

# Proyecto Geocool: empleo de bombas de calor acopladas a intercambiadores geotérmicos

DEPARTAMENTO TÉCNICO DE CIATESA

Desde 2001, el Departamento de I+D+i de Ciatesa ha participado en diferentes proyectos de investigación respaldados por el Ministerio de Ciencia y Tecnología, la Junta de Andalucía y la UE dentro del V y VI Programas Marco, relacionados con las bombas de calor geotérmicas.

De todos los proyectos realizados, ha sido sin duda Geocool<sup>[1, 2, 3]</sup> el más emblemático. El proyecto se desarrolló de 2003 a 2005, aunque las campañas de mediciones han continuado hasta la fecha y ha tenido su continuación en otro proyecto europeo, Sherhpa<sup>[4]</sup>, recientemente concluido. Geocool ha supuesto un hito en el desarrollo y difusión de las bombas de calor geotérmicas por demostrar, por primera vez en nuestro Continente, la viabilidad de estos sistemas en aplicaciones de refrigeración de edificios.

## Proyecto Geocool

En el proyecto Geocool (Geothermal Heat Pump for Cooling and Heating Along European Coastal Areas), financiando en parte por la UE, contrato n° NN5-2001-00847, participaron, además de Ciatesa, la Universidad Politécnica de Valencia (UPV), la Aristotle University of Thessaloniki (AUTH), el Ente per le Nuove Tecnologie, l'Energia e l'Ambiente (ENEA), la empresa Groenholland (Grohol) y la Asociación para la Investigación y Diagnóstico de la Energía (AEDIE). Entre sus principales objetivos y tareas estaban:

- Realizar estudios climáticos y de suelos en el área mediterránea, así como del potencial del mercado.
- Caracterizar intercambiadores horizontales y verticales (boreholes).
- Realizar una instalación de demostración en un edificio.
- Medir los rendimientos medios estacionales.
- Comparar con un sistema convencional.
- Emplear propano (R-290) como refrigerante para incrementar el rendimiento en un 10%.
- Conseguir una reducción en el empleo de energía no renovable del 50% al 60%.

En el seno del proyecto se discutió la conveniencia del empleo de intercambiadores geotérmicos verticales (boreholes) frente a horizontales. El equipo ya disponía de experiencia gracias a un proyecto anterior con un intercambiador horizontal<sup>[5,6]</sup>. Los intercambiadores verticales presentaban la ventaja de: menor superficie requerida; menos riesgos de afectación y daños por obras, otras instalaciones, etc.; menor sensibilidad frente a las condiciones cambiantes climatológicas, y gran experiencia de la empresa Groenholland en la realización de

boreholes.

Finalmente, en los terrenos de la UPV se construyeron seis pozos verticales, cada uno con dos tuberías de ida y vuelta, con las diferentes configuraciones que muestra la tabla 1.

## Estudio teórico y simulación

La construcción de la instalación requería una fase previa de dimensionado y modelización. En esta fase el trabajo adoptó un carácter altamente científico-técnico, al emplearse programas de cálculo del comportamiento del terreno por diferencias finitas y elementos finitos, e incluso modelando el transporte de agua en medio poroso alrededor del intercambiador. Los cálculos pretendían predecir las repuestas del terreno a los picos de energía y a largos períodos de carga. En particular, la influencia del tipo de relleno (grouting) es relevante. En Valencia, donde la carga predominante es la de refrigeración, el relleno puede afectar en este modo de funcionamiento, mientras que en calefacción, la temperatura del terreno es lo suficientemente alta para no mostrar el análisis de sensibilidad una especial relevancia al relleno.

El principal objetivo del proyecto es demostrar la mayor eficiencia de este sistema frente a otros convencionales. La eficiencia se debe medir como cociente entre la energía de climatización aportada y la energía eléctrica consumida. Se trata de determinar el Cooling Seasonal Performance Factor (CSPF) y el Heating Seasonal Performance Factor (HSPF). Su determinación exige simular la demanda del edificio, las prestaciones del equipo de climatización y la climatología<sup>[7]</sup>. El sistema convencional de climatización elegido fue

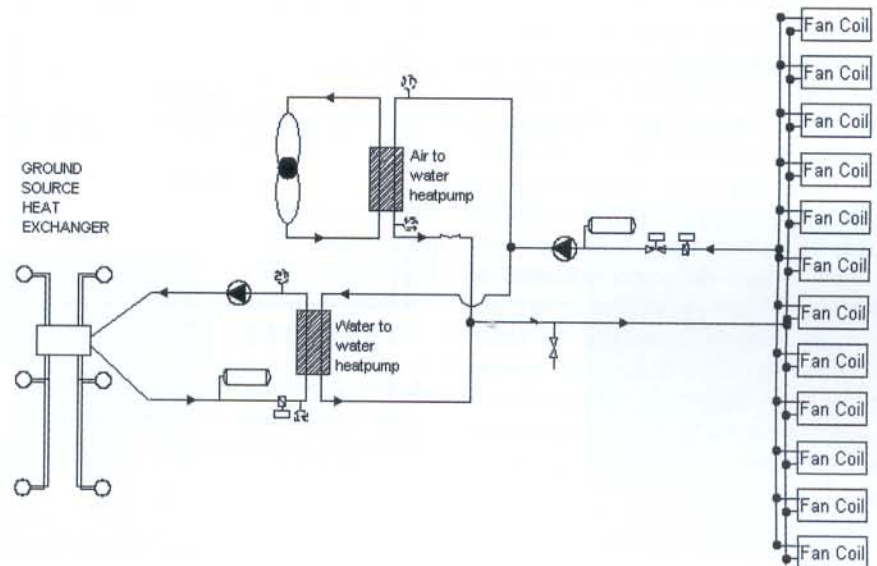
**Tabla 1. CONFIGURACIONES DE POZOS (BOREHOLES)**

	Tipo de relleno	Montaje de tubos
Borehole 1	Bentonita y arena	Empleo de separadores
Borehole 2	Arena	Empleo de separadores
Borehole 3	Sedimento original	Tubos libres
Borehole 4	Bentonita y arena	Tubos libres
Borehole 5	Arena	Tubos libres
Borehole 6	Bentonita y arena	Tubos unidos

Tabla 1.



Excavación de los pozos.



Esquema de principio de la instalación experimental, bomba de calor agua-agua y grupos hidráulicos, bomba de calor aire-agua sobre la cubierta del edificio.



una bomba de calor aire-agua reversible de similar potencia, modelo IWD de Ciatesa. Para comparar los dos sistemas se supone que la instalación interior (red de fancoils) es la misma y no se incluye, por tanto, en la simulación ni se computan los consumos de las bombas del circuito interior. En un software de análisis matemático, se programó una rutina que tomaba datos de los diferentes programas de cálculo y modelaba tanto el sistema Geocool como el sistema convencional. El programa era parametrizable, de forma que permitía estudiar los diferentes tipos de rellenos descritos anteriormente. Las simulaciones realizadas abarcan un período de 25 años.

Entre las conclusiones más interesantes pueden citarse que, en el caso de Valencia, la preponderancia de la carga de verano hará que al cabo de 25 años la temperatura media de retorno del agua del intercambiador enterrado aumente en 2,6° C, previéndose una suave degradación del rendimiento estacional de verano y una

mejora para el de invierno, debido al calentamiento medio progresivo que irá experimentando el terreno. Las mismas simulaciones realizadas para el sistema convencional predicen una mejora del 35% para el rendimiento de invierno y un 55% para el rendimiento de verano, en función de los distintos materiales de rellenos escogidos para los pozos.

#### Experimento Geocool

La dificultad de un experimento de este tipo es conseguir garantizar que los dos sistemas funcionan bajo las mismas condiciones de carga térmica. Es evidente que no se disponía de dos edificios iguales, pues aunque constructivamente lo fuesen, no lo serían en su uso. Tampoco ofrecía garantías de equidad medir una temporada completa con un sistema y otra con el otro, pues los años climáticos serían distintos. Finalmente, se optó por alternar el uso. Como el sistema geotérmico tiene inercia, el terreno se ve afectado por el

propio uso de la instalación. Eso implicaba que para tener resultados realistas y representativos de lo que es una bomba geotérmica, se debía de operar la mayor parte del tiempo con la bomba agua-agua. Además, al ser un edificio de oficinas sin funcionamiento los fines de semana, se pensó que era mejor conectar la bomba aire-agua los lunes tras la parada prolongada, pues se alteraría menos el proceso cíclico de carga y descarga del terreno durante la semana.

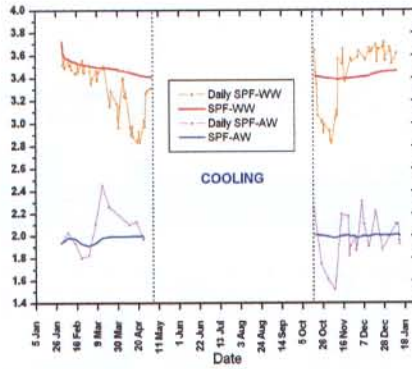
En todo momento se registraban las condiciones climáticas mediante una estación meteorológica situada en la cubierta del edificio. También se registraban la temperatura y humedad relativa de cada uno de los despachos climatizados. Los intercambiadores enterrados se monitorizan colocando sondas de temperatura cada 7,5 m de profundidad. Esto ha permitido disponer de una interesante base de datos de la evolución de las temperaturas del terreno alrededor de los boreholes en régimen

transitorio, y poder comparar los procesos de carga y descarga de energía en función del tipo de relleno empleado en cada uno. Las potencias térmicas se midieron con caudalímetros de masa tipo coriolis y sondas de temperatura. Los puntos de medida no corresponden a la entrada y salida de las bombas de calor, sino a la entrada y salida del grupo hidráulico de distribución al circuito interior de fancoils. Esto es importante porque se están midiendo las prestaciones de las bombas menos las pérdidas de la instalación.

A la hora de medir los consumos y comparar ambos sistemas, se excluyen los consumos de los fancoils y de la bomba de circulación interior. El edificio objeto era una planta de despachos de la Universidad, climatizados mediante fancoils, con un control por termostato sencillo, que no detenía el ventilador y que actuaba sobre la válvula de tres vías. Los grupos hidráulicos que sirven para alternar entre un sistema y otro se ubicaron en la planta baja del edificio, junto a la bomba agua-agua. La unidad convencional aire-agua se montó en la cubierta.

**Mediciones en calefacción**

La monitorización instantánea del equipo convencional muestra un arranque y puesta a régimen más prolongado y cómo el COP va disminuyendo conforme se va calentando el agua, hasta alcanzar un valor cercano a 2. Se detecta que la bomba de calor seleccionada está sobredimensionada en calefacción y que la instalación adolece algo de inercia. Por el contrario, la monitorización de la bomba geotérmica muestra un mayor COP, cercano a 3,6. Sus ciclos de puesta a régimen son más cortos. La media de potencia calorífica es mayor en el sistema geotérmico que en el sistema convencional. La bomba de calor geotérmica trabaja más tiempo con mejores condiciones de evaporación (temperatura más alta del agua en los pozos). En cuanto al consumo eléctrico, en el sistema geotérmico hay una base de 0,4 kW correspondiente a la circulación ininterrumpida de agua a los pozos (circuito exterior), cuya contraprestación en el sistema convencional sería el ventilador exterior de la bomba aire-agua, pero que en ese caso es cero, al pararse el ventilador cuando se para el compresor. En el circuito interior, la bomba de circulación y los ventiladores de los fancoils funcionaban continuamente incurriendo en un consumo base de 1 kW.

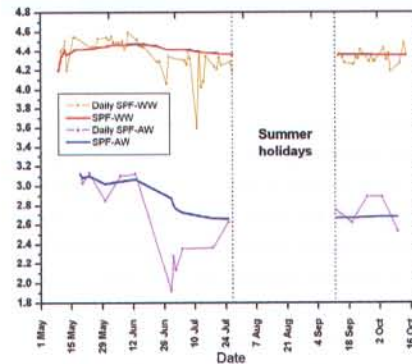


**Gráfico 2: representación conjunta para toda la temporada de calefacción del COP diario y del HSPF para ambos sistemas.**

Como conclusión principal de la campaña de ensayos de calefacción se puede decir que el HSPF del sistema geotérmico es de 3,5 frente a algo más de 2 del sistema convencional, lo que suponen una mejora del 75% (ver gráfico 3).

**Mediciones en refrigeración**

La monitorización del funcionamiento en refrigeración mostraba una gran estabilidad en las prestaciones aunque, al igual que en calefacción, se detectaban demasiados ciclos de funcionamiento, indicando un sobredimensionamiento de la potencia nominal.



**Gráfico 3: representación conjunta para toda la temporada de refrigeración del COP diario y del CSPF para ambos sistemas.**

Como conclusión principal se puede decir que el SPF de refrigeración del sistema geotérmico es de 4,4 frente a 2,7 del sistema convencional, lo que supone una mejora del 60%.

**Conclusiones**

Durante 5 años, Ciatesa ha trabajado en la combinación de sistemas de bombas de calor y energía geotérmica de baja tem-

peratura. Un sistema de bomba de calor geotérmica en el área mediterránea puede ofrecer un rendimiento mejor que un sistema de bomba de calor aire-agua, del orden del 75% en calefacción y del 60% en refrigeración. Además, la bomba de calor geotérmica es más estable en su funcionamiento y el sistema convencional aire-agua es más sensible a las pérdidas de energía al medio ambiente si no se cuidan especialmente los aislamientos de los trazados de tuberías por el exterior. Seleccionar las máquinas para potencia pico penaliza mucho el rendimiento en las temporadas de baja carga.

El consumo de la instalación interior de fancoils y bombas de circulación tiene un peso importante. Hay un potencial de mejora en todo lo relativo a los sistemas hidráulicos, por ejemplo, empleando Hidrofive® [8]. La UE, y cada vez más las agencias autonómicas y locales de la energía, consideran la calefacción por bomba de calor geotérmica una energía renovable.

**Referencias**

- [1] Romero, G.; Urchueguia, J.F.; Cambien, W.; Magraner, T. Rendimiento estacional de un intercambiador de calor enterrado vertical y comparación con un sistema equivalente de bomba de calor aire-agua. XVI Congreso Nacional de Ingeniería Mecánica de León, 2004.
- [2] Zamora, M.; Urchueguia, J. (2004). Empleo de bombas de calor acopladas a intercambiadores geotérmicos en áreas costeras mediterráneas. Proyecto Geocool. Papeles del Congreso Mediterráneo de Climatización Climamed 2004.
- [3] Universidad Politécnica de Valencia (UPV), Ciatesa et al. (2006). Geocool, Ground Source Heat Pump System for Cooling and Heating in the South European Region. Publishable Final Report. V FP. Contract nº NNE5/2001/847. <http://www.geocool.net>
- [4] Sherhpa, Sustainable Heat and Energy Research for Heat Pump Applications. Project nº COLLECT-2004-500229. <http://www.sherhpa.com>
- [5] Orquin, I.; Urchueguia, J., et al. (2004). Estudio experimental de un intercambiador enterrado horizontal. Actas del XVI Congreso Nacional de Ingeniería Mecánica, León (España).
- [6] García, A. Mª. (2004). Instalaciones de climatización con captadores geotérmicos y bombas de calor agua-agua. Suplemento Energías Renovables V. El Instalador.
- [7] Ansi/Ashrae 116-1995. Methods of Testing for Rating Seasonal Efficiency of Unitary Air Conditioners and Heat Pumps.
- [8] Hidrofive. <http://www.hidrofive.com>