

Gestión de un sistema geotérmico cerrado de gran escala. Hospital de Mollet

Autores de la comunicación: Diego Toimil¹, Gonzalo Roberto Mayoral Fernández², Marc Trullas³

1. IFTEC GeoEnergía S.L., C/ Doctor Esquerdo 10, 4º centro, 28028 Madrid; m.hendriks@iftec.es

2. Termoterra S.L.: C/ Miguel Yuste 45, 28037 Madrid; gonzalo-mf@terratest.es

3. Agefred: C/Bonsoms, 15-17, 08028 Barcelona marc.trullas@agefred.es

Resumen: En el Hospital de Mollet se ha instalado uno de los mayores sistemas geotérmicos cerrados a nivel europeo. De los datos que se conocen en la actualidad se sabe que el sistema está siendo eficiente en su funcionamiento y produciendo importantes ahorros. Para mantener esta situación en el futuro se considera necesario la realización de un plan de gestión de los recursos energéticos del Hospital apoyado por una correcta monitorización. Se han simulado diferentes situaciones energéticas en el subsuelo para pronosticar la evolución y sostenibilidad del sistema actualmente implantado.

Palabras clave: Geotermia, refrigeración, calefacción, ahorro, hospital

1. INTRODUCCIÓN

El Hospital de Mollet consta de un sistema geotérmico cerrado en combinación con bombas de calor, que cubre gran parte de la demanda de la refrigeración y de la calefacción. La potencia máxima del sistema es de 1200 kW_t, en modo calefacción, y de 1000 kW_t, en modo refrigeración suministrando la base de la demanda. Los picos se cubren con enfriadores convencionales (aire – agua) y calderas de gas.

El intercambio de energía térmica con el subsuelo se realiza por un intercambiador de calor terrestre (ICT) que consiste en un campo de 144 sondeos geotérmicos con una profundidad de unos 145 m. Por su longitud de más de 20.000 metros lineales de perforaciones, se encuentra entre los sistemas geotérmicos cerrados más grandes de Europa.

Los sistemas geotérmicos usan el terreno como fuente de calor o como receptor/disipador del mismo dependiendo del modo de funcionamiento (calefacción/refrigeración). En proyectos de cierta escala se convierte en un sistema ASET (Almacenamiento Subterráneo de Energía Térmica) funcionando así el terreno como acumulador de frío/calor. Cuando el sistema se utiliza para producir calor el terreno se carga con frío y viceversa. Los sistemas ASET aprovechan de este modo el almacenamiento de frío y calor en el subsuelo para su uso posterior.

Debido al tamaño del sistema geotérmico y para realizar un correcto almacenamiento de energía térmica en el subsuelo, una monitorización del sistema acompañada de un plan de gestión es un punto importante para asegurar un funcionamiento sostenible del sistema geotérmico a lo largo de su vida útil.

Con este artículo se pretende mostrar con un ejemplo real y varios escenarios de uso, la necesidad de aplicar un plan de gestión para optimizar y garantizar la eficiencia y utilización de un sistema geotérmico de gran escala.

2. DESCRIPCIÓN GLOBAL DEL SISTEMA

El sistema de producción de frío y de calor del Nuevo Hospital de Mollet se compone de un sistema combinado o bivalente compuesto por un sistema geotérmico de alta eficiencia y un sistema convencional. El sistema geotérmico utiliza dos bombas de calor conectadas al terreno tanto para la producción de frío como de calor. El sistema convencional utiliza distintos equipos para la producción de frío y de calor. Para la producción de calor el sistema convencional utiliza dos calderas alimentadas por gas natural mientras que para la producción de frío utiliza tres enfriadoras.

Los equipos de producción de frío, convencionales y bombas de calor, se integran en un mismo colector ya que todos los equipos trabajan en el mismo rango de temperaturas, impulsión a 7°C y retorno a 12°C. En la figura 1 se muestra el esquema de funcionamiento.

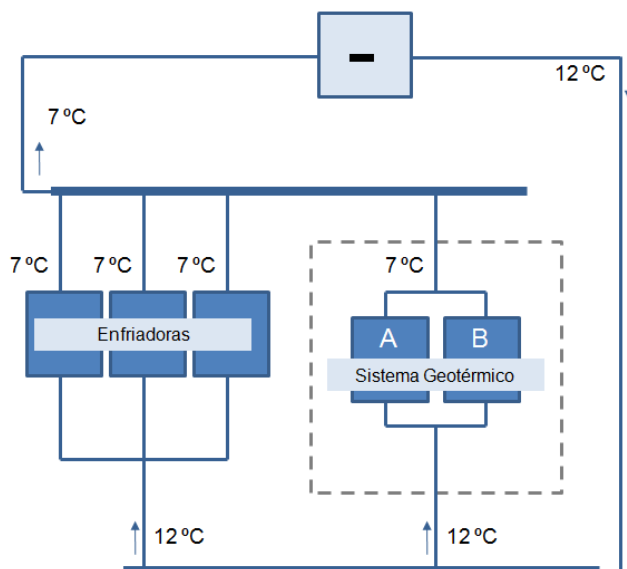


Figura 1. Esquema de integración de los equipos de producción de frío.

En cuanto a la producción de calor, las calderas calientan el agua a una temperatura mayor que las bombas de calor por lo que no están unidas directamente al colector de impulsión de calefacción si no que mediante intercambiadores de calor se igualan las temperaturas de producción de agua caliente que para la calefacción son 50°C de impulsión y 45°C de retorno. El Agua Caliente Sanitaria (ACS) se produce mediante las calderas. En la figura se muestra de manera esquemática la integración de estos sistemas.

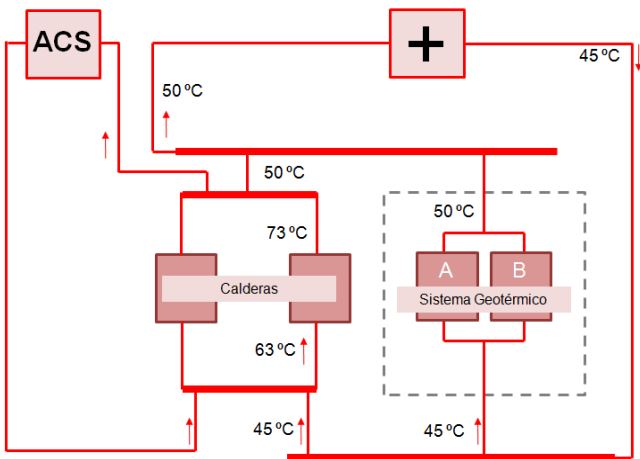


Figura 2. Esquema de integración de los equipos de producción de calor.

Ambos sistemas se integran de la siguiente manera, el sistema de gestión del Hospital emite una señal de demanda tanto de frío como de calor cuando tiene necesidades térmicas en la instalación. El sistema geotérmico es el primer elemento de producción, e intenta aportar la demanda necesaria a cada uno de los colectores donde el hospital ha detectado una demanda. Cuando el sistema geotérmico está trabajando al 100% y no puede soportar toda la demanda, el sistema de gestión del hospital detecta a través de las sondas de temperatura este hecho y solicita ayuda a las enfriadoras y/o a las calderas convencionales. El sistema geotérmico del Hospital de Mollet se ha diseñado buscando el máximo aprovechamiento energético, por lo cual permite diferentes modos de funcionamiento, ofreciendo:

- Calefacción utilizando las bombas de calor.
- Refrigeración directa o direct cooling. La “energía fría” almacenada se extrae del subsuelo y pasa a través de un intercambiador de calor de placas, suministrando así refrigeración al edificio sin utilización de la bomba de calor.
- Refrigeración utilizando las bombas de calor.
- Refrigeración y calefacción simultáneas. En los momentos en los que existe simultáneamente demanda de frío y de calor se puede usar el calor del condensador para cubrir la demanda de calor en el edificio.

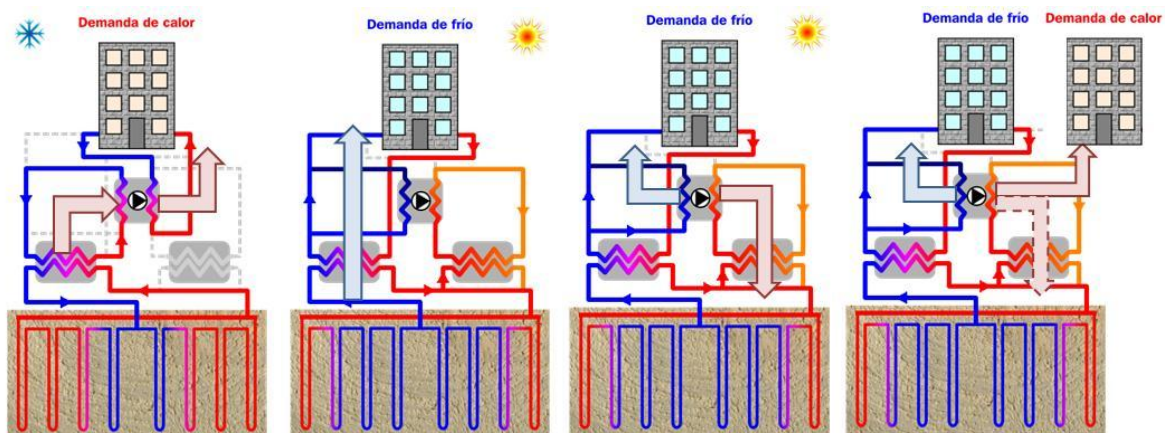


Figura 3. Modos de funcionamiento de izda. a dcha: calefacción con bomba de calor, refrigeración directa, refrigeración activa, refrigeración activa y calefacción simultáneas.



Gracias a estos modos de funcionamiento, el subsuelo es utilizado únicamente para la demanda neta del hospital, mejorando notablemente la eficiencia y COP global del sistema.

3. DATOS ENERGÉTICOS

En las siguientes tablas se muestran los equipos y potencias instaladas en el Hospital de Mollet, tanto para la producción de calor como de frío.

Tabla I. Equipos de producción de calor.

PRODUCCIÓN DE CALOR			
EQUIPO	SISTEMA	UNIDADES	POTENCIA [kW _t]
Bomba de calor	Geotérmico	2	600
Caldera gas natural	Convencional	2	690
POTENCIA TOTAL			2.580

Tabla II. Equipos de producción de frío.

PRODUCCIÓN DE FRÍO			
EQUIPO	SISTEMA	UNIDADES	POTENCIA [kW _t]
Bomba de calor	Geotérmico	2	500
Enfriadora	Convencional	2	650
Enfriadora	Convencional	1	147
POTENCIA TOTAL			2.447

Se tienen datos del consumo en climatización del Nuevo Hospital de Mollet y datos de producción de los equipos convencionales durante el periodo de Julio 2010 a Junio 2011. El sistema geotérmico no está actualmente monitorizado pero se han obtenido datos inferidos conociendo la demanda total del hospital y la parte aportada por las enfriadoras y calderas. En la tabla 3 se muestran los datos de consumos para el periodo mencionado junto con las potencias instaladas y las horas equivalentes a la carga pico.

Tabla III. Consumos y potencias instaladas de la climatización del Hospital de Mollet.

Refrigeración	Potencia instalada		Demanda inferida		Horas equiv. a carga pico
	kW	%	MWh/año	%	
Sist. convencional (enfriadoras)	1.447	59%	3.185	44%	2.201
Sist. Geotérmico (Bombas calor)	1.000	41%	3.991	56%	3.991
TOTAL Hospital	2.447		7.175		2.932
Calefacción y ACS	Potencia instalada		Demanda inferida		Horas equiv. a carga pico
	kW	%	MWh/año	%	
Sist. convencional (calderas)	1.380	53%	2.051	33%	1.486
Sist. Geotérmico (Bombas calor)	1.200	47%	4.187	67%	3.489
TOTAL Hospital	2.580		6.238		2.418

El sistema geotérmico cubre un porcentaje menor del 50% en potencia instalada, para aportar un porcentaje mayor de los consumos anuales del sistema de climatización. Este hecho queda claramente expuesto en el caso de la calefacción ya que teniendo el 47% de la potencia se cubre el 67% de los consumos realizados. El sistema geotérmico no cubre el ACS del Hospital pero se podría utilizar para precalentar el ACS y de esta forma las calderas de gas aportarían un porcentaje



menor de los consumos. En la figura 3 se muestra a modo ilustrativo un esquema de un sistema bivalente con los datos del Hospital, la curva de demandas no es real ya que no se tienen datos de los consumos horarios del Hospital.

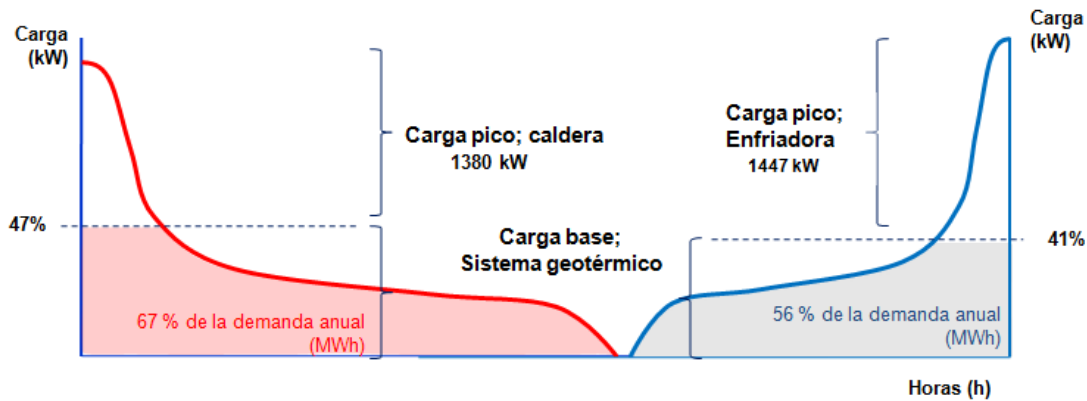


Figura 3. Gráfico Carga (kW) versus Horas (h) de un sistema bivalente con porcentajes del *Sistema del Hospital de Mollet*.

En las previsiones iniciales del Hospital de Mollet se ha previsto amortizar la inversión realizada en la construcción del sistema geotérmico en un plazo de once años. Se ha calculado los costes que supondría cubrir las demandas reales del Hospital (ver tabla III) únicamente con sistemas convencionales, los resultados son que el gasto anual en climatización aumentaría en 268.000€. Con este dato el plazo de retorno de la inversión se reduce de once años a siete años y medio.

No existen equipos de medida del calor extraído y disipado al terreno. Por este motivo se desconoce el balance energético en el subsuelo. Es importante conocer dicho estado ya que se puede saturar térmicamente el terreno, hecho que afectaría en el futuro funcionamiento del sistema geotérmico. Con los datos anteriormente expuesto y conociendo la eficiencia de la bomba de calor se puede estimar el calor extraído y disipado en el terreno, como se expone en la siguiente tabla. Dentro de los modos de funcionamiento cabe la posibilidad de reaprovechar el calor/frío producido por la bomba de calor para cubrir una demanda simultánea de calor y frío del Hospital. Esta modalidad permite en modo de refrigeración usar tanto el frío que parte del calor producido por la bomba de calor en una manera útil (viceversa en modo calefacción) que resulta en un aumento considerable del COP de la maquina y una disminución del intercambio térmico con el terreno. El porcentaje de este calor/frío reaprovechado se desconoce; en la siguiente tabla se muestra el balance energético en el terreno suponiendo que no existe reaprovechamiento de la energía y con un reaprovechamiento del 15%. Como se puede observar en la tabla, se disipa más calor del que se extrae del subsuelo.

Tabla IV. Estimación del balance energético en el subsuelo, *Hospital de Mollet*.

	Calor disipado en el terreno kWh _t	Calor extraído del terreno kWh _t	Balance energético
Sin reaprovechamiento de energía	4.655.898	3.140.042	119,44%
Con un 15% de reaprovechamiento de energía	3.957.513	2.669.036	

Nota: Cálculos realizados con rendimientos de la bomba de calor, refrigeración EER=6; calefacción COP=4



4. SIMULACIONES DE COMPORTAMIENTO DEL TERRENO PARA DISTINTOS USOS DEL SISTEMA GEOTÉRMICO

Para comprobar cómo este desequilibrio energético en el terreno puede afectar al futuro funcionamiento del sistema geotérmico se han realizado simulaciones sobre la evolución de las temperaturas del fluido (en este caso agua) que circula por el interior del ICT (intercambiador de calor terrestre) con el programa *Earth Energy Designer* (EED)

La tabla V muestra los valores utilizados en los cálculos para distintos casos. Los datos de la tabla corresponden a la energía (MWh_t) y las cargas (kW) que se intercambian con el terreno. El primer caso que se estudia es la situación actual mostrada en la tabla III con un reaprovechamiento de la energía del 15%. El segundo caso es una evolución del caso 1 en el que se muestra un equilibrio energético en el terreno igualando la cantidad de energía disipada en el subsuelo a la energía extraída. El tercer caso supone que la cantidad de energía disipada/extraída con el terreno es un 70% de la que supuesta en el caso 2.

Tabla V. Datos energéticos de entrada principales, EED.

Parámetros	Unidades	Caso 1: Situación actual	Caso 2	Caso 3
Suministro anual de calor (= extracción de calor del terreno)	[MWh _t]	2.669	2.669	1.868
Suministro anual de frío (= disipación de calor al terreno)	[MWh _t]	3.957	2.669	1.868
Carga pico de calor	[kW _t]	900	900	900
Carga pico de frío	[kW _t]	1166	1166	1166
Duración máxima carga pico	[h]	48	48	48

En la tabla 5 se muestran los resultados de los cálculos realizados por EED.

Tabla VI. Resultados de la simulación.

Parámetros	Unidades	Caso 1	Caso 2	Caso 3
Temp. Máx. al final de agosto (año 25 de funcionamiento)	[°C]	66,7	37,84	36,17
Temp. Mín. al final de febrero (año 25 de funcionamiento)	[°C]	24,93	0,4	1,68

La figura 4 y 5 muestran la temperatura promedio del fluido en el circuito geotérmico a lo largo de un periodo de funcionamiento de 25 años para el caso 1 y 2 respectivamente. Las temperaturas “Peak max” y “Peak min” corresponden a las más altas y más bajas después de 48 horas de carga máxima. Las curvas “Base max” y “Base min” corresponden a las temperaturas cuando el sistema está aportando frío/calor funcionando en carga base.

Para el caso 1, se observa que el desequilibrio energético en el terreno provocará un aumento progresivo de las temperaturas del fluido que circula a través del campo de sondeos saturando térmicamente el terreno y haciendo que el sistema no sea sostenible. Para el caso 2 se observa que las temperaturas permanecen constantes a lo largo de 25 años de funcionamiento siendo sus temperaturas máximas adecuadas para el uso de la bomba de calor y las temperaturas mínimas se acercan al punto de congelación, hecho a evitar. De esta forma se muestra la importancia de mantener un equilibrio térmico en el terreno, no siendo necesario mantenerlo anualmente pero si mantener una visión global. Para poder controlar este hecho se considera necesario realizar un control sobre los flujos de energía con el terreno y la realización de un plan de gestión.

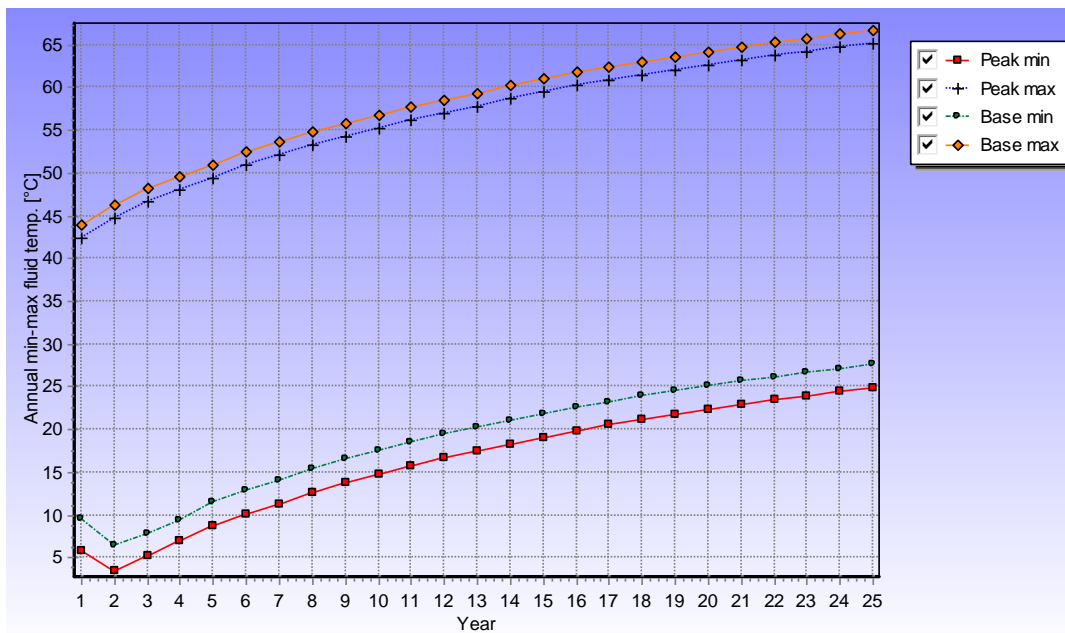


Figura 4. Temperaturas durante los 25 primeros años de funcionamiento del Sistema del Hospital de Mollet. CASO 1.

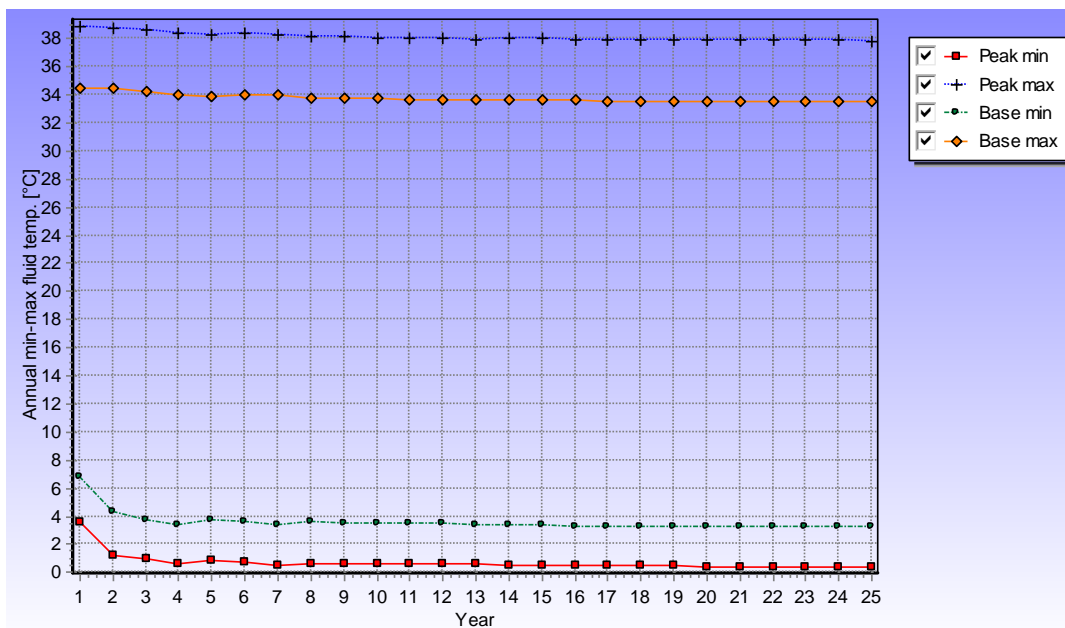


Figura 5. Temperaturas durante los 25 primeros años de funcionamiento del Sistema del Hospital de Mollet. CASO 2.

De la comparación del caso 2 y 3 (ver tabla VI) se comprueba que la cantidad de energía que se disipa y extrae del terreno afecta a las temperaturas extremas del fluido circulante por el campo de sondeos. De esta forma se muestra que el campo de sondeos tiene una capacidad limitada y es aconsejable utilizarla de manera eficiente.

Tabla VII. Resultados de la simulación con variación del número de horas a carga pico, Caso 2 modificado.

Parámetros	Unidades	Caso 2	Caso 2A	Caso 2B
Duración máxima carga pico	[h]	48	10	168
Temp. Máx. (final de agosto, año 25 de funcionamiento)	[°C]	37,84	36,8	38,67
Temp. Mín. (final de febrero, año 25 de funcionamiento)	[°C]	0,4	1,2	0,22



También influye en la temperatura del fluido que circula por el circuito geotérmico el número de horas continuadas que se utiliza el sistema a carga máxima sin tiempo para la recuperación del terreno. En la tabla VII se ha utilizado el caso 2 como base con 48 horas (2 días) de funcionamiento a carga máxima y se ha comparado con el mismo caso con 10 horas, caso 2A, y 168 horas (1 semana), caso 2B, de funcionamiento a carga máxima. Como se puede comprobar, cuantas más horas funciona de forma continuada a carga máxima, más extremas son las temperaturas del fluido de intercambio energético.

5. MONITORIZACIÓN. CONCLUSIONES

A fin de que se garantice un funcionamiento estable en el sistema geotérmico, es necesario gestionar la energía térmica (calor y frío) en el terreno. Para el correcto funcionamiento del sistema, es preciso mantener un equilibrio anual entre el calor disipado al terreno y el calor sustraído del mismo. Cabe además mencionar, que la capacidad del terreno para almacenar y suministrar frío y calor no es infinito, por lo que conviene reservar la capacidad del mismo para aquellos periodos en los que el potencial de ahorro del sistema geotérmico referente a los equipos convencionales (enfriadoras y calderas) sea el máximo. Por lo tanto, gestión del intercambio de energía con el terreno es importante para garantizar un funcionamiento sostenible y optimizar el uso y la eficiencia de un sistema geotérmico, siendo más importante en los sistemas geotérmicos de grandes potencias.

Para sistemas geotérmicos cerrados es importante, además de la cantidad de calor que se intercambia con el terreno, la duración en la que el sistema trabaja en carga pico. Debido a que un hospital requiere calor y frío durante 24 horas y que el sistema geotérmico está dimensionado para cubrir la base de demanda del hospital, se trabajaría siempre a carga pico el sistema geotérmico si no existiera un plan de gestión con el fin de optimizar su uso. Esta situación no sería la deseable para un funcionamiento estable y eficiente para un sistema cerrado.

Por estos motivos y para conocer la eficiencia del sistema geotérmico es necesario realizar una medición, monitorización, mediante la instalación de equipos de medida en la sala de máquinas del sistema geotérmico del intercambio térmico con el terreno y la energía térmica suministrada al hospital con el sistema geotérmico.

Para optimizar el uso del sistema geotérmico y los equipos convencionales se recomienda la realización de plan de gestión que se basa en los resultados de la monitorización. En el plan de gestión se debe reflejar que cantidad de energía térmica se intercambia con el terreno, planificación de entrada en funcionamiento de equipos, horas máximas de funcionamiento a carga pico de los equipos, etc. Es necesario revisar el plan de gestión anualmente y corregir posibles desvíos de los objetivos marcados.

En la actualidad el sistema no está equipado con los equipos necesarios para realizar una monitorización adecuada. Este hecho se está tratando de corregir con el ayuda del proyecto europeo “Green@Hospital” cuyo objetivo es obtener significantes ahorros energéticos en hospitales existentes mediante una mejor gestión de los fuentes energéticas y una reducción de las pérdidas de energía.

Por los resultados mostrados en este artículo, se observa que en la actualidad se está realizando ahorros energéticos en el hospital de Mollet y con las condiciones actuales se estima que se producirá una reducción del plazo de retorno de la instalación. Para confirmar este hecho se espera contar en el futuro con una monitorización adecuada, apoyada con un plan de gestión que permita optimizar su uso.



“Por la presente, y como autor del trabajo mencionado arriba, cedo a la Comunidad de Madrid una licencia no-exclusiva irrevocable para imprimir, reproducir, distribuir, transmitir o comunicar de cualquier manera dicho trabajo, incluyendo el derecho de hacer modificaciones de formato. Además, afirmo que esta cesión no lesiona los derechos de terceros”.