

Gran potencial con numerosas aplicaciones

LA ENERGÍA GEOTÉRMICA

François-D. Vuataz

En 1904 nació la Geotermia industrial con la producción de energía eléctrica en la Toscana. A partir de los años 60, numerosas centrales eléctricas geotérmicas vieron la luz progresivamente en 24 países y la utilización directa del calor subterráneo (principalmente para la calefacción y balnearios) se ha desarrollado en 70 países. En Suiza, las sondas geotérmicas verticales para la calefacción de hogares experimentan fuerte demanda y se potencia la construcción de edificios con instalaciones masivas de sondas para calefacción. En el próximo futuro, las centrales de producción combinada de electricidad y calor utilizarán fuentes geotérmicas de gran profundidad.

¿De dónde proviene el calor de la Tierra? Esta pregunta (a la vista de las manifestaciones naturales del calor: fuentes termales, géiseres, volcanes, etc.) ha sido objeto de la curiosidad del hombre. Las fuentes de calor han sido utilizadas desde la más remota antigüedad y todos conocemos la gran afición de los romanos por las aguas termales. Numerosas ciudades y pueblos han sido fundados sobre fuentes termales preexistentes: Bath (Gran Bretaña), Baden-Baden (Alemania) o Aix-les-Bains (Francia) por citar sólo tres poblaciones relacionadas con el agua (Fig. 1).

También debe recordarse que fueron verosímilmente los constructores romanos los primeros en introducir la calefacción por el subsuelo en algunos de sus edificios, una técnica prácticamente olvidada en el siglo XX.

Más del 99% de la masa de la Tierra está a una temperatura superior a los 1.000 °C y sólo el 0,1% de la masa de la Tierra (es decir los tres primeros kilómetros) está por debajo de los 100 °C. En la superficie terrestre, el calor se irradia a un flujo medio de 0,065 W/m².

Este calor desprendido no tiene como origen principal el enfriamiento

del globo terrestre sino que proviene (en un 90%) de la desintegración de elementos radiactivos (uranio, torio, potasio) contenidos en los minerales de la corteza terrestre. Según se profundiza en el subsuelo, la temperatura de obras tales como túneles, galerías de minas y perforaciones asciende regularmente. Como media, el gradiente geotérmico es de 33 °C/km

conocidos a poca profundidad (menos de 100 m) que ciertas formaciones geológicas permeables pueden crear a profundidades de 200 a 3.000 m, con temperaturas que se escalonan entre 15 °C y más de 250 °C, según las regiones. En ausencia de acuíferos, pueden utilizarse otras técnicas para transferir el calor de las rocas.



Fig. 1. Fuente termal en Aix-les-Bains (Francia)

de profundidad pero a menudo las condiciones geológicas específicas son la causa de grandes aumentos de temperatura y el gradiente puede alcanzar de 40 a 50 °C/km e incluso mucho más en zonas volcánicas. A 1.000 m de profundidad, en la meseta suiza, es normal que las rocas estén de 35 a 45 °C.

La Geotermia estudia la explotación del calor almacenado en el subsuelo, cualquiera que sea la temperatura de la fuente de calor, la profundidad a la que se explota y el uso que se haga de ella. Sin embargo, el calor contenido en las rocas es demasiado difuso para ser extraído de manera económica siendo necesario disponer de un fluido captador del calor (generalmente el agua) a fin de transportar la energía a la superficie. Este fluido se encuentra frecuentemente en el subsuelo, se trata de acuíferos bien

La realización de perforaciones equipadas permite elevar hasta la superficie la energía calorífica contenida en las rocas. La tecnología actual permite captar recursos geotérmicos de hasta 5.000 m de profundidad y 400 °C.

Tipología de los recursos

Se distinguen varios tipos de Geotermia en función de la temperatura de la fuente y del modo de utilización de la energía. Según la temperatura disponible, se pueden emplear dos procedimientos geotérmicos: la producción directa del calor mediante instalaciones de calefacción, y la conversión de energía en electricidad (Tabla I).

Uso directo del calor

El agua caliente procedente de una fuente geotérmica puede ser utilizada

Type de géothermie	Ressource	Profondeur (m)	Production	Technologie
Très basse énergie 10...30° C	Roches sèches	10...100	Chaleur ou froid	Sondes géothermiques verticales, géostructures énergétiques, tunnels, etc.
	Aquifères peu profonds	10...1000		
Basse énergie 30...90° C	Aquifères profonds	1000...3000	Chaleur	Centrales de chauffage urbain, complexes de serres agricoles, thermisme, pisciculture, etc.
	Zones d'anomalie thermique à faible profondeur	100...1000		
Géothermie de moyenne énergie 90...150° C	Aquifères très profonds	2000...4000	Electricité et/ou chaleur	Centrales de production électrique et/ou distribution de chaleur couplée
	Zones d'anomalie thermique à faible profondeur	500...2000		
Géothermie de haute énergie 150...250° C	Aquifères profonds dans des zones de gradient anormal élevé	1000...5000	Electricité (et chaleur)	Centrales de production électrique (et distribution de chaleur couplée)
	Systèmes géothermiques stimulés EGS			Centrales des 2000

Tabla 1. Tipología y características de los recursos geotérmicos

directamente para suministrar calor a distancia, a las piscinas de un centro termal, depósitos de las piscifactorías, invernaderos agrícolas o a cualquier otra actividad que necesite calor. La gama de entre 15 y más de 100 °C puede ser utilizada para diversas aplicaciones. La mayor parte de las instalaciones geotérmicas realizadas hasta hoy están relacionadas con la calefacción (hábitat urbano colectivo o individual, locales industriales y agrícolas), balneoterapia y piscicultura.

Si la temperatura de suministro no es la suficiente para asegurar un sistema elemental, se puede recurrir a una fuente de energía complementaria (electricidad, gas, fuelóleo) para asegurar las puntas de demanda de calor durante los días más fríos del invierno. Para las fuentes de más baja temperatura (manto freático y formaciones rocosas de poca profundidad), se utilizan bombas de calor para aumentar el flujo de calor y calentar a baja temperatura.

La dimensión de las instalaciones es muy variable, abarcando desde los 5 a 7 kWt para residencias familiares, hasta los 100.000 kWt para redes de calefacción urbana, dando servicio a miles de apartamentos, escuelas, hospitales, etc. (Fig. 2).

En el caso de utilización calorífica de un depósito acuífero profundo, el fluido geotérmico llega a la superficie por la perforación de subida y transmite su calor (mediante un intercambiador de calor) al fluido de calefacción. A fin de optimizar al máximo la fuente geotérmica y proteger el medio ambiente, los fluidos geotérmicos deben ser reinyectados en su acuífero

después del enfriamiento hasta la temperatura más baja posible. La solución ideal es refrigerar el fluido geotérmico mediante utilizaciones diversas y sucesivas (en cascada), hasta alcanzar la temperatura ambiente.

Uso indirecto para la conversión en electricidad

El fluido geotérmico que se encuentra en el depósito llamado de "alta energía" está generalmente en forma líquida o en bifásica. En algunos casos muy favorables se encuentra ya en fase de vapor. Al ascender por la conducción de producción, el fluido se despresuriza progresivamente y se vaporiza en parte. Un separador de fase permite conducir sólo el vapor (bajo presión) hacia una turbina acoplada a un generador.

Para rentabilizar al máximo un recurso geotérmico, la inyección del fluido refrigerado en el depósito sub-

terráneo debe hacerse a la temperatura más baja posible. Al salir del separador o del intercambiador de calor, el fluido se encuentra aún a cerca de 100 °C. Para incrementar la utilidad de la fuente es necesario enfriar más este fluido, sea por medio de una segunda turbina de baja presión, o de una instalación calefactora siempre que existan consumidores que se encuentren en las proximidades.

Se construyen diferentes tipos de centrales en función de la temperatura del depósito, de la presión, cantidad de vapor y salinidad del fluido geotérmico. En el caso de una fuente de alta temperatura y baja salinidad del fluido, es el propio vapor geotérmico el que se introduce en la turbina (Ciclo directo).

Para las fuentes cuyo fluido es muy salado y/o la temperatura es inferior a 150 °C, se utiliza la tecnología de los dos fluidos. En este caso, la potencia calorífica se transmite, por medio de un intercambiador de calor, a un fluido de trabajo orgánico de bajo punto de vaporización, que acciona la turbina según el ciclo de **Rankine** (o de **Kalina**). Se está, por tanto, en presencia de dos circuitos de fluido cerrados: el circuito geotérmico primario y el circuito secundario de la central.

La mayoría de las centrales de producción de electricidad de origen geotérmico alcanzan una potencia instalada de 20 a 50 MWe, las peque-

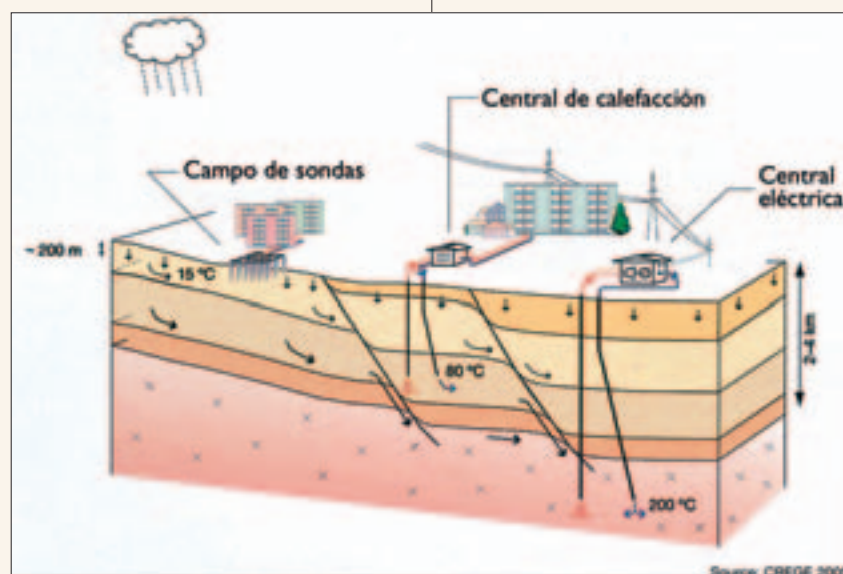
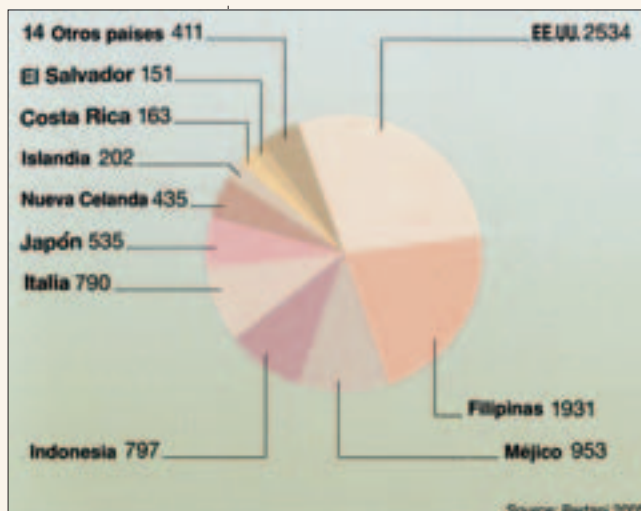


Fig. 2. Recursos geotérmicos y modos de explotación

Fig. 3. Potencia instalada (MWe) para la producción de energía geotérmica en 2005 en los 10 países principales (Total de 8.900 MWe instalados en 24 países que producen 56.800 GWh/año)



Toscana fue el único en producir electricidad de modo industrial. Desde los años 60, el rápido desarrollo de la tecnología ha supuesto el arranque progresivo de centrales eléctricas en 24 países, principalmente EE.UU., Filipinas, México, Italia e Indonesia por citar a los líderes (Fig. 3). Actualmente, seis países producen entre el 10 y el 24 % de su electricidad gracias a la Geotermia: Costa Rica, El Salvador, Islandia, Kenia, Nicaragua y Filipinas (Fig. 4). En total, la electricidad de origen geotérmico abastece a 63 millones de personas en el mundo. En 2004 se celebró el centenario

ñas unidades varían de 0,5 a 5 MWe y las mayores centrales sobrepasan los 100 MWe. La mayor parte de las centrales eléctricas geotérmicas han sido concebidas para fluidos de entre 150 a 250 °C ya que el rendimiento de la conversión eléctrica depende de la temperatura. Esta conversión es sensiblemente más favorable por encima de 180 °C. Sin embargo, desde hace pocos años, se explotan fuentes térmicas de menor temperatura (100 a 150 °C), en pequeñas producciones de electricidad combinadas con el suministro de calor, principalmente Austria y Alemania.

La Geotermia en el mundo

Producción de electricidad

Desde principios del siglo XX hubo pioneros en Italia y Japón que construyeron las primeras centrales eléctricas geotérmicas. Durante casi 50 años, el establecimiento geotérmico de Larderello en la

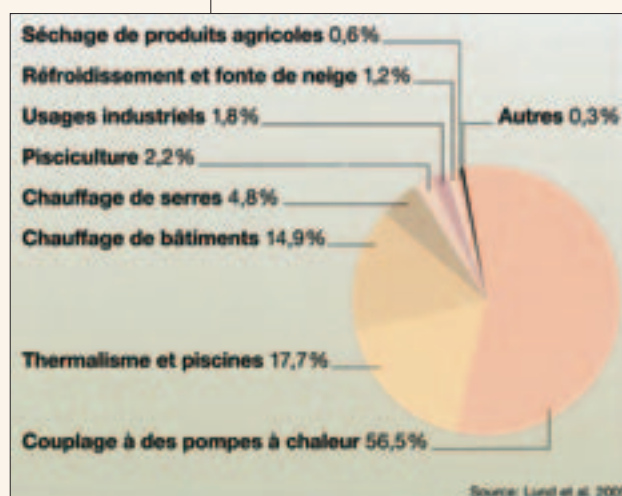


Fig. 5. Distribución de los modos de utilización de la energía geotérmica en el mundo en 2005 con un total de 28.000 MWt en 71 países que producen 72.600 GWh/año

de la producción de electricidad por medio de la Geotermia.

Producción de calor

Las fuentes de vapor de alta temperatura y presión son explotadas principalmente para obtener electricidad. Las fuentes geotérmicas de media o baja temperatura son utilizadas, de forma directa en su mayoría, en balnearios y para calentar edificios, así como en lo relacionado con los invernaderos agrícolas, piscicultura e industria (Fig. 5). En 2005, más de 70 países totalizan una potencia instalada de 28 000 MWt, produciendo 72.600 GWh/año. Los 10 países que poseen más de 500 MWt instalados cada uno son EE.UU., Suecia, China,



Fig. 4. Cogeneración en la central geotérmica de Nesjavellir (Islandia): 60 MWe para la red nacional y 150 MW de calor distribuidos por una conducción de 27 km hasta Reykiavik

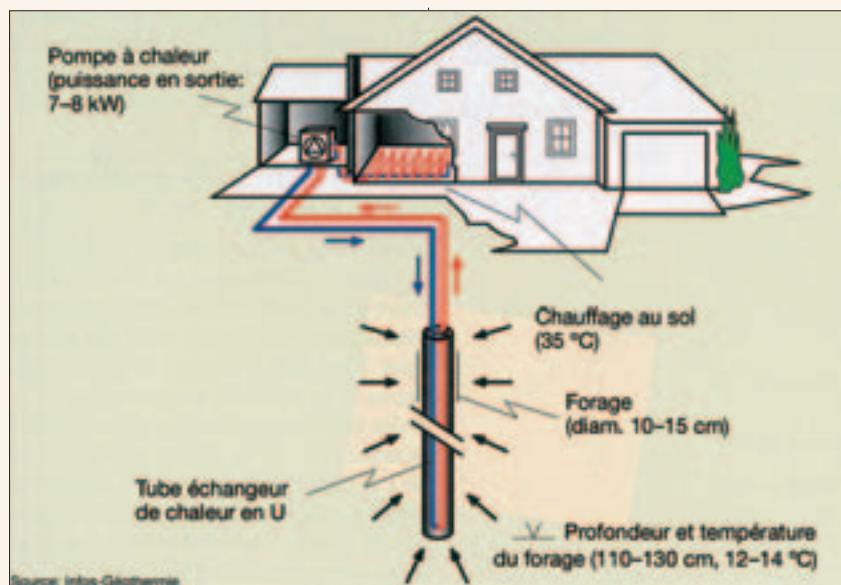


Fig. 6. Calentamiento doméstico con una sonda geotérmica acoplada a una bomba de calor

Islandia, Turquía, Dinamarca, Hungría, Italia, Suiza y Alemania.

Las aplicaciones y técnicas utilizadas son muy variadas según los países. En Europa occidental, las grandes instalaciones geotérmicas están unidas a las redes urbanas de distribución del calor, mientras que las pequeñas instalaciones tienen acopladas bombas de calor para asegurar la calefacción de hogares familiares. En Europa oriental, las utilizaciones son más variadas, principalmente en la calefacción de invernaderos agrícolas.

La Geotermia en Suiza

Hace 25 años, Suiza estaba representada por una mancha blanca en el mapa geotérmico de Europa. En efecto, la prospección y utilización de recursos geotérmicos sólo se practicaba de forma confidencial por algunos especialistas. En esta época, nadie imaginaba que Suiza sería un día un usuario importante del calor terrestre. Considerando a escala mundial la potencia geotérmica instalada por habitante (únicamente para la producción de calor), Suiza ocupa el quinto lugar de la lista, con 76 Wt por habitante, después de Islandia, Suecia, Dinamarca y Noruega.

Una de las características de la Geotermia suiza es la variedad de los recursos (de 10 a más de 2.000 m de profundidad) y modos de utilización

(desde la calefacción de una casa unifamiliar hasta la red de distribución de calor).

Sondas geotérmicas verticales (SGV)

Las SGV son intercambiadores de calor instalados verticalmente en perforaciones de 50 a 350 m. Se bombea un fluido, en circuito cerrado, que permite extraer energía del subsuelo con la ayuda de una bomba de calor. Estas sondas son instaladas llave en mano por empresas especializadas. Las 35.000 instalaciones existentes

en Suiza representan la mayor densidad del mundo en este tipo de instalación. La gran mayoría de estas sondas sirven para calentar las casas familiares.

Una SGV puede ser instalada en casi todos los tipos de formación rocosa. Se realizan una o dos perforaciones, de un diámetro de unos 15 cm, muy próximas al edificio calentado, siendo la profundidad de las mismas dependiente del volumen de los locales a calentar y de las características térmicas del terreno (Fig. 6).

Terminada una perforación, se introduce generalmente un doble tubo de polietileno en forma de U hasta el fondo. El espacio vacío restante se llena con una mezcla de bentonita y cemento para asegurar un buen contacto térmico entre los tubos y la pared de la perforación. Seguidamente se establece un circuito cerrado entre la perforación y el subsuelo del edificio, y se bombea el agua (generalmente añadiendo un 15 al 20 % de anticongelante) en el intercambiador de calor así creado.

El fluido circulante en la perforación toma el calor del suelo y suministra la energía geotérmica a una bomba de calor que permite subir el nivel de temperatura hasta alrededor de 35 °C. La electricidad que hace funcionar la bomba representa del 25



Fig. 7. Oficinas en Wollerau (Suiza) acondicionadas por un campo de 32 sondas geotérmicas.

al 30% de la energía de la instalación. Este sistema permite asegurar toda la temporada de caldeo de una vivienda mediante suelos calefactores de baja temperatura y, según el tipo de bomba, asegurar también el suministro de agua caliente sanitaria.

Para un chalé de nueva construcción, el importe de la inversión de una SGV es similar al de un sistema de calefacción convencional de fuelóleo equipado con una caldera. Sin embargo, los gastos de funcionamiento anuales son muy favorables a la SGV (no hay gastos de mantenimiento ni de combustible). En el caso de la restauración de un edificio o del cambio de una instalación de calefacción antigua, merece la pena evaluar los costos y las ventajas de una sonda geotérmica.

Campos de sondas geotérmicas

Si se agrupan una serie de sondas o si se perfora a más profundidad, el intercambiador de calor dispondrá de un potencial más importante y permitirá calentar un grupo de viviendas o edificios de mayor envergadura, como inmuebles, locales industriales o administrativos, salas polivalentes, etc. Las potencias instaladas oscilan desde algunas decenas de kW hasta los 1.000 kW para las mayores instalaciones (Fig. 7).

Una serie de sondas geotérmicas verticales (de cuatro a 80 sondas), de profundidad variada (30 a 350 m), se disponen bajo el edificio a calentar o a su lado. Las conducciones de cada sonda se agrupan en un colector que alimenta a una o varias bombas de calor. El funcionamiento de la instalación se desarrolla según un ciclo anual: el calor del terreno se extrae durante la estación invernal (inyección de frío) y durante el estío se transfiere calor al terreno (extracción de frío). Con frecuencia se instala un sistema auxiliar o de complemento que sólo funciona durante los períodos de mantenimiento o reparación y con motivo de grandes fríos.

Geoestructuras y pilotes energéticos

Las geoestructuras necesarias en la construcción de las fundaciones de edificios de cualquier dimensión pue-

den ser equipadas con intercambiadores de calor. Los pilotes de hormigón armado alcanzan una longitud que va desde algunos metros hasta más de 30 m. En el interior de estos

tracción de frío” del terreno durante el período de climatización (inyección de calor en el terreno). Las potencias instaladas varían entre 20 y 1.000 kWt y las ventajas de estas instalacio-



Fig. 8. Sistema de pilares energéticos para calefacción y enfriamiento en el centro escolar de Fully, Velais

pilotes se instala un tubo o una red de tubos de polietileno, a menudo duplicando o cuadruplicando su longitud mediante ramas en U, según el diámetro del pilote. Estos tubos están embebidos en el hormigón para asegurar un buen contacto térmico. Un fluido calorífero (a menudo sólo agua) circula en una red de circuito cerrado entre el pilote y la bomba de calor, a fin de poder intercambiar el frío o el calor con el terreno.

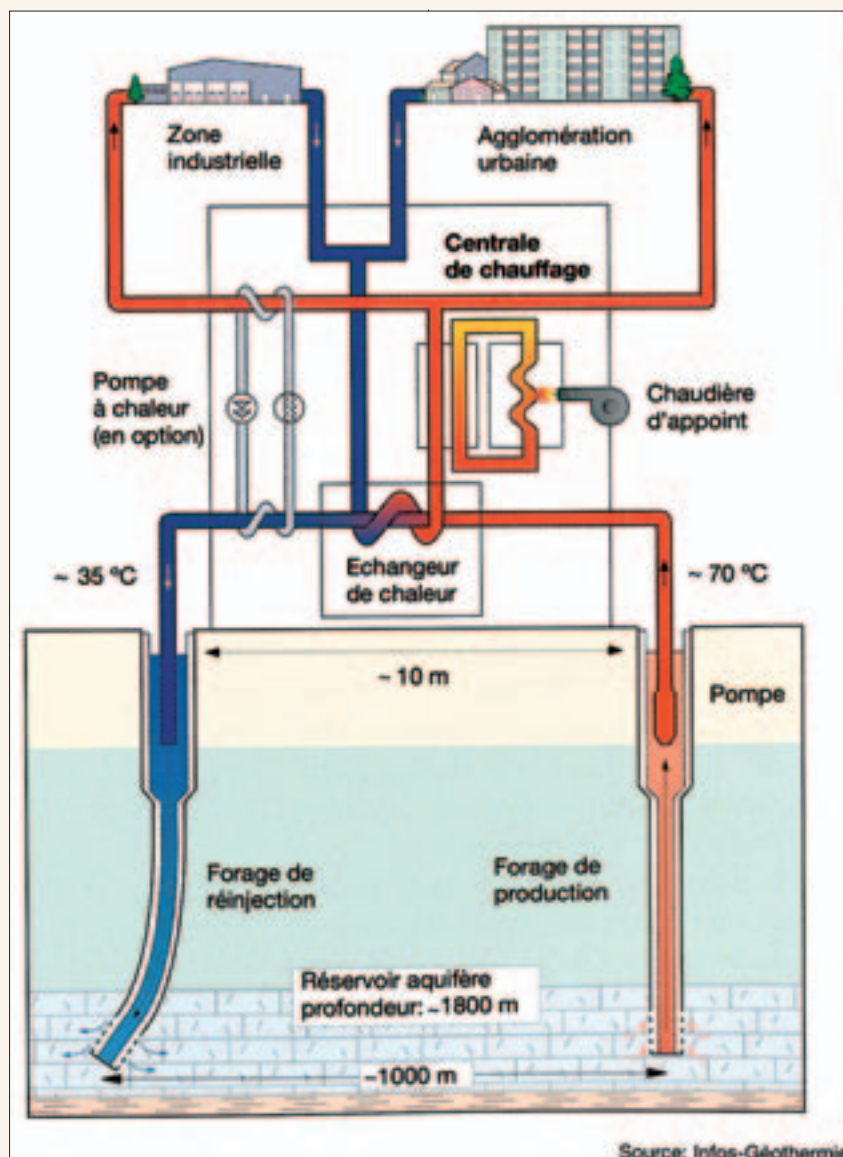
El funcionamiento de la instalación se desarrolla a lo largo de un ciclo anual, extrayendo el calor del terreno durante la estación de calefacción (inyección de frío) y una “ex-

nes son la reducción de los costos de explotación en combustible fósil (un 80 %) y la reducción de las emisiones de CO₂ (45 a 100 %).

Esta tecnología, simple y racional, no requiere sobrecostos excesivos pero exige su integración en el proyecto desde el principio así como la consideración global de los aspectos de construcción y consumo de energía. Existen actualmente más de 350 instalaciones de geoestructuras energéticas en Austria y Alemania, y sólo una treintena en Suiza (Fig.8).

Calor del manto freático

El manto freático es un notable sumi-



Source: Infos-Géothermie

Fig. 9. Esquema de un par geotérmico para alimentar una red de calefacción a distancia

nistrador de energía con fines de calefacción de locales y de agua sanitaria. En Suiza, la temperatura de las aguas subterráneas (5 a 20 m) alcanza de 8 a 12 °C y, a diferencia de las aguas al aire libre, sólo es objeto de muy ligeras variaciones estacionales. La explotación de manto freático precisa pozos únicos o múltiples (pozos de producción e inyección) y requiere una concesión administrativa.

Después de haber sacado el agua subterránea por bombeo desde un pozo, una bomba de calor extrae las calorías y provee de una temperatura suficiente para un sistema de calefacción a baja temperatura. Después de su refrigeración, el agua es devuelta a su capa freática por medio de un se-

gundo pozo. En Suiza se cuentan unas 5.000 instalaciones de este tipo, existiendo más de 900 tan sólo en el cantón de Berna principalmente en edificios de pequeño tamaño.

Fuentes termales y acuíferos profundos

La mayor parte de las fuentes termales naturales son explotadas desde hace mucho tiempo en Suiza como Estaciones de cura. Algunas de ellas aprovechan los excedentes de calorías para calentar edificios y precalentar el agua caliente sanitaria, como en Lavey-les-Bains, Zuzach y Bad Schinznach. En el marco de apoyo a los proyectos de perforaciones profundas y de cobertura del riesgo geo-

lógico implantada por la **OFEN**, han sido realizadas 14 perforaciones (de 400 a 2.500 m de profundidad) entre 1988 y 1998 con un porcentaje positivo del 50 %.

Por razones ambientales y de gestión del mantenimiento de los recursos, el fluido geotérmico debe ser reinyectado en su acuífero después de la utilización de las calorías. Este modo de funcionamiento es conocido como "doble geotérmico". La perforación de producción eleva el agua geotérmica a la superficie mediante una bomba sumergida. Seguidamente, un intercambiador de calor transmite las calorías geotérmicas al circuito de calefacción. Después del enfriamiento, el agua geotérmica es restituida a su acuífero a través de la perforación de inyección (Fig. 9).

La mayor central geotérmica de Suiza basada en el principio del doble alimenta la red de distribución de calor de Riehen (Bâle). Esta instalación está equipada con una central de cogeneración calor-electricidad y dos bombas de calor eléctricas. La explotación del acuífero (67 °C a 1.500 m) se realiza mediante dos perforaciones verticales separadas por una distancia de 1 km. Unos 160 inmuebles en el territorio suizo se calientan por procedimientos geotérmicos, y desde el año 2000 se da el caso único de venta de calor geotérmico transfronterizo, que permite dar servicio a un barrio de Lörrach (Alemania) por medio de una conducción de 600 m proveniente de la central geotérmica de Riehen.

Geotermia de los túneles

Los túneles y las galerías que atraviesan los macizos rocosos drenan las aguas subterráneas que encuentran. Estas aguas son evacuadas hacia el exterior de las galerías y son revertidas, mediante canales, a los cursos de agua existentes. Según el espesor de las rocas que recubren el túnel, la temperatura de las aguas interceptadas es de 30 °C e incluso más. Este recurso geotérmico, asociado a caudales importantes, puede ser utilizado para las necesidades de los usuarios próximos a las bocas de los túneles.

Un estudio geotérmico de 15 tú-

neles y galerías de Suiza ha mostrado el potencial, tanto en el plano de la energía geotérmica disponible como en el de la presencia de consumidores. El potencial total, susceptible de ser explotado, llega a 30 000 kWt. Es necesario hacer notar que los dos túneles de base de AlpTransit (Lötschberg y Gothard) van a proporcionar una energía importante, con motivo de su longitud y del espesor de su recubrimiento de rocas.

Actualmente existen en Suiza un total de seis instalaciones de calefacción que utilizan el calor de los túneles. En el túnel ferroviario de la Furia, en Valais, se drenan y recogen naturalmente unos 5.400 l/min. a 16 °C hacia la boca oeste. Una conducción aprovisiona el agua por gravedad al pueblo de Oberwald, en donde se ha escogido un sistema innovador: una

red de distribución lleva el agua a las bombas de calor de cada utilizador. Actualmente se calientan con el calor del túnel 177 apartamentos y una sala de deportes comunal. La potencia total instalada alcanza los 960 kWt pero el potencial disponible es de 3.700 kWt.

Tecnología de los sistemas geotérmicos estimulados: un proyecto futuro

El principio de los *Sistemas Geotérmicos Estimulados* (EGS) consiste en aumentar la permeabilidad de un macizo de rocas fisuradas en un zócalo cristalino a fin de hacer circular el agua para recalentarla. A este fin, se inyecta agua fría a gran presión en una perforación donde la roca llega a unos 200 °C de temperatura (5 a 6 km de profundidad en las condicio-

nes geológicas de Suiza). Bajo el efecto de la presión, las grietas existentes son ampliadas y puede instaurarse un circuito continuo entre un pozo de inyección y uno o varios pozos de producción. Después de su encauzamiento por la red de fisuras, el agua recalentada sube por la perforación de producción y transmite la energía calorífica en superficie, por medio de un intercambiador de calor, a un fluido de trabajo. Este segundo circuito, con bajo punto de vaporización, acciona una turbina de vapor acoplada a un alternador. Después de enfriarse, el fluido geotérmico vuelve al macizo rocoso por la perforación de inyección (Fig. 10).

Basándose en esta tecnología, el Proyecto *Deep Heat Mining* (DHM) arrancó en 1996. El concepto de una central piloto para la producción conjunta de electricidad y calor en Suiza ha sido elaborado de acuerdo con las experiencias obtenidas en los programas internacionales de *Hot Dry Rock*. Por razones de índoles económica, política y geotérmica, la primera central piloto será construida en Bâle. Con una potencia eléctrica neta de unos 4 MWe y una potencia térmica de 30 MWt, suministrará, a partir de 2010, electricidad y calor a 5.000 hogares. Esta capacidad se obtendrá mediante una perforación de inyección y dos de producción, suministrando un caudal de 100 l/s a 180 °C. El costo global de realización de esta central piloto ha sido previsto en unos 85 millones de francos suizos, mientras que el precio de costo de la energía ha sido evaluado en 15 ct/kWh para la corriente eléctrica y 3,5 ct/kWh para el calor. La financiación de todas las perforaciones y de la Ingeniería de subsuelo están convenidas y la primera perforación de 5 km será realizada a partir de enero de 2006.

La Geotermia en Suiza a principios del siglo XXI

A medio plazo, la Geotermia de baja temperatura (sondas geotérmicas y calor del manto freático) para el calentamiento y climatización de edificios, continuará su firme desarrollo. Por otra parte, en el ámbito de la pro-

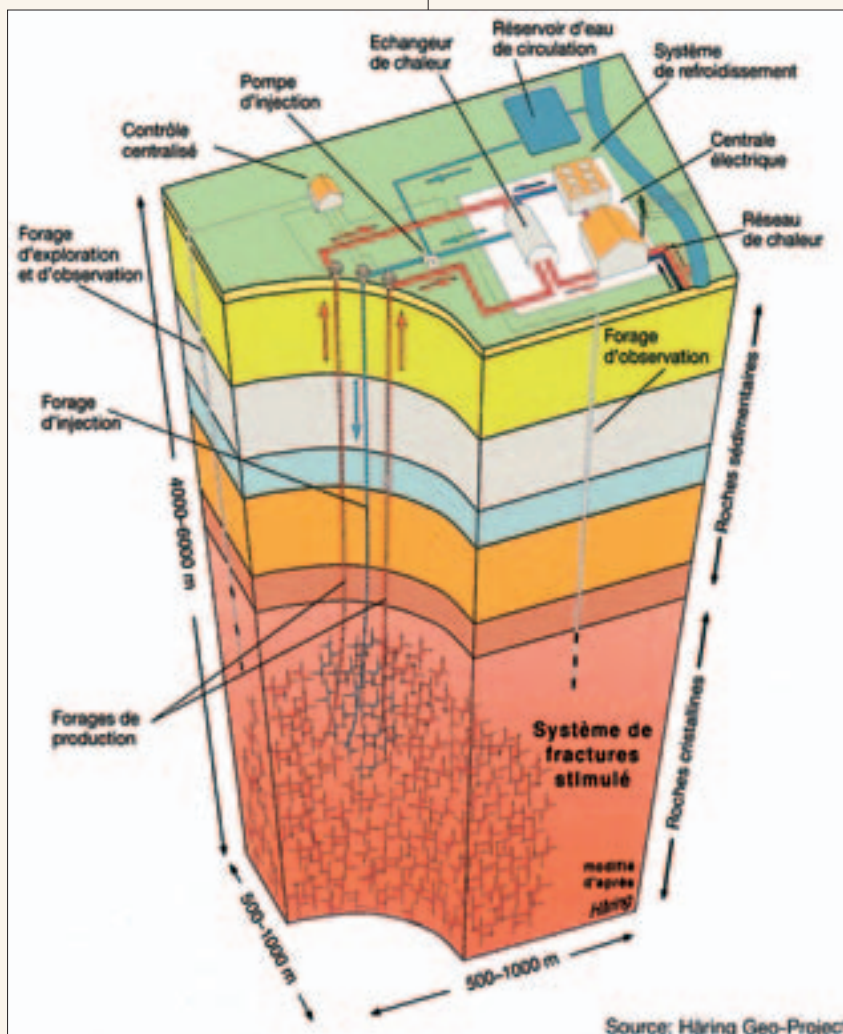


Fig. 10. Esquema de funcionamiento de una instalación geotérmica de gran profundidad

ducción de electricidad por sistemas geotérmicos estimulados a gran profundidad, las primeras centrales piloto verán la luz en Soultz-sous-Fôrets (Alsacia) en 2006 y en Bâle en 2010. Estas operaciones de demostración permitirán instaurar una dinámica de aceleración en la construcción de nuevas centrales, más grandes y más eficaces.

De forma general, la utilización creciente de la Geotermia y la buena gestión del calor (y del frío) del subsuelo de Suiza contribuirán a disminuir la dependencia de los gasóleos de calefacción y, en consecuencia, reducir las emisiones del gas origen del efecto invernadero. El calor del subsuelo está disponible y puede aportar una contribución más importante en la escena energética de Suiza.

Bibliografía

El autor es director del Centro de Investigación Geotérmica de Neuchâtel (CREGE). En 1981 obtuvo el doctorado en Ciencias por la **Universidad de Ginebra**. Ha ocupado diversos pue-

Type et utilisation	Puissance installée en 2004 (MWt)	Production en 2004 (GWh)
Sondes géothermiques verticales et nappes de tubes horizontales	450	666,3
Forages dans la nappe phréatique	75,4	114,4
Sources thermales et forages	40,8	341,5
Géostrutures énergétiques (chaleur et refroidissement)	7,0	15,2
Aquifères profonds	6,1	37,2
Tunnels (eaux de drainage)	5,2	13,7
Echangeurs de chaleur en forages profonds	0,2	0,9
Total	584,7	1189,2

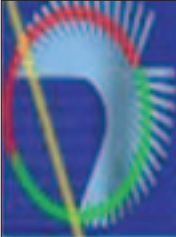
Tabla 2. Potencia instalada y producción de calor geotérmico en Suiza en 2004

tos de investigación aplicada en el campo de las fuentes geotérmicas en EE.UU. (**Los Alamos, National Laboratory**), Francia (**BRGM**) y en Suiza (**EPFL, CREALP, CHYN**). De 1990 a 2004 ha dirigido el grupo de Geotermia del CHYN (**Universidad de Neuchâtel**). Es vicepresidente de la Sociedad Suiza para Geotermia (**SG/SVG**) y miembro del *Board of*

Directors de la Asociación Internacional de Geotermia (**IGA**).

La **CREGE**, creada en noviembre de 2004, es una red de competencias en el campo la Geotermia y está constituida por 34 Instituciones suizas.

Centre de Recherche en Géothermie CREGE. ■



S Solución P Presentación S Seguridad

Presentaciones para el sector de Seguridad e Higiene en el Trabajo



Protección para carretillas elevadoras
Plataforma AGF
Plataforma AGF
Alumina, 30kg

SPS, Solución Presentación y Seguridad

Paseo de la Castellana 93
4ª planta
28046 Madrid

Teléfono: +34 91 418 50 08
Fax: +34 91 418 50 55
Info@solucion-p-s.com
<http://www.solucion-p-s.com>

- Cursos interactivos para empresas
- CD-ROM Parques infantiles
- Plataformas de trabajo para carretillas elevadoras
- Plataforma tipo AGF
- Protección para carretillas elevadoras
- DVD La carretilla elevadora de horquilla