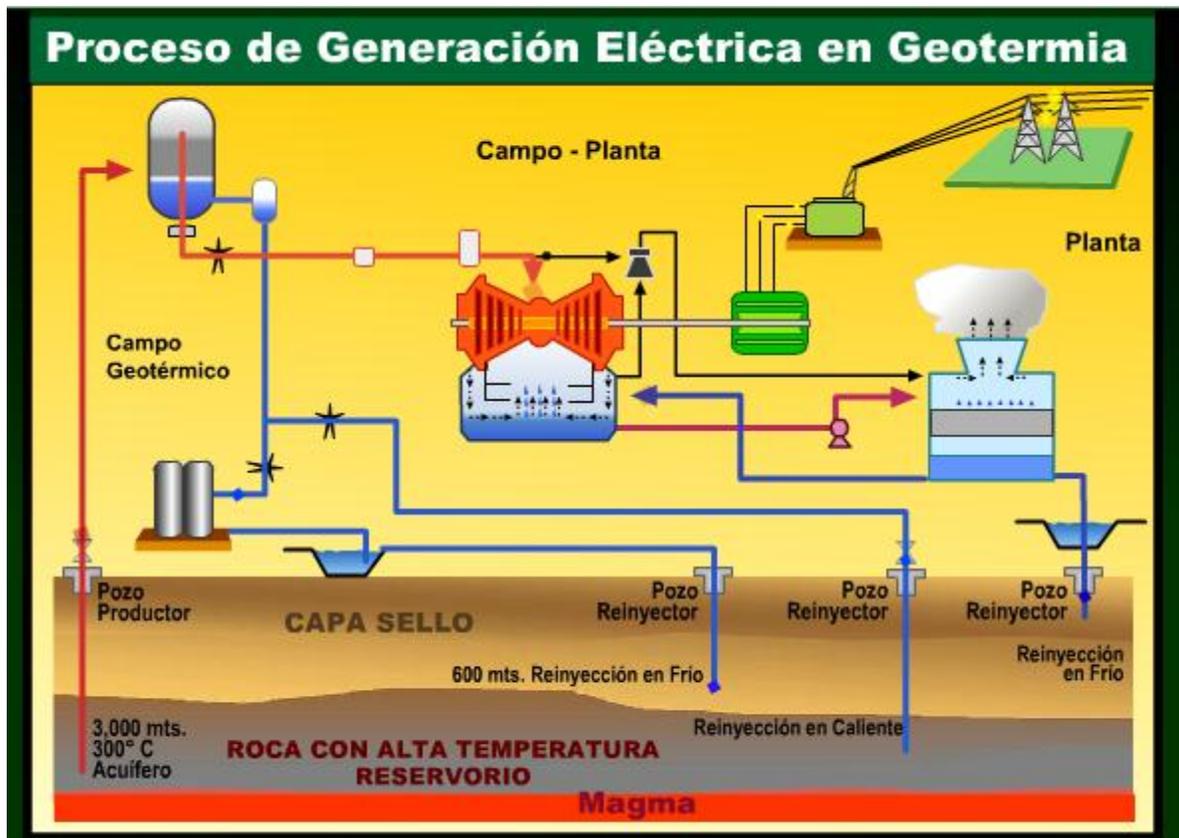
DIAGRAMAS.

ESQUEMA DE UNA PLANTA GEOTÉRMICA



PROCESO DE GENERACIÓN ELÉCTRICA EN GEOTERMIA AHUACHAPÁN.

El aprovechamiento de la energía geotérmica está constituido por tres procesos principales, estos son: la extracción del fluido geotérmico del reservorio, la separación y transporte de fluidos en superficie y la conversión de la energía geotérmica a energía eléctrica. El primero se realiza en el área que se conoce como Campo Geotérmico; en el segundo, una parte de las instalaciones se encuentran en el Campo y otras dentro del sitio que se denomina como la Planta Geotérmica; y el tercer proceso se realiza dentro de esta última.



CONCLUSIONES.

En su sentido más amplio y literal, la energía geotérmica es el calor interno de la Tierra. Es un hecho conocido que en el subsuelo, bajo la tierra que pisamos, la temperatura aumenta con la profundidad, es decir, existe un gradiente térmico y, por lo tanto un flujo de calor desde el interior de la Tierra hacia el exterior.

El recurso geotérmico constituye una de las opciones más viables, para la generación y el ahorro de energía. No solo por los costos, sino por su disponibilidad y modo de operación. Es por lejos el sistema menos contaminante de generación de energía, el menos impactante y el más robusto y eficiente. Cabe preguntarse entonces, por qué no hay centrales geotérmicas en todo el mundo, y una posible respuesta sería porque las pujas políticas y económicas prevalecen sobre el cuidado del medio ambiente actual y futuro, y donde las tecnologías limpias pueden opacar y reemplazar a las de combustibles fósiles son vistas como una amenaza al imperio capitalista del gas y del petróleo en vez de como un progreso tecnológico.

Esto, sumado a que es difícil someter a la gente al cambio sería uno de los factores que resta por vencer para que el progreso y avance técnico de este tipo de energía sea exponencial y podamos de una buena vez por todas vivir una vida confortable sin dañar el medio ambiente.

Una de las ventajas de la energía geotérmica es una fuente que evitaría la dependencia energética del exterior, aunque también existen inconvenientes como la emisión de ácido sulfhídrico que se detecta por su olor a huevo podrido, pero que en grandes cantidades no se percibe y es letal además de contaminar de aguas próximas con sustancias como arsénico, amoníaco, etc.

BIBLIOGRAFÍA.

LOS YACIMIENTOS GEOTÉRMICOS.

<http://www.igme.es/internet/Geotermia/Los%20yacimientos%20geot%20E9rmicos.htm>

LA GEOTERMIA EN EL MUNDO

<http://www.igme.es/internet/Geotermia/La%20geotermia%20en%20el%20mundo.htm>

DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE UNA PLANTA GEOTÉRMICA

<http://www.cfe.gob.mx/sustentabilidad/publicaciones/genElectricidad/Paginas/GeneraciondeElectricidad.aspx>

TIPOS DE YACIMIENTOS GEOTÉRMICOS SEGÚN LA TEMPERATURA DEL AGUA

http://es.wikipedia.org/wiki/Energ%C3%ADa_geot%C3%A9rmica

LA GEOTERMIA EN EL SALVADOR

<http://www.lageo.com.sv/perfil.php>