

Instalación con bomba de calor geotérmica en Museo Chillida en Legazpia. Test de Respuesta Geotérmica y Simulación Campo de Captación

Alfredo Fernández Pérez, Ingeniero de Montes
Lucía Novelle Varela, Ingeniera de Minas

Fue a finales de los años 60 del pasado siglo cuando el escultor Eduardo Chillida inicia su relación con la localidad guipuzcoana de Legazpia y en particular con la Papelera de Patricio Elorza, donde encuentra la forma de hacer sus diseños a gran escala. Allí se realizaron muchas de sus obras como El Peine del Viento de San Sebastián, Alrededor del Vacío (Washington), y otras que hoy se encuentran en museos de todo el mundo como el Metropolitan ó el Guggenheim de Nueva York.

Fruto de este hermanamiento con la localidad, la Fundación Lenbur decide acometer la transformación de la antigua papelera en el nuevo Espacio Chillida, optando por una intervención en la que se mantuviera la huella industrial de la fábrica, a la vez que se apostaba por la eficiencia y las tecnologías de vanguardia en materia energética.

Tras asesoramiento en el ámbito energético por parte de la empresa Efitermik Energías Renovables S.L, se toma la decisión de realizar una instalación geotérmica de baja entalpía para la generación de calefacción para el museo.

Para el dimensionado del campo de captación se ejecuta inicialmente un Test de Respuesta geotérmica en el lugar de la obra y a partir de los datos obtenidos se diseña la configuración óptima para esta instalación. Este

documento examina además la influencia e importancia de cada uno de los parámetros a estudiar para el proyecto de ejecución.

Diseño y dimensionamiento

El edificio del museo aprovecha la energía del subsuelo, o geotérmica, para producir calefacción en invierno. El edificio tiene una superficie aproximada de 750 m² dividida en una planta y un bajocubierta, en los cuales se ha instalado un sistema de climatización mediante suelo radiante en la primera planta y aerotermos en el bajocubierta.

La empresa solicitó la colaboración de INGEO para la elaboración del estudio de captación geotérmica, así como la realización de un Test de Respuesta Geotérmica con la finalidad de optimizar el número de metros de perforación, su configuración en número, profundidad y distancia entre ejes de sondeo.

La fase inicial del proyecto discurre por dos vertientes, una derivada de los datos de cargas y demandas térmicas de ingeniería y otra de los datos geológicos de la zona donde se ejecutará la obra.

Los datos de demanda térmica para el edificio son: 134.385 kWh/año para calefacción. La instalación ha de dimensionarse para cubrir el

100% de la demanda. Se ha seleccionado una bomba de calor condensada por agua para climatización con una potencia calorífica 52,7 kW.

Los datos litológicos determinan sedimentos de edad entre el cretácico inferior y superior, con rocas areniscas, argilitas micáceas, calizas y margocalizas, lo que nos indica a priori valores para la obtención de parámetros geotérmicos bajos. El más significativo de éstos, a la hora del cálculo del campo de captación, es la conductividad geotérmica, propiedad física del terreno que mide la capacidad de conducción de calor. Este valor relaciona la cantidad de potencia que se puede extraer por metro lineal perforado en función del tipo de suelo.



Figura 1. Mapa geológico España. Escala 1:50.000. Vergara. Fuente IGME.

Con los valores de demanda energética del edificio y los valores de parámetros geotérmicos se realiza un predimensionado, que estima 720

Datos técnicos de la instalación

- Superficie del museo: 742 m²
- Suelo radiante (592 m²) y radiadores de baja temperatura (150 m²)
- T^a calefacción: 40 °C
- Sistema instalado: LGP 150-V de CIATESA de 52,7 kW
- Captación de energía: Ø sondeo: 0,164 m. Ø U-pipe: 0,032 m. Sondas de captación geotérmica
- Necesidades energéticas anuales del edificio: 134.385 kWh
- Consumo eléctrico de la bomba de calor geotérmica: 30.400 kWh
- COP: 4,00. Rdto. Estacionario: 3,5
- Coste estimado de consumo eléctrico: 3.249 € anuales
- Suelo radiante y aerotermos

metros de perforación distribuidos en 6 sondeos de 120 metros.

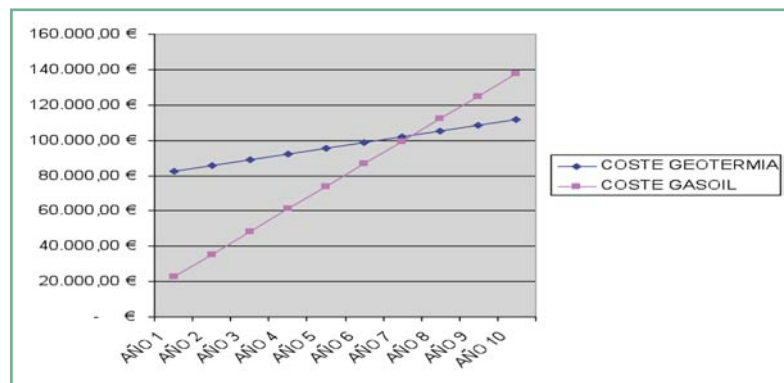
Los emisores de la instalación del edificio son suelo radiante en una superficie a calefactar de 592 m², referentes a la primera planta aerotermos en una superficie de 150 m², referentes al bajo cubierta.

Al tratarse de la rehabilitación de un edificio antiguo, con grandes pérdidas energéticas, el cálculo de necesidades energéticas da un valor en torno a los 100 W/m², por lo que la potencia a instalar y por tanto la necesidad de aporte del terreno, dan lugar a un sobredimensionado de los valores necesarios para el volumen a calefactar.

Las necesidades energéticas aportadas para la simulación son las siguientes:

- Necesidades energéticas anuales del edificio: 134.385 kWh
- Consumo eléctrico de la bomba de calor geotérmica: 30.400 kWh
- Diferencia de consumo con una caldera de gasoil: 9.509 €
- Porcentaje del ahorro anual: 75%
- Emisiones de CO₂ evitadas al año: 22.165 Kg

De los datos obtenidos y comparándolos con el rendimiento de una caldera de gasoil convencional se extrae que el retorno de la inversión, mayor en la instalación geotérmica, ocurre en el 8º año, tal y como muestra la siguiente gráfica:



Gráfica 1. Comparativa consumo bomba de calor geotérmica – caldera gasoil. Fuente: Efitermik Energías Renovables



Figura 2. Test de Respuesta Geotérmica

La bomba de calor que emplea el sistema es una LGP 150-V de CIATESA de una potencia nominal de 52,7 kW. El módulo de control indica continuamente a la bomba de calor la temperatura de impulsión del agua en función de una sonda exterior y una sonda a la temperatura del agua de retorno, con lo que se consigue generar una modulación para adaptar la potencia de la máquina a las necesidades del edificio mejorando el rendimiento y por lo tanto reduciendo el consumo de energía primaria.

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 λ 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.

En el caso de que se detecten variaciones significativas en la energía eléctrica o en la temperatura (las bombas de calor son muy sensibles a esto, ver Van Gelder y otros.,

1999), solamente un tiempo de medición prolongado puede compensar estas variaciones para la evaluación según la teoría de la línea de la fuente.

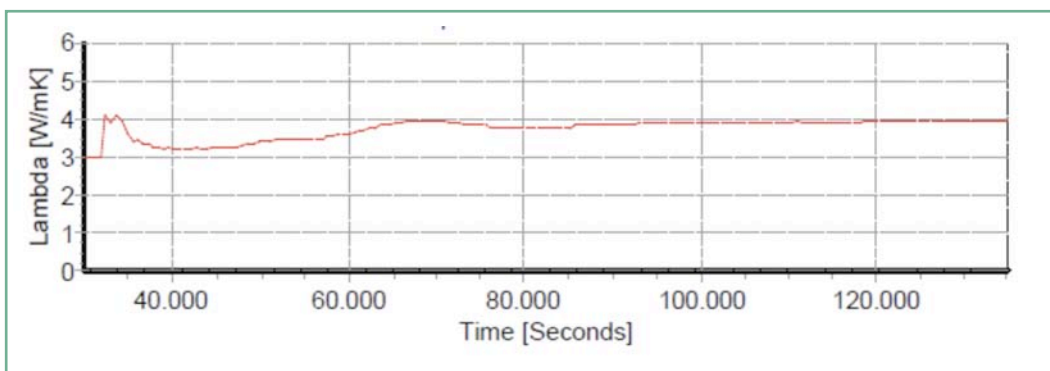
Después de testear el terreno durante 48 horas y de la interpretación de los datos obtenidos en gabinete, el equipo técnico determinó una conductividad del terreno inferior a la que se había obtenido mediante cartografía geológica y valores de conductividad según la norma VDI 4640.

El proceso de evaluación ofrece un procedimiento para chequear la credibilidad técnica y estimar el error de los resultados del Test.

El programa calcula la conductividad térmica para cada espacio de tiempo, comenzando en el inicio del Test. Por lo general, puede verse una gran fluctuación de las curvas entre las primeras 12 – 24 horas. Después de ese período inicial, un desarrollo de la curva de resultados paralelo al eje de abscisas, sistema de coordenadas cartesiano (coordenadas x), indica un resultado razonable del test. Si la gráfica todavía muestra algunas fluctuaciones en la curva, se requiere un test de mayor duración.

Una vez obtenidos los datos reales de conductividad térmica y resistencia a la perforación, se diseña la configuración geotérmica final mediante una simulación del comportamiento del campo de captación geotérmico durante la vida útil de la instalación.

Las Parámetros del subsuelo más importantes que se han de tener en cuenta a la hora de dimensionar la instalación son: el coeficiente de conductividad térmica del subsuelo, la temperatura del terreno no



Gráfica 2. Ejemplo resultado conductividad térmica mediante Test de Respuesta Geotérmica

perturbada y la influencia de las aguas subterráneas. Estos parámetros repercuten fundamentalmente en el tamaño de campo necesario (número y profundidad de pozos); 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 ejecución de la instalación por medio del 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 elevado produce efectos positivos, la energía térmica se transporta más rápidamente hacia la sonda (modo calefacción) o escapa de ella (modo refrigeración o aire acondicionado); la regeneración natural de la temperatura en el subsuelo tiene lugar de forma más rápida.

Así, con un test de respuesta geotérmica se determinan los parámetros del subsuelo



Figura 3. Mezcla de inyección.

necesarios para poder calcular con seguridad y precisión una captación geotérmica.

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

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.

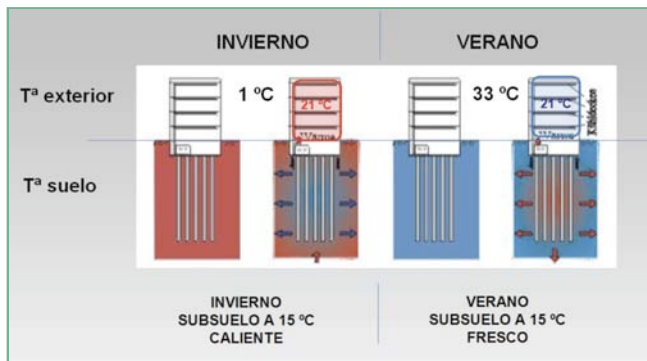


Figura 4. Relación de temperaturas hipotéticas de una instalación geotérmica con necesidades de calefacción y refrigeración

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

Geometría del campo de captación y número de sondas. Según la disposición de las sondas térmicas una sonda puede tener 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.

Material de **Inyección y Diámetro Perforado**. En la transición de energía del terreno a la instalación se ha de prestar atención a las distintas resistencias. Puede mejorarse el sistema reduciendo la resistencia térmica a la perforación empleando materiales de inyección con buena conductividad térmica y reduciendo el diámetro de perforación sin perjudicar los trabajos de ejecución.

Figura 6. Simulación funcionamiento del campo de captación en los primeros 30 años.

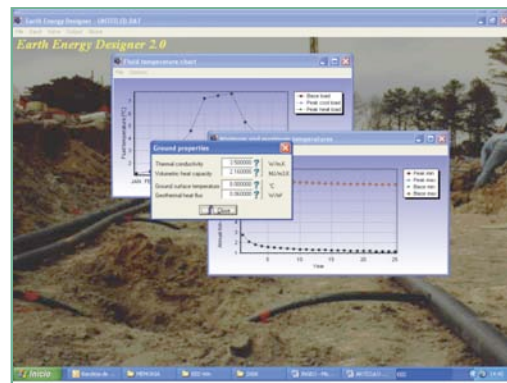
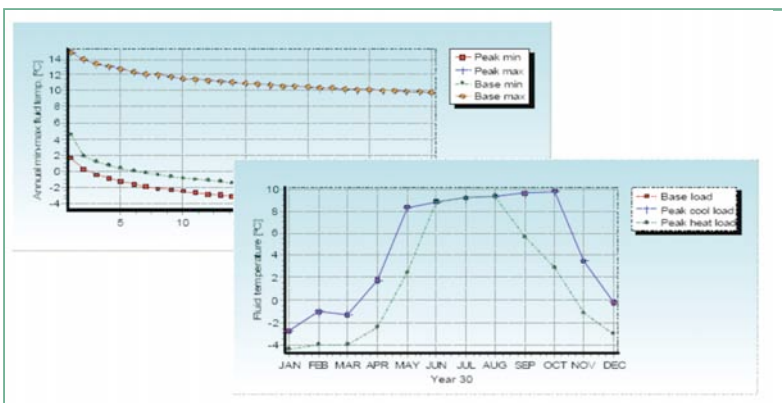


Figura 5. Dimensionado campo de captación geotérmico

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.

Necesidades 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.). Estos datos tienen que venir establecidos por la arquitectura e ingeniería que han desarrollado el edificio.

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 consumida). 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 de calefacción y mayor la de refrigeración, menor es la distancia entre la temperatura del terreno y el circuito calorífico, y por tanto mayor es la eficacia promedio anual, y más calor se extrae proporcionalmente del subsuelo, reduciendo así el consumo eléctrico. Esto hace instalaciones realmente eficientes.

El resultado final, una vez tenidos en cuenta todos estos parámetros, fueron unas necesidades de captación de 7 sondeos de 120m cada uno, es decir, 840 metros de perforación. Esto representa una diferencia de 120 metros con la configuración inicial (efectuado con valores bibliográficos) que habrían supuesto un aumento del consumo eléctrico a lo largo de los años, pudiendo llegar incluso a un fallo en el funcionamiento de la instalación.

El campo de captación se dimensiona de manera que los rangos de temperatura de funcionamiento de la bomba de calor geotérmica no sobrepasen los -5°C en los momentos más críticos (fallo de funcionamiento).

El siguiente paso fue la instrumentación de los pozos, es decir, la introducción de las sondas geotérmicas y el tubo de inyección.

El sellado se realizó con una mezcla de alta conductividad térmica compuesta por arena, bentonita y cemento, específica para este tipo de instalaciones. La inyección se hizo desde la parte inferior a la parte superior del pozo para evitar huecos en toda la longitud del sondeo. De esta manera se garantiza un total contacto entre sondas y terreno, además de evitar una posible contaminación de distintos niveles de acuíferos.

Siguiendo el esquema de principio proyectado se conectó el circuito exterior con la sala de máquinas mediante colectores de impulsión y retorno. Se dispuso una bomba de calor geotérmica para suministro de calefacción a dos circuitos, uno para el suelo radiante (primera planta) y otro para los aerotermos (bajocubierta), con una inercia de 1.500 litros.

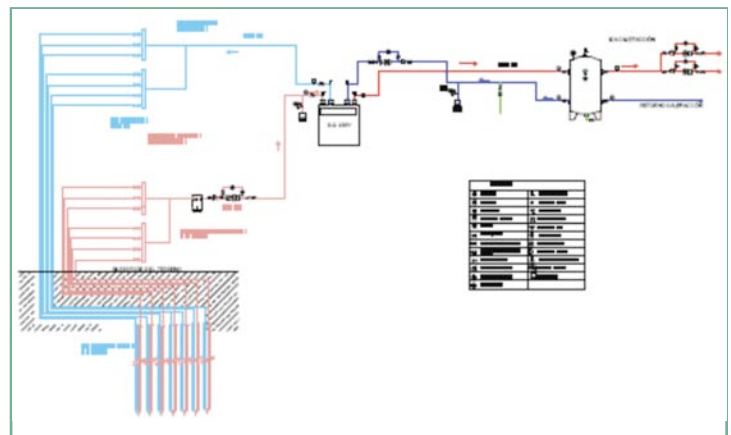


Figura 7. Esquema de principio.