

ENERGÍA GEOTÉRMICA EN LA COMUNIDAD AUTÓNOMA DE EUSKADI (CAE). ACTUACIONES Y TENDENCIAS

Recibido: 10/1/06

Aceptado: 30/1/06

Iñigo Arrizabalaga Valbuena
Ldo. En Ciencias Geológicas
Ente Vasco de la Energía
(EVE)

Resumen

Se resumen las principales actuaciones de investigación geotérmica realizadas en la CAE: los sondeos *Antezana#1G* y *Gaztelu#1*. Se describe la tecnología de intercambio geotérmico o geointercambio. Se reflejan las tipologías y desarrollo actual de esta forma de aprovechamiento de una energía renovable escasamente implantada en nuestro entorno. Finalmente, se avanzan algunos detalles del proyecto de geointercambio actualmente en curso para la climatización, mediante el uso de una bomba de calor de 200 kW, de las nuevas instalaciones del C.M.I. (Centro Metalúrgico de Investigación. *Azterlan* en Durango (Vizcaya).



Perforación del sondeo *Gaztelu#1*

Palabras clave: Bomba de calor, sondeos, intercambio geotérmico.

Abstract

This article summarizes the main works of geothermal investigation in the Basque Country: Antezana#1G and Gaztelu#1 exploration wells. The technology of geoexchange or geothermal exchange is quickly described. Main types and actual development of this kind of supply, of a renewable energy barely implanted, in our country are reflected. Finally, it introduces a project of geoexchange in course for heating and cooling, by means of a ground-source heat pump of 200 kW, the new facility, of the C.M.I. Azterlan, in Durango (Bizkaia).

Key words: Exploration wells, heat pump, geothermal exchange.

1.- INTRODUCCIÓN

Como es bien sabido, los aprovechamientos geotérmicos convencionales explotan la energía térmica producida en una serie de reacciones físico-químicas naturales que suceden en el interior de la Tierra. La temperatura en el núcleo se estima próxima a 5.000 °C dando lugar, por distintos medios, a una transmisión de calor hasta la superficie terrestre donde se disipa. Este proceso explica el gradiente geotérmico existente que se manifiesta en un aumento medio de la temperatura con la profundidad a razón de 1 °C cada 30 m.

El hombre emplea desde la antigüedad distintas técnicas para el aprovechamiento de esta fuente de calor. La más sencilla es el uso de manantiales y surgencias calientes naturales en baños y termas. La técnica más habitual, en la actualidad, es la captación mediante la construcción de sondeos de agua subterránea en acuíferos profundos. Una vez en la superficie, se puede utilizar directamente, si la temperatura del agua lo permite, en la generación de electrici-

dad o en la calefacción de cualquier proceso industrial, agrícola o residencial que lo precise. Otra variante, empleada en "almacenes secos", consiste en la inyección y posterior recuperación, tras su calentamiento por contacto con el medio, de agua o menos comúnmente otros fluidos.

2.- PRINCIPALES EXPERIENCIAS EN LA COMUNIDAD AUTÓNOMA DE EUSKADI

La experiencia en la CAE en este campo, obviando los tradicionales aprovechamientos de balneoterapia: Cestona, El Molinar, Urberuaga, ... y, una vez realizada una primera evaluación del potencial de la CAE, se ha centrado en la investigación geotérmica de la unidad hidrogeológica **Calizas de Subijana**.

Entre 1987 y 1991, con el apoyo financiero de la **Comunidad Europea**, el **EVE** ha perforado dos sondeos profundos en Alava: *Antezana#1G* en el municipio de Ribera Alta y *Gaztelu#1* en el de Vitoria-Gasteiz. El techo del acuífero objetivo se localiza, según lo previsto, a una profundidad superior a los 2.000 m.

La prueba de producción, una vez realizado el desarrollo, del sondeo *Antezana#1G* proporciona un caudal de explotación de 180 m³/h con un elevado caudal específico: 1 lms⁻¹. Sin embargo, la temperatura del agua resulta anómalamente baja, inferior a 20 °C. Los isótopos analizados confirman la elevada velocidad de circulación del agua en el acuífero. Como consecuencia se produce la disipación casi total del flujo geotérmico impidiendo un calentamiento significativo del acuífero.

En el sondeo *Gaztelu#1* durante las pruebas realizadas se obtiene agua a 58 °C. En este caso, la transmisividad hidráulica del acuífero es sensiblemente inferior y el caudal obtenido se reduce a 15 m³/h, con un caudal específico de 0,025 l/s/m, in-

suficiente para cualquier aprovechamiento energético. Las características del agua alumbrada han permitido su declaración como mineromedicinal. Se han realizado diversos proyectos para el aprovechamiento termal del recurso que hasta la fecha no han fructificado.

Con estas experiencias en el área de mayor interés, dadas las reducidas dimensiones y características geológicas de la Comunidad, se "enfrian" las posibilidades de desarrollar algún proyecto de aprovechamiento geotérmico en la CAE y se abandona la investigación en este campo durante casi 10 años.

3.- GEOINTERCAMBIO

En los últimos tiempos se han iniciado las actuaciones en un campo bastante experimentado tanto en EE.UU. como en amplias zonas del norte y centro de Europa pero con muy escasas referencias en nuestro entorno. Se trata del intercambio geotérmico, geointercambio o geotermia solar.

3.1.- Fundamentos.

La tecnología del geointercambio aprovecha, mediante la aplicación de una bomba de calor, la energía solar, y en menor medida, geotérmica acumulada en la zona superficial de la Tierra (primeros 100 m) que mantiene una notable estabilidad térmica a lo largo del año. Se estima que la Tierra absorbe el 47% de la radiación solar recibida lo que supone más de 500 veces las necesidades energéticas derivadas de la actividad humana (*Geothermal Heat Pump Consortium, GHPC, 1999*). Mediante el intercambio geotérmico, en modo calefacción se extrae calor de esta masa transfiriéndose al sistema de calefacción existente, habitualmente aire caliente o suelo radiante. En modo refrigeración se transfiere la carga térmica del edificio al medio de intercambio que funciona como foco caliente.

El rendimiento de la bomba de calor es inversamente proporcional a la diferencia de temperaturas de los focos que con este sistema se minimiza y resulta prácticamente independiente de las variaciones estacionales. Este

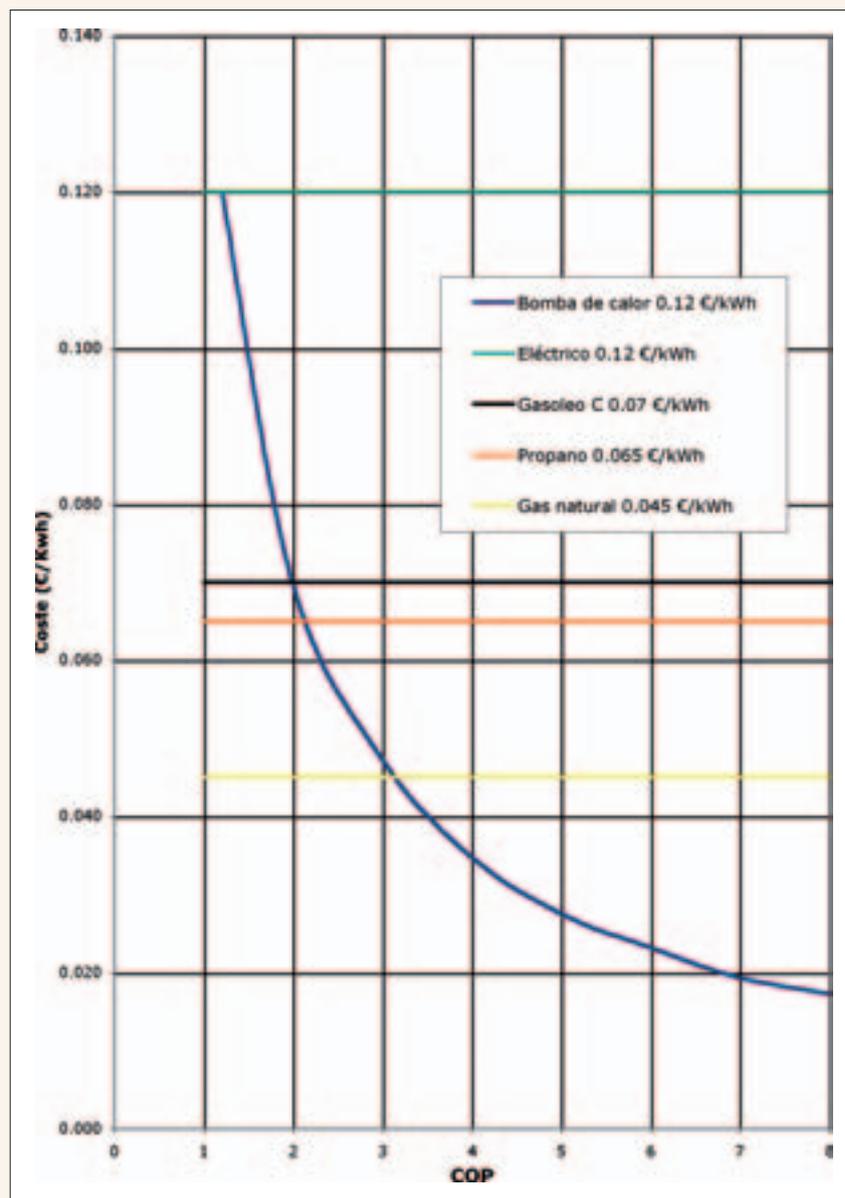


Figura 1.- Costes comparados de la energía con bomba de calor frente a alternativas convencionales de calefacción. Precios de noviembre de 2005. Basado en *Monasterio et al. (1993)*

hecho, unido al empleo de bombas de calor agua/aire o agua/agua, con rendimientos típicamente superiores a los equipos aire/agua, proporciona valores del COP (*Coefficient of Performance*) muy altos, con frecuencia superiores a 4. En la figura 1 se comparan los precios de la energía con bomba de calor frente a las alternativas convencionales de calefacción. Se observa que para COP superiores a 3,2 resulta la solución más económica con costes de la energía inferiores incluso al gas natural.

3.2.- Aplicabilidad

Se trata de una tecnología con cierto recorrido. Las primeras patentes se registran en Suiza en 1912 pero hay que esperar a los años 80 para observar su despegue. Así, de las 14.000 instalaciones censadas en EE.UU. en 1985, se pasa a cerca de 100.000 en 1990 y 400.000 en 1999. Se estima que en 2010 se alcanzará un número de 1,5 millones de instalaciones en EE.UU. Se trata básicamente de instalaciones residenciales así como también en centros comerciales y edificios de oficinas. Las potencias instaladas son habitualmente inferiores a

35 kW si bien hay referencias de instalaciones de hasta 6.000 kW, mediante el empleo de más de 60 bombas de calor (*Federal Technology Alerts, FTA, 1993*).

En Europa su uso es menos común y se concentra en los países nórdicos y en Europa Central. El número de instalaciones en funcionamiento a finales de 1998 era de unas 110.000 unidades.

La capacidad total instalada a escala mundial en 2000 era de unos 6.700 MW y la energía producida asciende a 6.500 GWh/año (*Rybach, 2001*; citada en *Bose et al. 2003*)

Esta tecnología ha sido calificada por la **EPA** (1993) como la más eficiente y menos contaminante de todas las tecnologías de acondicionamiento de espacios. Su uso se impone cuando se prioriza el coste total de la instalación a lo largo de su ciclo de vida frente al coste inicial.

3.3.- Tipologías

Se diferencian cuatro tipos principales de instalación (Fig. 2) en función del medio de intercambio elegido, si bien luego existen numerosas variantes.

a. Circuito cerrado con intercambiador enterrado horizontal. La tubería, normalmente de polietileno (PE), por la que circula el líquido de intercambio: agua o agua glicolada, se instala en zanjas a una profundidad mínima de 0,90 m. Existen disposi-

ciones de hasta seis tubos por zanja aunque comúnmente se colocan dos. Una variante recurre a la colocación de las bobinas de PE en el terreno separando las sucesivas espiras con tierra seleccionada o arena. Las necesidades se estiman entre 10 y 35 m/kW en función de las características litológicas, el grado de humedad del suelo y el número de ramales en la zanja. Este sistema habitualmente tiene un coste inferior a la perforación de sondeos. Como contrapartida se precisa disponer de una importante superficie con espesores ripables cercanos a 1 m lo que con frecuencia es difícil de conseguir. Además, el sistema está sometido a variaciones apreciables en la temperatura y el grado de humedad que penalizan el rendimiento estacional.

b. Circuito cerrado con intercambiador vertical. Precisa la perforación de sondeos de profundidad variable, normalmente entre 20 y 90 m. Los sondeos se equipan con tubería de PE de diámetros comprendidos entre 25 mm (3/4") y 63 mm (2") en función del caudal circulante y la longitud del circuito. El rendimiento varía entre 12 y 20 m/kW en función de las características litológicas e hidrogeológicas del terreno. Presenta un bajo índice de ocupación del terreno y la temperatura del medio por debajo de los 10 m permanece sensiblemente constante a lo largo del año. Como inconveniente principal hay

que citar los altos costes de las perforaciones.

c. Circuito cerrado con intercambiador sumergido. Requiere masas de agua de cierta entidad: lagos, embalses, mar... Se estima necesaria una superficie de masa de agua superior a 2.000 m² con un rendimiento medio de unos 80 m²/kW. Las bobinas de polietileno se lastran y mantienen entre dos aguas a unos 0,50 m por encima del fondo, con el fin de favorecer el flujo convectivo, y a una profundidad mínima de 1,5 m. Se trata de una alternativa interesante siempre que se disponga de una masa de agua adecuada, se desaconsejan los ríos, lo que no es fácil especialmente en nuestro entorno.

d. Circuito abierto. Mediante captación y posterior restitución de agua subterránea o, menos comúnmente, superficial. Se trata de un sistema muy difundido utilizado, en nuestro entorno, especialmente en zonas con acuíferos aluviales con buenas productividades y piezometrías someras como es el caso de la vega del Ebro o los acuíferos costeros catalanes. Se trata de instalaciones sencillas y con elevados rendimientos aunque presentan el inconveniente de estar sujetas para su explotación al régimen de concesiones de captación y autorizaciones de vertido.

3.4.- Principales ventajas e inconvenientes

Las principales **ventajas** del sistema de intercambio geotérmico son:

- Proporciona unos ahorros constatados de hasta un 70% en calefacción y un 50% en refrigeración respecto a un sistema convencional.
- Es silencioso, se monta en el interior y habitualmente, salvo en algunos sistemas híbridos, prescinde de las servidumbres de la azotea: torres de refrigeración, aeroventiladores,...
- Son máquinas más robustas y sencillas que las alternativas aire/agua. Se reducen los gastos de mantenimiento y el precio de adquisición de la propia máquina respecto a la alternativa.
- Las necesidades de espacio son comparativamente escasas y la vida

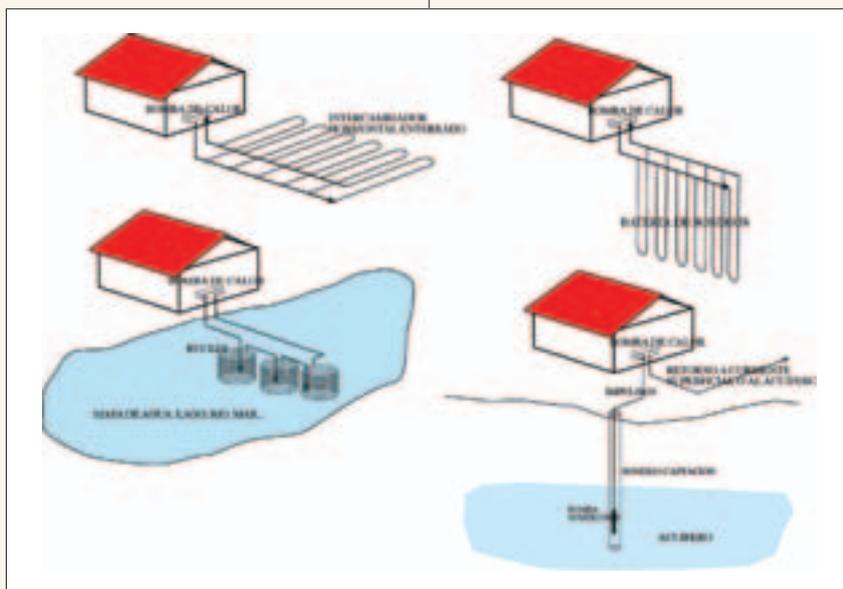


Figura 2- Principales tipos de sistemas de intercambio geotérmico

ROCAS SEDIMENTARIAS	Conductividad térmica		Calor específico	Densidad	Difusividad térmica
	k Total (W/m·°K)	k 80% (W/m·°K)	cp (W·h/kg)	(kg/m ³)	α (k ² /cp) (m ² /d)
Argilita	1,9-2,94				
Dolomia	1,56-6,23	2,77-6,23	0.136	2723-2803	0,102-0,214
Caliza	1,38-6,23	2,42-3,81	0.142	2403-2803	0,093-0,13
Halita	6.4		0.129	2082-2162	
Arenisca	2,08-3,46		0.155	2563-2723	0,065-0,11
Limolita	1,38-2,42				
Lutita saturada (25% cuarzo)	1,04-3,98	1,73-3,12	0.136	2082-2643	0,084-0,11
Lutita saturada (sin cuarzo)	1,04-3,98	1,04-1,56	0.136	2082-2643	0,046-0,056
Lutita seca (25% cuarzo)	1,04-3,98	1,38-2,42	0.136	2082-2643	0,065-0,093
Lutita seca (sin cuarzo)	1,04-3,98	0,86-1,38	0.136	2082-2643	0,042-0,051

k*total: Comprende la totalidad de las observaciones
k*80%: Comprende el 80% de las observaciones

Tabla 1- Características térmicas de algunas rocas sedimentarias a 25° C. Adaptado de Kavanaugh & Rafferty (1997)

del equipo se alarga al no estar sometido a la intemperie.

- Funciona en circuito cerrado no estando sujeto a la normativa para prevención de la legionella lo que reduce de forma significativa los gastos de mantenimiento.

- Se trata de una energía renovable y como tal sujeta a subvención dentro de los distintos programas de apoyo a las mismas y de reducción de las emisiones de CO₂. Además, en algunos países se encuentra subvencionada por las propias compañías eléctricas con el objeto de aumentar su mercado reduciendo las puntas de consumo que se producen en condiciones climatológicas extremas.

El principal inconveniente de los sistemas de intercambio con el terreno son los altos costes de las perforaciones por lo que es básica una adecuada caracterización térmica del medio. La variabilidad natural del medio, incluso para una misma litología, es muy importante tal y como se ob-

serva en la Tabla 1. Se presentan los principales parámetros correspondientes a rocas sedimentarias, las más frecuentes en la CAE. En consecuencia, en proyectos de cierta envergadura se precisa la realización de ensayos *in situ* para el dimensionamiento del intercambiador y la no realización de los mismos puede comprometer la viabilidad del proyecto.

4.- APLICACIONES EN LA CAE

En el Estado destaca el programa *Geocool* financiado por la CE que se inicia en 2001 y está liderado por la Universidad Politécnica de Valencia. En su seno se diseña y construye un sistema de climatización de un edificio del *campus* mediante una bomba de calor con una potencia inferior a 15 kW y un circuito de intercambio compuesto por seis sondeos de 40 m de profundidad.

Debido a las características geomorfológicas de la CAE, la aplicación de esta tecnología se ha visto limita-

da a actuaciones a nivel residencial, normalmente acometidas por particulares en viviendas unifamiliares con amplia disponibilidad de terreno. La solución escogida ha sido en todos los casos conocidos la utilización del terreno como fuente y sistemas de intercambiador horizontal enterrado.

En el **EVE-CADEM** se han registrado distintas consultas desde 2003 pero hasta el otoño de 2004 no se han materializado. En octubre de 2004 se recibió una consulta interesándose sobre las posibilidades de aprovechamiento de la energía geotérmica para la climatización del nuevo edificio del Centro metalúrgico de investigación **Azterlan**. El proyecto original prevé recurrir a dos bombas de calor aire/agua tipo "roof-top" de 200 kW cada una conectadas a un sistema de techo radiante de alta eficiencia. El **EVE** realiza una primera evaluación de las distintas soluciones y propone una actuación en varias fases con el objetivo final de sustituir una de las dos bombas aire/agua por un equipo de intercambio geotérmico. La propuesta es aceptada y se está desarrollando conforme al siguiente programa:

1- **Enero-febrero 2005**. Perforación de un sondeo piloto. Con una profundidad de 120 m, permite conocer la columna litológica y las características hidrogeológicas en la zona que condicionarán, a su vez, los parámetros térmicos del terreno en la zona de actuación. Proporciona información sobre avances, rendimientos y problemas de sostenimiento. El sondeo se equipa con un circuito de intercambio de polietileno y tubería de acero galvanizado para la realización de diagrfías térmicas del terreno en distintas condiciones. Se ensayan materiales y métodos para la entubación y el relleno del anular y se evalúan proveedores y costes.

2- **Enero-marzo 2005**. Diseño y construcción de un equipo de ensayo termométrico. Realización de un ensayo termométrico de una semana de duración. Se circula agua caliente por el circuito de intercambio registrándose el caudal y las temperaturas de entrada y salida del agua al circuito. Como ya se ha comentado, la carac-

terización del terreno es básica y en proyectos de cierta envergadura llega a ser crítica requiriendo la realización de ensayos *in situ*.

3- **Abril 2005.** Análisis de los resultados. Cálculo de los parámetros característicos: conductividad y difusividad térmica. El **CADEM** calcula las cargas térmicas mensuales del edificio previstas. Con esta información se realiza el dimensionamiento y proyecto básico del circuito de intercambio: esquema de flujo, longitudes, profundidades de los sondeos, espaciados, geometría de la malla, conexiones, controles,...

4- **Abril 2005.** Análisis de viabilidad económica. Se precisan los costes, las subvenciones y los ahorros previstos. A la vista de los resultados, de acuerdo con **Azterlan**, se decide acometer la obra.

5- **Mayo 2005.** Evaluación y selección de equipos de bomba de calor. Condiciones técnicas de la campaña de sondeos, tuberías, rellenos granulados, materiales. Adjudicaciones y compras.

6- **Junio-septiembre 2005.** Construcción de 22 sondeos con un total de 2.742 m de perforación. Se han realizado distintos equipamientos de los sondeos con variaciones en el tipo de relleno empleado: lechada de cemento, grava silíceo o caliza,...; el número de circuitos empleado: 1 o 2, el tipo de tubería empleada: monotubo, tritubo,..., con diversos espesores de pared, con y sin espaciadores, etc... Conducción de todos los sondeos en zanja hasta la arqueta de colectores. Se ha elegido esta modalidad con el fin de controlar separadamente la producción de cada uno de los sondeos y obtener información sobre la idoneidad de cada equipamiento.

7- En la actualidad se está procediendo al montaje de los colectores de impulsión y retorno, el conexionado de los sondeos y el montaje de la bomba de calor, una enfriadora, grupos hidráulicos y circuito de inversión del ciclo, así como los equipos de regulación y control. Se espera realizar las pruebas precisas en breve plazo.

La instalación de un segundo equipo de la modalidad aire-agua, en paralelo con el equipo terreno-agua,



Trabajos de perforación de los sondeos de intercambio geotérmico Azterlan

pretende cubrir las puntas que se generen. Se trata por lo tanto de un sistema híbrido que proporcionará excelentes condiciones de comparación entre los costes y rendimientos estacionales de los equipos. Se espera obtener información de gran utilidad sobre la aplicabilidad de esta tecnología en nuestro entorno.

Además, se trata de una experiencia innovadora por las dimensiones de la instalación, la potencia del equipo y la modalidad de bomba de calor elegida, ya que se emplea una enfriadora. Está previsto realizar el control y monitorización de los distintos elementos de la instalación y conferir al proyecto un marcado carácter de demostración.

La financiación de los distintos trabajos corre a cargo del **Ente Vasco de la Energía**, el **Departamento de Industria del Gobierno Vasco** y el **Centro Metalúrgico Azterlan** por medio del programa de ahorros compartidos del **CADEM**.

Bibliografía

- **Bose, J.E.** et al. 2001. *Advances in Ground Source Heat Pump Systems an International Overview*.
- Caneta Research Inc 1995. *Commercial/Institutional Ground-Source Heat Pump Engineering Manual*. ASHRAE
- Caneta Research Inc 1998. *Operating Experiences With Commercial*

Ground-Sources Heat Pump Systems. ASHRAE

- EPA 1993. *Space Conditioning: The Next Frontier*, Office of Air and Radiation. R-93-004

- EVE 1988. *Informe final del sondeo geotérmico Antezana#1G*. Inédito

- EVE 1989. *Prueba de producción del sondeo geotérmico Antezana#1G*. Inédito

- EVE 1991. *Informe final del sondeo geotérmico Gaztelu#1*. Inédito

- FTA 1993. *Ground-Source Heat Pumps Applied to Federal Facilities*-Second Edition.

- GHPC 1999. *Geoexchange Heating and Cooling Systems: Fascinating Facts*.

- **Kavanaugh, S. P. & Rafferty, K.** 1997. *Ground-Source Heat Pumps Design of Geothermal Systems For Commercial and Institutional Buildings*. ASHRAE

- **McCray, K.** (Ed) 1999. *Guidelines for the Construction of Vertical Boreholes for Closed Loop Heat Pump Systems*. National Ground Water Association-Geoexchange

- **Monasterio R., Hernández P., Saiz J.** 1993 *La bomba de calor. Fundamentos, técnicas y aplicaciones*. Serie electrotecnologías MacGraw Hill/ Eve/ Iberdrola

- **Shonder, J.A. & Beck, J.V.** 2000. *A New Method to Determine the Thermal Properties of Soil Formations from In Situ Field Tests*. Oak Ridge National Laboratory. USDOE ■