

**Instalaciones con bomba de calor geotérmica en  
el centro y norte de España.  
Parámetros de influencia en el diseño de captación geotérmica.**

**Alfredo Fernández<sup>a</sup> y Lucía Novelle<sup>a</sup>**

<sup>a</sup>INGEO Investigación Geotérmica. Parque Tecnológico de Galicia, 32901 San Cibrao, Orense.  
www.ingeo.es – ingeo@ingeo.es

---

Resumen

En los últimos años, varias instalaciones de energía geotérmica para climatización de edificios de distinto uso (residencial, oficinas, etc.), así como viviendas unifamiliares han sido diseñados e instalados en el centro y norte de España. La gran mayoría de estos sistemas utilizan sondeos verticales con intercambiadores de calor geotérmicos. Sobre el cálculo, diseño y ejecución de estas captaciones geotérmicas se han encontrado nuevas soluciones para adaptar la tecnología existente a ciertas limitaciones de espacio y componentes innovadores tales como el material de relleno o inyección, mejorados térmicamente, han contribuido a una mejora sustancial en los rendimientos. Este documento revisa el desarrollo temprano y emergente de las instalaciones con bomba de calor geotérmica, dando detalles sobre una serie de plantas o instalaciones geotérmicas en las que se examina la influencia e importancia de cada uno de los parámetros a estudiar para el proyecto de ejecución y los problemas que surgieron durante su realización. La experiencia adquirida en estas plantas, y sus circunstancias económicas, contribuirá a la realización con éxito de futuras instalaciones con sistemas de bomba de calor geotérmica.

*Palabras clave:* Bomba de calor, Calefacción y Refrigeración Geotérmica;

---

## 1.- INTRODUCCIÓN

El presente documento revisa instalaciones en diversos puntos del centro y norte de España: Ocaña, una obra singular en el centro histórico con grandes limitaciones de ejecución; Santander, Edificio con 130 kW de potencia en calefacción del Parque Científico y Tecnológico de Cantabria; Hotel en Sanxenxo, Pontevedra, obra con limitaciones hidrogeológicas en el campo de captación geotérmica.



**Figura 1.** Localización de las plantas geotérmicas sobre el mapa geológico del I.G.M.E.

## 2.- DISEÑO Y DIMENSIONAMIENTO

En cuanto al dimensionamiento del campo de captación geotérmica a menudo se recurre a potencias específicas, por ejemplo 50W/m. Esto puede asumirse para instalaciones pequeñas de hasta 30 kW, pero en el caso de instalaciones medianas y grandes, es decir con una potencia superior a 30 kW han de tenerse en cuenta factores importantes como las horas de funcionamiento anuales, distancia entre las sondas geotérmicas, temperaturas del subsuelo y en el circuito interior del edificio. De esto se deduce que terreno y edificio deben considerarse conjuntamente y no por separado.

Al utilizar potencias específicas de extracción en instalaciones mayores de 30 kW pueden producirse fallos en la funcionalidad de la instalación a largo plazo. Si se produce un subdimensionamiento, en el mejor de los casos resultaría en una disminución importante de la eficiencia de la instalación y en el peor de los casos daría lugar a un fallo total con graves consecuencias. Si se incurriera en un sobredimensionamiento de la instalación, daría lugar a un coste elevado de la inversión (referido a costes de perforación) que podría hacer inviable económicamente el proyecto.

A continuación se indican algunos parámetros de entrada importantes:

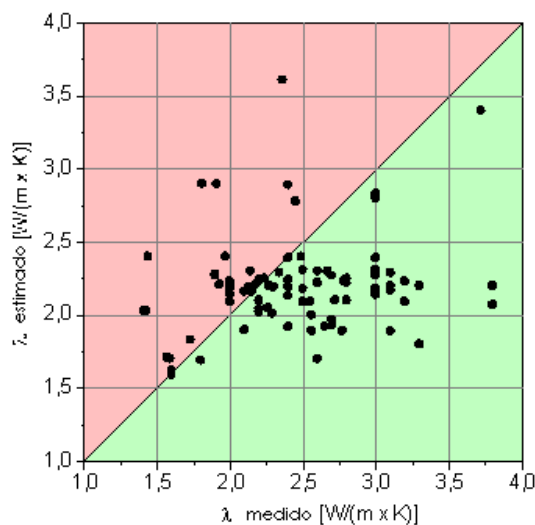
### 1. Parámetros térmicos del subsuelo

Las magnitudes más importantes de este grupo son: el coeficiente de conductividad térmica del subsuelo, la temperatura del terreno no perturbada y la influencia de las aguas subterráneas. Estos parámetros repercuten fundamentalmente en el tamaño de campo necesario; deberían ser conocidos en el anteproyecto de una instalación al menos en cuanto a su magnitud, y precisarse a más tardar en

el momento de la construcción de la instalación de sonda geotérmica por medio de un test de respuesta geotérmica.

El coeficiente de conductividad térmica del subsuelo es la magnitud de mayor influencia en el dimensionamiento de un campo de captación geotérmico, por lo que respecta al terreno. Un coeficiente de conductividad térmica más elevado siempre produce efectos positivos, la energía térmica se transporta más rápidamente hacia la sonda (absorción de calor) o escapa de ella (emisión de calor); la regeneración natural de la temperatura en el subsuelo tiene lugar de forma más rápida con un coeficiente de conductividad térmica más elevado.

En la figura 3, que aparece a continuación, se muestra, para 86 casos, la diferencia entre el coeficiente de conductividad térmica calculado sobre la litología afectada y sobre los “valores de cálculo típicos” que se dan en bibliografía, y el coeficiente real de transmisión térmica del subsuelo que se obtiene después por medio del test de respuesta geotérmica.



**Figura 2.** Valor estimado/medido coeficiente de conductividad térmica. Fuente UBeG

Aproximadamente el 45% de todas las estimaciones se desvían en más de  $0,5 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$  de las cantidades medidas por medio del test de respuesta geotérmica. Sólo aproximadamente el 8% de todas las estimaciones pueden ser consideradas coincidentes con los valores medidos.

Mientras que los parámetros térmicos del subsuelo por principio no pueden modificarse, puede ejercerse influencia sobre otras magnitudes importantes del proyecto (en diferente medida) por medio de la planificación y ejecución de la instalación:

### 2. Longitud (profundidad) de la sonda geotérmica

Cuanto más profundamente penetra la sonda térmica en el terreno, tanto más elevadas son las temperaturas a las que se accede; de esta forma puede extraerse más energía del subsuelo.

### 3. Distancia entre las sondas

Cuanto mayor es la distancia entre cada una de las sondas térmicas mayor es el volumen de terreno explotado y menor la influencia recíproca.

#### 4. Geometría del campo de captación y número de sondas.

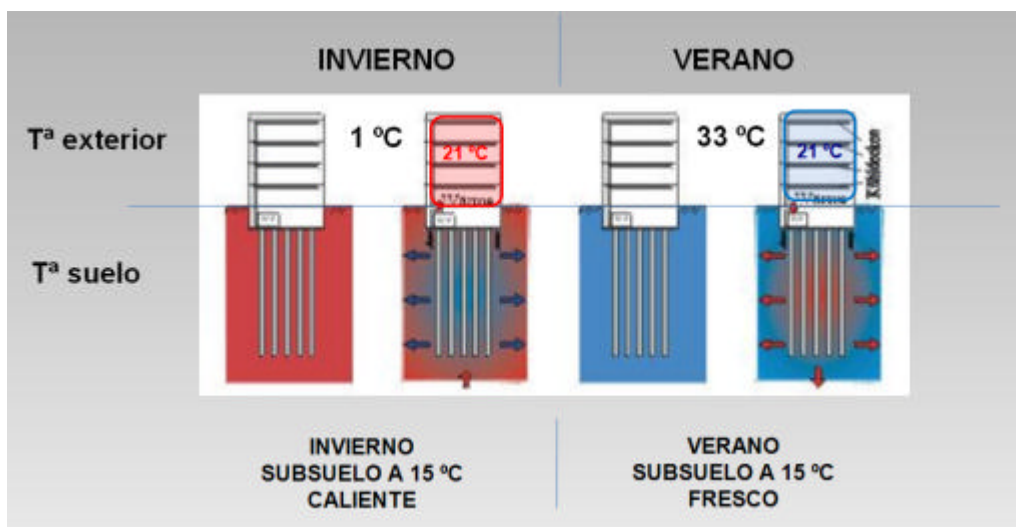
Según la disposición de las sondas térmicas una sonda tiene más o menos vecinas. Cuanto mayor es el número de sondas vecinas mayor es también la influencia recíproca y menor la cantidad de energía captada por una sonda determinada.

#### 5. Resistencia térmica a la perforación.

En la transición del terreno al medio portador del calor (agua o agua y anticongelante) se ha de prestar atención a las distintas resistencias. Pueden mejorarse (esto es, reducirse) empleando las medidas adecuadas. Factores de influencia son, por ejemplo el diámetro de perforación y el coeficiente de conductividad térmica del material de inyección.

#### 6. Forma de aprovechamiento del calor geotérmico

Un edificio puede demandar además de calefacción refrigeración activa o pasiva. El efecto de almacenamiento que aparece en el terreno puede llevar a un notable ahorro en el número de sondas.



**Figura 3.** Relación de temperaturas hipotéticas de una instalación geotérmica con necesidades de calefacción y refrigeración.

#### 7. Necesidades de calentamiento del edificio (potencia, horas a plena carga o rendimiento energético)

La potencia y el rendimiento energético que se necesitan constituyen, en lo que respecta al edificio, la magnitud de entrada más importante, y están predeterminados básicamente por el edificio. Sin embargo, las necesidades de calentamiento del edificio pueden reducirse empleando las medidas adecuadas (por ej., calefacción a baja temperatura, almacenamiento de energía, mejor aislamiento, etc.).

#### 8. Eficiencia promedio anual o factor rendimiento estacional.

La eficiencia promedio anual es una medida de la eficiencia de una instalación de bomba de calor (relación entre el calor geotérmico obtenido y la energía motriz utilizada). Por una parte, depende de la temperatura de salida de la tierra, pero por otra parte también de las temperaturas de salida en el circuito calorífico. Cuanto menor es la distancia entre la temperatura del terreno y el circuito calorífico, mayor es la eficacia promedio anual, y más calor se extrae proporcionalmente del subsuelo.

Los cálculos se realizan mediante software, con el que se determinan, bajo las condiciones límite previamente definidas, los valores medios de temperatura del fluido en el interior de las sondas.

Para el dimensionamiento de la instalación se varían la configuración del campo y los demás parámetros de entrada variables mientras las temperaturas del fluido caloportador satisfacen los valores de temperatura límite fijados

Para los cálculos del ejemplo se aplican los siguientes criterios de convergencia:

1. Temperatura media de la salmuera en media mensual (Base load): no por debajo de 0° Celsius.
2. Temperatura media mínima de la salmuera (Peak heat load): no por debajo de menos 5° Celsius.

### 3.- EJEMPLOS

#### Obra singular en Ocaña.

El edificio está ubicado en el centro de Ocaña en la provincia de Toledo y se trata de una construcción realizada en 2 plantas de viviendas con un total de 526 m<sup>2</sup> a climatizar, sótano y local comercial de 42,73 m<sup>2</sup> y piscina.

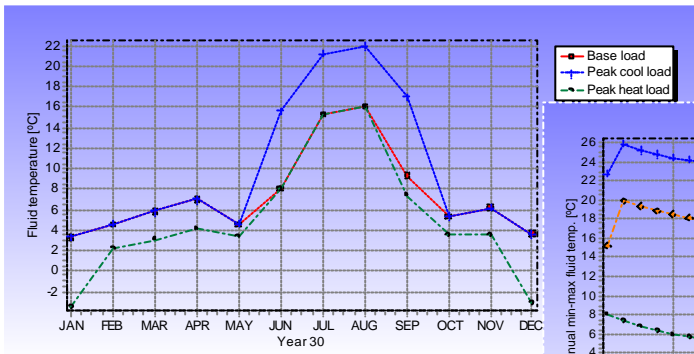
El edificio posee suelo radiante-refrescante como elemento emisor en la parte destinada a vivienda y fancoils en el local comercial, además de extender la temporada de baño en la piscina exterior.

La particularidad de esta obra reside en las perforaciones que se han ejecutado en el interior de la edificación ya construida por lo que la limitación viene dada por el espacio, tanto en la superficie disponible para el campo de captación como en la reducida altura de trabajo para realizar la sondeos con las máquinas de perforación.

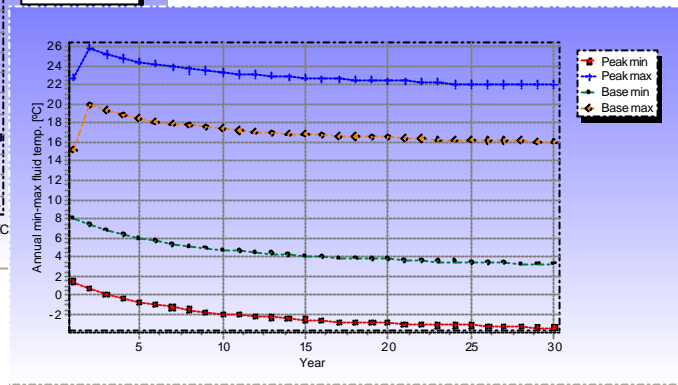


**Figura 4.** Imagen de la perforación en el interior del sótano del edificio.

En cuanto a la parte de captación el tipo de suelo es material Terciario del Cenozoico con unos valores de conductividad real determinados mediante Test de Respuesta Geotérmico que ofrece una potencia térmica de extracción de 24,35 W/m



**Figura 5.** Temperaturas del fluido en el año 30 de operación

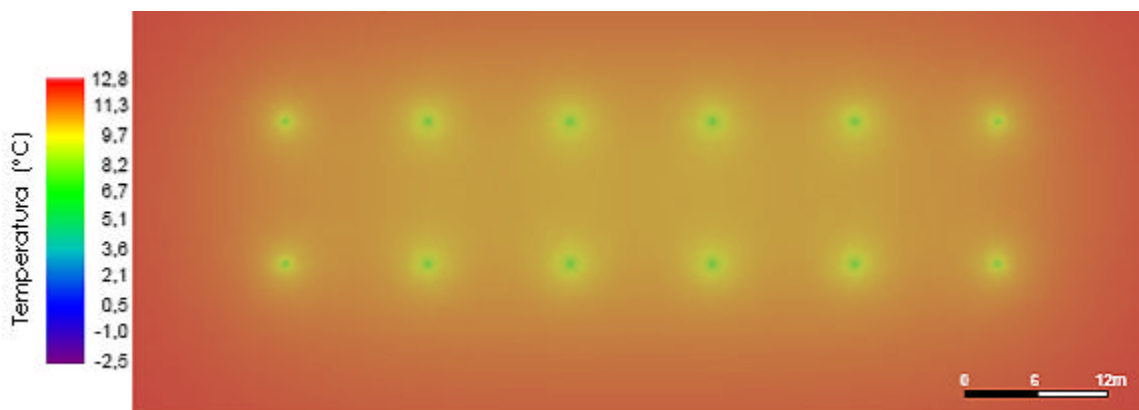


**Figura 6.** Comportamiento térmico del fluido durante los primeros 30 años.

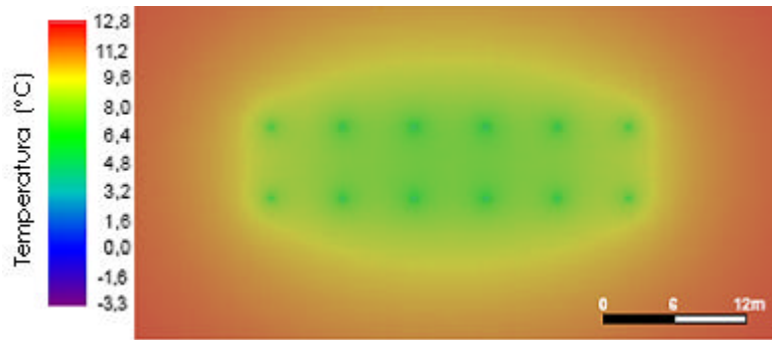
En el resultado se muestra que se necesita un campo de dos filas, cada una con 6 sondas geotérmicas y una profundidad de 60 m, esto es, en total 720 metros de sonda geotérmica, para mantener los criterios de convergencia.

Frente al dimensionamiento con la potencia frigorífica específica (50 W/m) se necesitan 2 sondas geotérmicas más para hacer posible el funcionamiento continuado de la instalación. Si se construye la instalación con la configuración descrita, ya no se pueden mantener los criterios del proyecto (temperaturas límite) a partir del quinto período de calefacción. La instalación funciona a partir de ese momento con un nivel de eficiencia que disminuye de forma constante (potencia inferior, menor eficacia promedio). Aproximadamente a partir del décimo período de calefacción existe el peligro de que alrededor de las sondas geotérmicas y de las líneas de sujeción se forme un cuerpo de hielo permanente. La consecuencia puede ser la causa de daños ocasionados por el frío en el edificio o en las líneas de abastecimiento (agua potable, aguas residuales, etc.) y el no funcionamiento del sistema de calefacción geotérmico.

En la figura 7 y 8 se representa la distribución de la temperatura después de 5 años con 6 m y 12 m de distancia entre las sondas.



**Figura 7.** Distribución de las temperaturas en el campo de captación geotérmica transcurridos 5 años. Distancia entre sondas de 12 m

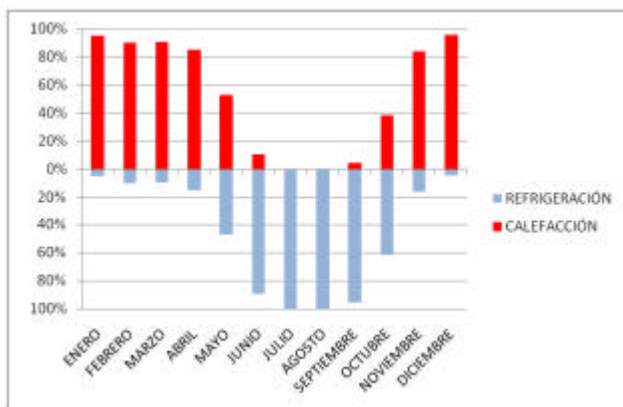


**Figura 8.** Distribución de las temperaturas en el campo de captación geotérmica transcurridos 5 años. Distancia entre sondas de 6 m

Las simulaciones anteriores se han realizado para conocer la distancia mínima admisible para mantener los criterios de convergencia del proyecto.

### Edificio de Oficinas en Santander.

Esta obra está destinada a un edificio de oficinas en el Parque Científico y Tecnológico de Cantabria en Santander. El edificio tiene necesidades de climatización con unos valores de potencia para calefacción de 130 kW y para refrigeración de 106 kW, el tiempo de funcionamiento anual son 1.170 horas y 769 horas respectivamente.



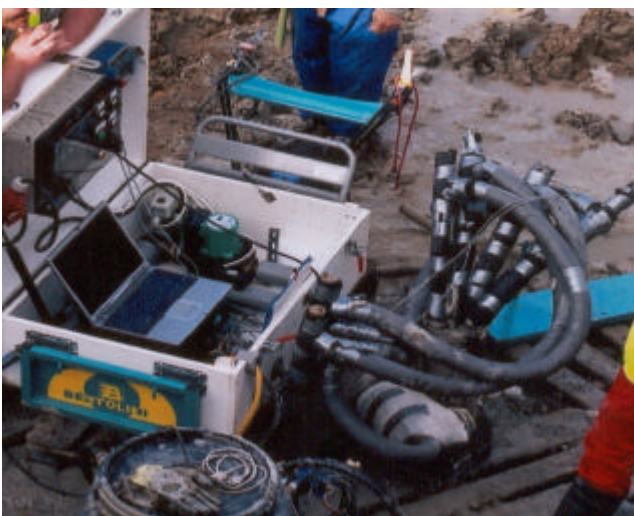
**Figura 9:** Porcentaje distribución de las demandas de calefacción y refrigeración del edificio.

En cuanto a la captación se utiliza sondas doble U de 32mm de diámetro y en polietileno de alta densidad de 16 atm. La naturaleza geológica en el lugar de la obra es margocaliza del Cretácico.

La conductividad térmica de la zona, determinada según datos bibliográficos, alcanza un valor medio de 2,2 W/(m•K) para este tipo de rocas, lo que supone un campo de captación de 17 sondeos de 120 m para cubrir la demanda del edificio. Esto ofrece un ratio de extracción de 63 W/m para calefacción y 52 W/m para refrigeración.

Una vez realizado el test de respuesta y en función de las características de demanda mensual del edificio, el campo de captación se modificó debido a un valor de conductividad térmica más elevado.

La configuración final proyectada se reduce a 13 sondeos de 120 m de profundidad.



**Figura 10:** Test de respuesta geotérmico.

## Hotel en Sanxenxo.

El edificio destinado a Apartamentos turísticos tiene una superficie aproximada de 1000 m<sup>2</sup> dividida en tres plantas y 13 apartamentos, en los cuales se ha instalado un sistema de climatización mediante fancoils a 2 tubos, distribuidos en cada apartamento y en zonas comunes.



Figura 11. Hotel en Bascuas.

Los datos de demanda térmica para el edificio son: 125.114,45 MJ/año para ACS, 285.473,06 MJ/año para calefacción y 63.418,98 MJ/año para refrigeración. La instalación ha de dimensionarse para cubrir el 100% de la demanda. Las características de la instalación son: una bomba de calor condensada por agua para climatización con una potencia calorífica y frigorífica de 52,7 kW y 45,6 kW respectivamente y para cubrir la demanda de ACS una potencia calorífica de 23,2 kW.

Los datos litológicos determinan metasedimentos de dominio esquistoso de edad silúrica del Paleozoico con un área cercana de granitoides variscos postcinemáticos, lo que nos indica a priori valores favorables para la obtención de parámetros geotérmicos elevados.

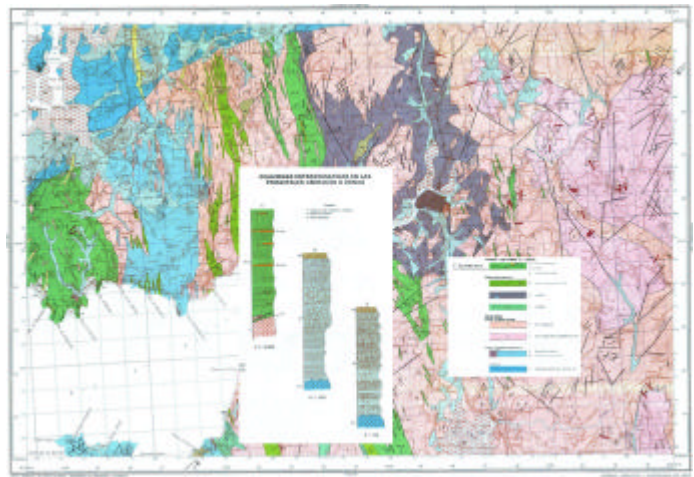


Figura 12. Carta geológica de la zona de Sanxenxo y sus estratigrafías.

Con los valores de demanda energética del edificio y los valores de parámetros geotérmicos se realiza un predimensionado, que estima 1440 metros de perforación distribuidos en 16 sondeos de 90 metros.

Posteriormente se realiza la primera de las perforaciones sobre la cual se ejecuta el Test de Respuesta Geotérmica para obtener el valor real de conductividad térmica en esa parcela, así como el valor de resistencia térmica de la perforación  $R_b$ , capacidad de un material (mezcla de inyectado de pozos) para oponerse a la conducción de calor.

Los resultados finales fueron una captación de 13 sondeos de 90m cada uno, es decir, 1170 metros de perforación. Esto representa un ahorro de 270 metros que habrían supuesto un sobre coste innecesario.

Durante la perforación de los últimos pozos, se hizo imposible llegar a las cotas de profundidad proyectadas debido a los elevados caudales surgentes de aguas subterráneas. Para solucionar este problema se procedió al replanteo in situ de la profundidad de estos pozos y compensación de la energía captada en esos metros con un nuevo sondeo. Finalmente se ejecutaron 14 sondeos, 9 de ellos de 90m y 5 de 65m.

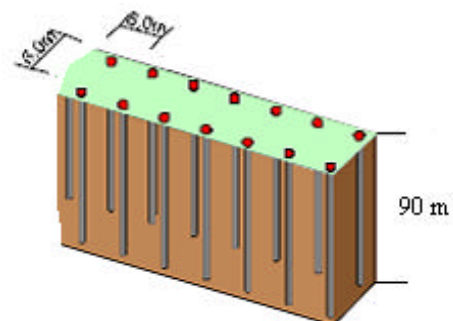


Figura 13. Campo de captación.

#### **4.- CONCLUSIONES**

Los parámetros de los que depende el dimensionamiento del campo de captación a menudo no pueden ser alterados a voluntad. En la planificación se han de tener en cuenta, naturalmente, los requisitos técnicos del edificio, los aspectos espaciales (relaciones de lugar) y las imposiciones administrativas (limitaciones a la profundidad, diámetro de perforación).

En el dimensionamiento han de tenerse en cuenta factores como :

- La profundidad aumenta la temperatura del terreno de media aprox. 3K/100m. Una mayor profundidad de sonda tiene, por ello, efectos siempre positivos en caso de calentamiento. Una sonda profunda, por regla general, no tiene que ser tan larga como la suma de dos sondas planas.
- Empleando un mayor número de sondas (con una profundidad de sonda inferior) puede aumentarse el volumen de terreno explotado para la eliminación de calor. Sin embargo, se produce el efecto perjudicial de que se reduce la temperatura de la roca, no siendo posible en la práctica una compensación total.
- Con un mayor volumen de terreno explotado aumenta también la superficie que cubre el campo de sondas, sobre la cual puede producirse una regeneración de temperatura por la afluencia de calor de los lados y desde abajo.
- Un número de sondas menor disminuye el efecto perjudicial de la influencia recíproca.

La potencia específica de extracción no es un instrumento adecuado para el dimensionamiento del campo de captación geotérmica en instalaciones medianas y grandes (> 30 kW).

Con modificaciones relativamente sencillas como la distancia entre sondas, su orden, su número, el material de relleno, el diámetro de perforación, etc., es posible obtener una gran variación de la potencia de extracción específica.

La utilización de sistemas de calefacción y refrigeración con bombas de calor geotérmicos ofrece ventajas económicas y medioambientales, ya que el terreno actúa como una fuente y almacén de energía aprovechable para el sector residencial, edificios de oficinas, sector industrial etc.

En este artículo se ha descrito un tipo de instalaciones de energía geotérmica pero además existen otros tipos, como por ejemplo geotermia en circuito abierto, geotermia horizontal y sistemas de intercambio aire-tierra.

#### **5.- AGRADECIMIENTOS.**

El más sincero de los agradecimientos para Erich Mands, Marc Sauer y Burkhard Sanner.

#### **6.- BIBLIOGRAFÍA.**

CLAESSON, J. & ESKILSON, P. (1988).: "Conductive Heat Extraction to a deep Borehole, Thermal Analysis and Dimensioning Rules." - Energy 13/6, S. 509-527

DIERSCH, H.-J.G. (2006).: "FEFLOW® 5.3 User's Manual." - WASY GmbH, Berlin, 200 S.

GEHLIN, S. & HELLSTRÖM, G (2000).: “Recent Status of In-Situ Thermal Response Tests for BTES Applications in Sweden.”- Proc. Terrastock 2000, 159-164.

HELLSTRÖM, G. (1991).: “Ground Heat Storage, Thermal Analysis of Duct Storage Systems, I.” Theory. 262 p., LTH,

HELLSTRÖM, G. & SANNER, B. (1994).: Software for dimensioning of deep boreholes for heat extraction. - Proc. CALORSTOCK 94, S. 195-202, Espoo/Helsinki

NORDELL, B. (1991).: “Cost effective design of borehole heat stores.” - Proc. 5th int. Conf. Energy Storage THERMASTOCK 91, S. 3.1.1-3.1.7, NOVEM, Utrecht

SANNER, B. (1999).: Kann man Erdwärmesonden mit Hilfe von spezifischen Entzugsleistungen auslegen? - Geothermische Energie 26-27/99, S. 1-3, Geeste (auch unter:[http://www.geothermie.de/oberflaechennahe/erdwaermesonde/kann\\_man\\_erdwaermesonden\\_mit\\_hilf.htm](http://www.geothermie.de/oberflaechennahe/erdwaermesonde/kann_man_erdwaermesonden_mit_hilf.htm))

SANNER, B. et al (2005).: “Thermal Response Test – current status and world-wide application.” *Proc. WGC 2005 Antalya*, paper #1436, 1-9.

SANNER, B., MANDS, E., SAUER, M., SEIDINGER, W. (2002).: Das Low Energy Office der Deutschen Flugsicherung in Langen mit geothermischer Wärme/Kälte-Speicherung – <http://www.ubeg.de/Downloads/LeoDFSGerm.pdf>

SAUER, M., MANDS, E., SANNER, B. & GRUNDMANN, E. (2007).: “Wirtschaftliche Aspekte beim Einsatz von Geothermal-Response-Tests”, Tagungsband Geothermiekongress 2007 Bochum, Paper Nr. 124 .