

# Proyecto Geocool

## Empleo de bombas de calor acopladas a intercambiadores geotérmicos

**Miguel Zamora**

Responsable de I+D+i 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 español, la Junta de Andalucía y por la Unión Europea dentro del V y VI Programa Marco, relacionados con las bombas de calor geotérmicas. Los resultados alcanzados han sido difundidos a lo largo de estos años, pudiendo considerarse Ciatesa como una empresa pionera en la implantación de estos sistemas de climatización en España. De todos los proyectos realizados, ha sido sin duda Geocool [1, 2, 3], el más emblemático de todos. El proyecto se desarrolló entre los años 2003 a 2005, aunque las campañas de mediciones han continuado hasta la fecha y ha tenido su continuación en otro proyecto Europeo, Sherpha [4], 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.*

**EL PROYECTO GEOCOOL. 'GEOHERMAL HEAT PUMP FOR COOLING AND HEATING ALONG EUROPEAN COASTAL AREAS'**

En el proyecto Geocool, financiando en parte por la UE contrato nº 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 BV (Grohol) y la Asociación para la Investigación y Diagnóstico de la Energía (AEDIE). Entre los 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 de un anterior proyecto con un intercambiador horizontal [5,6].

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.
- ◆ Gran experiencia de uno de los socios del proyecto (Groenholland) en la realización de boreholes.

Finalmente, en los terrenos de la Universidad Politécnica de Valencia se construyeron seis pozos verticales cada uno conteniendo dos tuberías de ida y vuelta, con las diferentes configuraciones que muestra la Tabla 1.

**ESTUDIO TEÓRICO Y SIMULACIÓN DEL RENDIMIENTO MEDIO ESTACIONAL Y COMPARACIÓN CON EL DE UN EQUIPO CONVENCIONAL AIRE-AGUA.**

La construcción de la instalación requería una fase previa de dimensionado y modelización. En esta fase el trabajo adoptó un carácter altamen-

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

Tabla 1. Configuraciones de pozos (boreholes)

te científico-técnico al emplearse programas de cálculo del comportamiento del terreno por diferencias finitas y elementos finitos, incluso modelando el transporte de agua en medio poroso alrededor del intercambiador.

Los cálculos pretendían predecir las respuestas 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 como para que el análisis de sensibilidad no mostrara 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 [7]. El sistema convencional de climatización elegido fue 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 elegido para la comparación. 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 de los estudios teóricos y simulaciones 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  $2,6^{\circ}\text{C}$



Figura 1. Fotografía de la excavación de los pozos.

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.

### EL EXPERIMENTO GEOCOOL

Como se ha indicado, el objetivo principal del proyecto es demostrar la mayor eficiencia del sistema geotérmico frente al convencional.

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

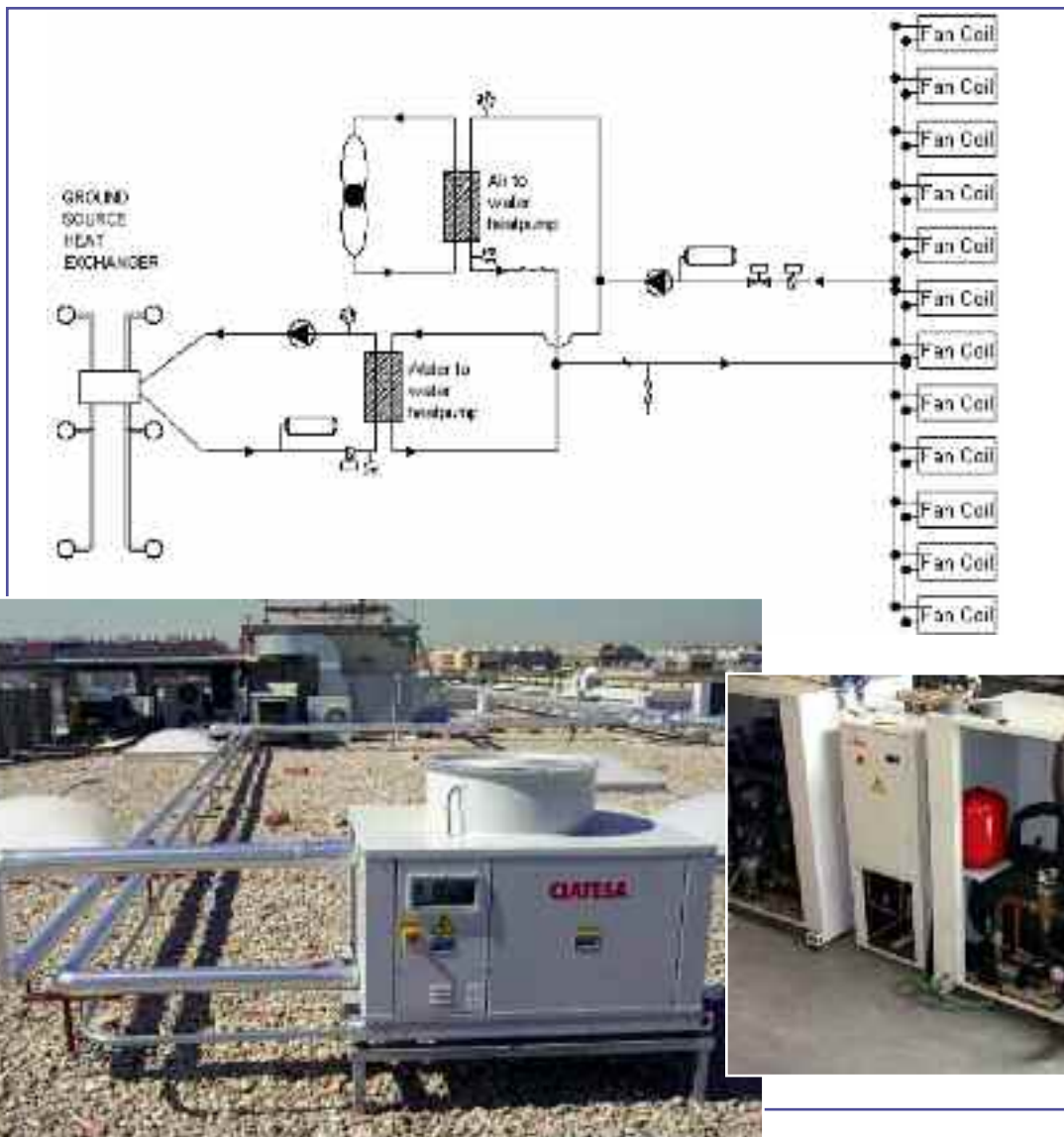


Figura 2. Esquema de principio de la instalación experimental, bomba de calor agua-agua y grupos hidráulicos, bomba de calor aire-agua sobre la cubierta del edificio.

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 temporada con 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 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 conec-

tar 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 metros de profundidad. Esto ha permitido disponer de una interesante base de datos de la evo-

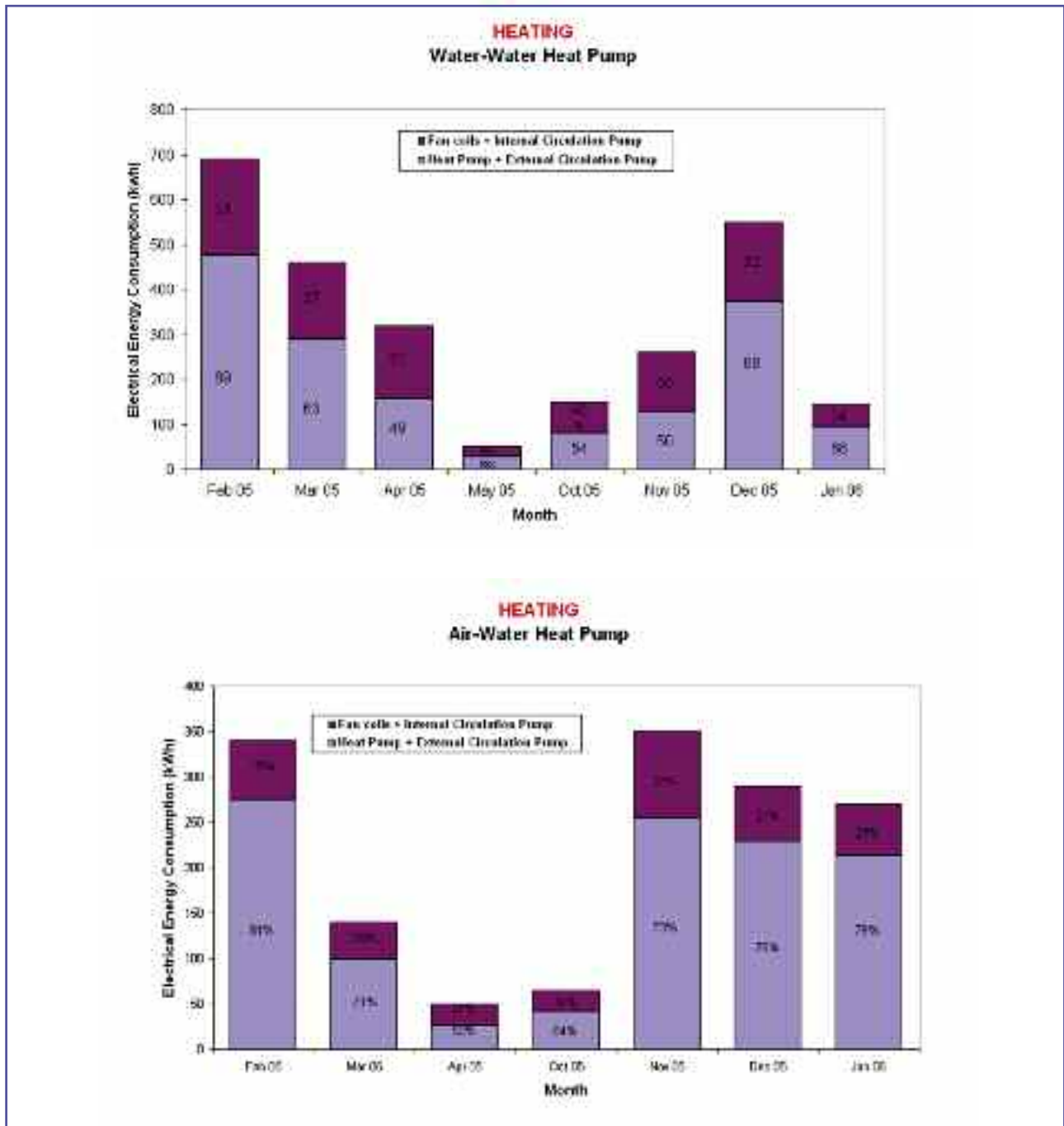


Figura 3. Distribución entre el consumo de la bomba de calor agua-agua más la bomba de circulación de los pozos y el consumo del circuito interior (izquierda) y entre el consumo de la bomba de calor aire-agua y el consumo del circuito interior (derecha).

lución 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 corres-

ponden 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 de alguna forma se están midiendo las prestaciones de las bombas menos las pérdidas de la instalación, que en el caso del sistema convencional con la planta aire-agua ubicada en la terraza tienen su importancia, como se verá más adelante.

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.

## CAMPAÑA DE 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 del agua en los pozos más alta). 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.

Geocool pretendía ser un proyecto de demostración. Las instalaciones se realizaron de la forma convencional y económica en que se montan este tipo de equipos pequeña-mediana potencia, empleando un sencillo sistema de control.

Los gráficos de la figura 3 deben hacer reflexionar sobre el importante peso que tiene la instalación interior en la energía final consumida.

Muestran de qué manera, el hecho de ahorrar un poco de dinero inicial en el sistema de control empleando termostatos que no paran los ventiladores, o usar un control de las bombas de calor basado simplemente en la temperatura de retorno de agua sin detener la bomba de circulación, penalizan el consumo eléctrico. Un sistema de control de la instalación tipo Hidrofive® [8], introduciría un importante ahorro de explotación rápidamente amortizable.

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% (figura 4).

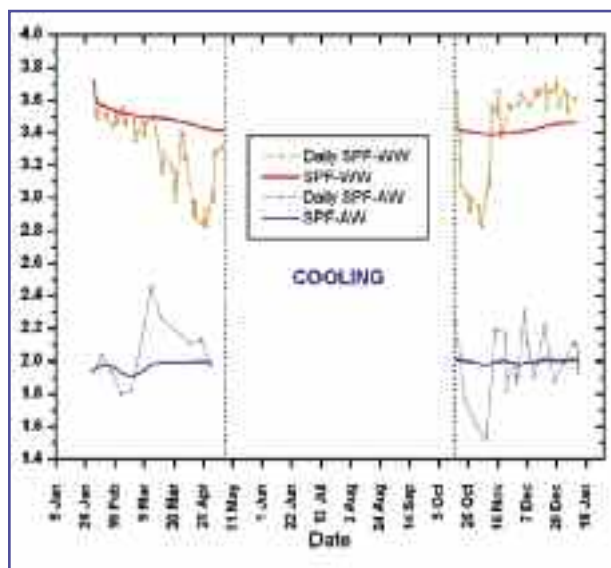


Figura 4. Representación conjunta para toda la temporada de calefacción del COP diario y del HSPF (Rendimiento Medio Estacional de Calefacción) para ambos sistemas.

## CAMPAÑA DE 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.

Las gráficas de la figura 5 vuelven a mostrar el importante peso del consumo de los ventiladores de los fancoils y de la bomba de circulación.

Como conclusión principal de la campaña de ensayos de refrigeración se puede decir que el

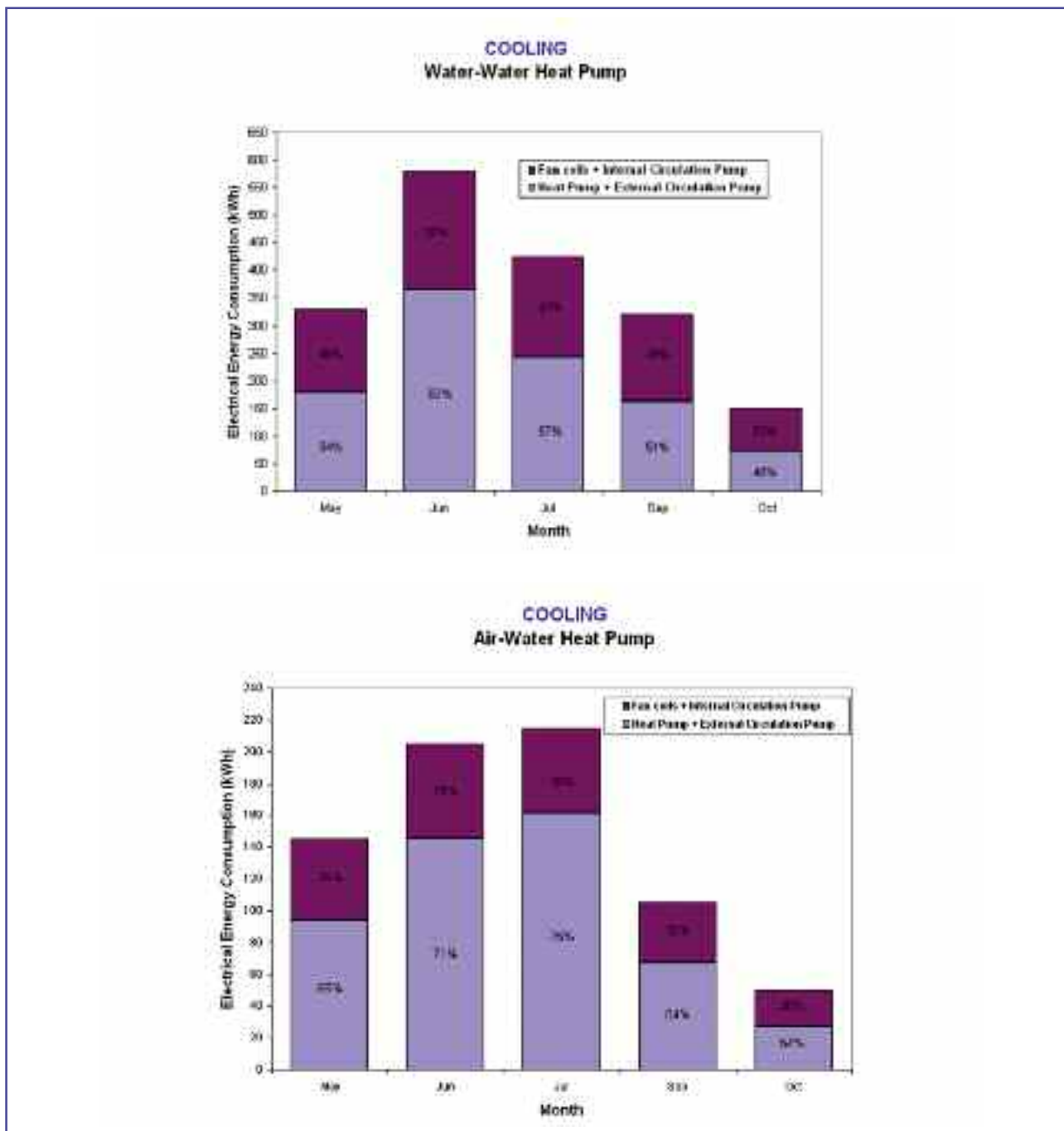


Figura 5. Distribución entre el consumo de la bomba de calor agua-agua más la bomba de circulación de los pozos y el consumo del circuito interior en refrigeración (izquierda) y entre el consumo de la bomba de calor aire-agua y el consumo del circuito interior (derecha).

SPF de refrigeración del sistema geotérmico es de 4,4 frente a 2,7 del sistema convencional, lo que supone una mejora del 60%.

### COMPARACIÓN DE LAS SIMULACIONES FRENTE A LOS RESULTADOS REALES

Tiene este punto interés por ser Geocool uno de los primeros proyectos realizados en España

en los que se ha medido la demanda energética y el rendimiento medio estacional. Los resultados sirven como una prueba de la precisión de los métodos de simulación energética empleados. Es evidente que no ha sido éste el objeto científico del experimento, por lo que no se puede deducir directamente que dichos métodos sean imprecisos allí donde no coincidan simulaciones y mediciones.

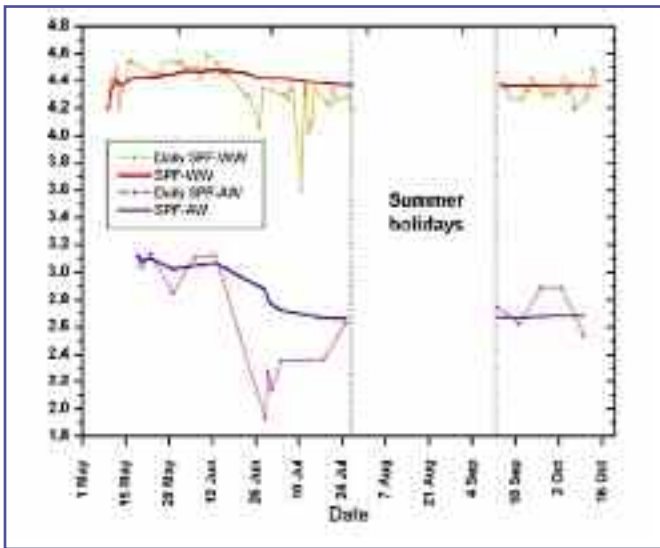


Figura 6. Representación conjunta para toda la temporada de refrigeración del COP diario y del CSPF (Rendimiento Medio Estacional de Refrigeración) para ambos sistemas.

En la gráfica de la figura 7 se observa que en la temporada de invierno, de enero a abril y de octubre a diciembre, los cálculos teóricos efectuados reproducen adecuadamente la tendencia de la demanda, pero infraestiman su valor. En meses como febrero el error se acerca al 100%.

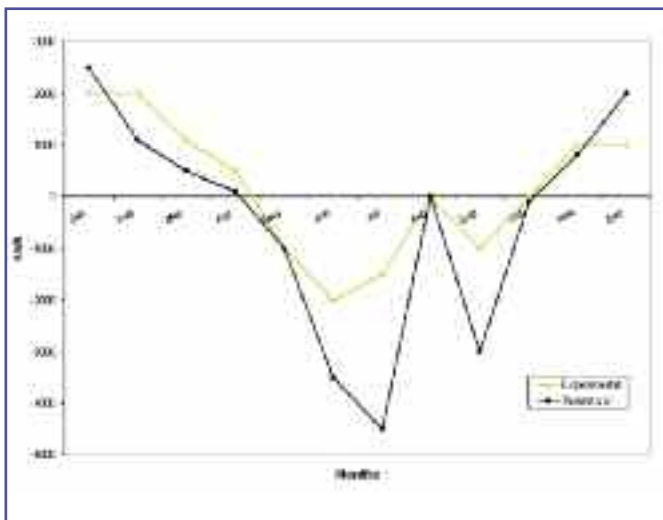


Figura 7. Comparación entre la demanda calculada en la primera fase del proyecto con la demanda medida

Por el contrario, en verano resultó que la demanda calculada era mucho mayor que la que realmente existió. En el único mes donde hay coincidencia exacta fue en agosto (demanda cero). Finalmente, pero por casualidad, la infravaloración de invierno compensó la sobrevaloración de



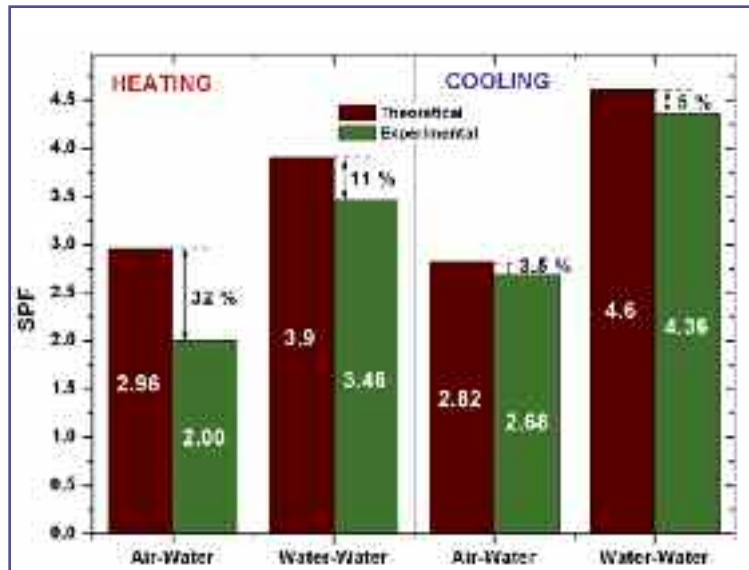


Figura 8. Comparación entre los SPF calculados y medidos

verano. Como se ha dicho, no se quiere juzgar la precisión de las herramientas de simulación, sólo hay que advertir que, incluso habiendo sido utilizadas por técnicos muy cualificados y con todo el detalle y tiempo necesario, los resultados reales son muy difíciles de predecir.

En cuanto a la comparación entre el rendimiento medio estacional calculado con la simulación completa de edificio, terreno y bomba de calor y los resultados reales se presentan algunas diferencias interesantes (figura 8).

Los desescarches en Valencia no tienen importancia, por lo que la primera explicación que se dio a la baja respuesta de la bomba convencional aire-agua en calefacción (32% de discrepancia) fue que el haberla hecho funcionar siempre los lunes la penalizaba, pues tenía que vencer la inercia de la parada prolongada del fin de semana, inercia que no estaba contemplada en la simulación teórica. Posteriormente se analizaron más días del mes de enero de 2006 y se cuantificó la energía necesaria para poner a régimen el volumen de agua de la instalación, deduciéndose que no tenía el suficiente peso para explicar tales discrepancias. La conclusión final es que son las pérdidas de la instalación en el tramo de tubería que va desde la cubierta del edificio hasta los grupos hidráulicos en los que se mide la energía, que tampoco están consideradas en los modelos teóricos, las que originan las discrepancias en calefacción.

Se recuerda que en Valencia, el salto térmico en invierno entre la temperatura media exterior

y la de producción de agua caliente es del orden de 30K (45°C menos 10°C), mientras que en verano es de 18K (25°C-7°C). Esto explica además, que en el caso de la bomba geotérmica la mayor discrepancia entre lo calculado y lo medido se da también en invierno (11%).

## LA CONSIDERACIÓN DE LA ENERGÍA GEOTÉRMICA COMO ENERGÍA RENOVABLE

La Unión Europea clasifica las bombas de calor geotérmicas como energía renovable, [http://ec.europa.eu/energy/res/sectors/geothermal\\_energy\\_en.htm](http://ec.europa.eu/energy/res/sectors/geothermal_energy_en.htm).

En España, los entes y agencias de energía autonómicos y locales, muestran una actitud proactiva hacia esta forma de calefacción y refrigeración. En algunas Comunidades Autónomas existen programas de incentivos sobre los sobrecostes que suponen estas instalaciones. A nivel nacional, persiste el debate entre si considerarlas energía renovable o clasificarlas como una forma eficiente de uso final de la energía.

## CONCLUSIONES

- ♦ Durante 5 años Ciatesa ha trabajado en la combinación de sistemas de bombas de calor y energía geotérmica de baja temperatura.
- ♦ 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.
- ♦ La bomba de calor geotérmica es más estable en su funcionamiento.
- ♦ 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®.

- ♦ Los métodos de cálculo y simulación de demanda térmica aunque teóricamente precisos, con los usos habituales en la ingeniería van a adolecer de exactitud, pero son muy válidos para comparar los rendimientos medios estacionales entre diferentes sistemas.
- ♦ La UE y muchas 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 Geocoll. 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.: COLL-CT-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.M. (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. [www.hidrofive.com](http://www.hidrofive.com). ■