

2019



EVALUACIÓN DE PARÁMETROS TÉRMICOS
DEL TERRENO MEDIANTE
TEST DE RESPUESTA GEOTÉRMICO Y
SIMULACIÓN CAMPO DE CAPTACIÓN
“NUEVO CEIP DE VILLIMAR, BURGOS”

| | |
|-----------------|----------------------|
| UBICACIÓN: | CALLE VELA ZANETTI |
| PROVINCIA: | BURGOS |
| REF. CATASTRAL: | 5605802VM4950N0001QZ |
| PETICIONARIO: | LABORAGUA S.A. |
| FECHA: | MAYO 2019 |

Informe técnico sobre la evaluación de parámetros térmicos del subsuelo mediante test de respuesta térmico para determinación de conductividad térmica del terreno y resistividad del relleno. Simulación del campo de captación geotérmico para la climatización de un centro de enseñanza primaria.



Parque Tecnológico de Galicia
32901 San Cibrao – Ourense
Telf: (0034) 988 36 81 93
Fax: (0034) 988 36 81 49
www.ingeo.es

INDICE

| | | |
|----------|--|-----------|
| 1 | ORDEN | 2 |
| 2 | PERFORACIÓN Y CONFIGURACIÓN DEL INTERCAMBIADOR DE CALOR | 3 |
| 3 | TEST DE RESPUESTA GEOTÉRMICA | 5 |
| 3.1 | TRABAJO DE CAMPO | 5 |
| 3.2 | INFORMACIÓN GENERAL SOBRE EL TEST DE RESPUESTA GEOTÉRMICO (TRG / TRT)..... | 5 |
| 3.3 | BASE DE CÁLCULO..... | 6 |
| 3.4 | EVALUACIÓN DEL TEST | 7 |
| 3.4.1 | DATOS BASE..... | 7 |
| 3.4.2 | MEDICIÓN DE DATOS..... | 8 |
| 3.4.3 | PROCESO DE EVALUACIÓN | 8 |
| 3.4.4 | PERFIL DE TEMPERATURA..... | 11 |
| 4 | ANÁLISIS DE ERROR | 13 |
| 5 | DISEÑO DEL CAMPO DE CAPTACIÓN GEOTÉRMICO | 15 |
| 5.1 | SIMULACIÓN 1..... | 16 |
| 5.2 | SIMULACIÓN 2..... | 17 |
| 6 | CONCLUSIONES | 20 |
| 7 | FOTOS | 21 |
| 8 | INFORMACIÓN DISPONIBLE Y BIBLIOGRAFÍA | 22 |

1 ORDEN

Con número de código 009/TRIG 01.19 se envía a las oficinas de LABORAGUA S.A. con C.I.F.: A39022538 oferta de servicios de consultoría Geotérmica, para llevar a cabo un Test de Respuesta Geotérmico (TRT/TRG) en la ubicación de Burgos.

El objeto del presente documento está motivado además por la necesidad de dimensionar las necesidades de captación con el fin de obtener energía térmica suficiente determinada por la ejecución de sondeos de captación para el aprovechamiento geotérmico de baja entalpía en circuito cerrado, sin captación de agua, con la finalidad de suministrar un régimen de temperaturas determinado para su uso en sistemas de evaporación y condensación en el Nuevo Centro de Enseñanza Primaria de Villimar, Burgos.

2 PERFORACIÓN Y CONFIGURACIÓN DEL INTERCAMBIADOR DE CALOR

La zona de estudio se encuentra situada en la calle Vela Zanetti, en la localidad de Burgos.

Su demarcación geográfica está definida por las coordenadas U.T.M. 30 ETRS89:

$$\begin{aligned} X &= 445.572 \text{ m} \\ Y &= 4.690.316 \text{ m} \\ Z &= 874 \text{ m} \end{aligned}$$



Figura 1. Ubicación zona objeto de estudio. Fuente: Sede Catastro.

Para el conocimiento de los datos geológicos de la zona se han estudiado las cartas geológicas, publicadas por el Instituto Geológico y Minero de España correspondiente a la hoja 200, 19-10 de Burgos.

En los primeros metros aparecen gravas y arenas pertenecientes a las terrazas del río Vena, del Cuaternario, de composición cuarcítica.

Por debajo de este nivel aparece una subfacie lacustre, evaporítica, de la Facies Dueñas compuesta por margas, yesos y arcillas.

Se trata de sedimentos lacustres estratificados en capas milimétricas y centimétricas, constituyendo una serie heterolítica con arcillas, margas y gypsarenitas, e intercalaciones de yesos diagenéticos que pueden alcanzar hasta 15 cm de espesor.

3 TEST DE RESPUESTA GEOTÉRMICA

3.1 TRABAJO DE CAMPO

El lunes 6 de mayo de 2019, se inicia el Test, y se finaliza el martes 7 de mayo de 2019.

Antes del comienzo del Test se realiza una medición del perfil de temperaturas a lo largo de todo el sondeo, con un intervalo de 2 m entre cada medición, para poder medir la temperatura sin injerencia del terreno.

3.2 INFORMACIÓN GENERAL SOBRE EL TEST DE RESPUESTA GEOTÉRMICO (TRG / TRT)

A la hora de diseñar intercambiadores de calor verticales para Almacén de Energía Térmica Subterráneo (UTES) o como Fuente (de energía) Terrestre en Bombas de Calor Geotérmicas (GSPH), lo más importante es el conocimiento de las propiedades térmicas del subsuelo. En pequeñas plantas (viviendas unifamiliares), estos parámetros normalmente son estimados. Sin embargo, para plantas mayores, edificios de viviendas, centros comerciales, tanto UTES como GSPH, el parámetro de conductividad térmica debe ser medido in situ.

Un sondeo, aprovechable como parte del proyecto, puede ser usado para calcular la conductividad térmica del subsuelo por dos métodos:

- Muestreo de suelo sin injerencia (la perforación); de esta manera todas y cada una de las unidades litológicas tienen que ser muestreadas y su contenido natural en agua medido y evaluado.
- Test de respuesta geotérmico, este ensayo se realiza in situ sobre el intercambiador vertical instalado en el sondeo.

De los métodos propuestos, la complejidad del primer método hace que en la práctica casi no se utilice. El Test de Respuesta Geotérmico como instrumento aporta de forma rápida y también precisa una determinación de los parámetros geotérmicos del suelo. La principal ventaja de un Test de Respuesta Geotérmica es la grabación in situ de la temperatura sobre la longitud total de la perforación y también la inclusión exacta de las condiciones del terreno sin injerencia, el relleno del sondeo y el posible flujo de agua subterránea. En el diseño de instalaciones geotérmicas de tamaño medio, éste puede ser optimizado y apoyado con los datos aportados por medición del TRG. (SANNER et al, 1999).

Para un test de respuesta térmico, se realiza una carga térmica definida que se introduce en el intercambiador vertical (sonda) y el resultado de los cambios de temperatura de la circulación del fluido son medidos y evaluados interpretando los distintos valores gráficos tabulados.

Basado en los trabajos teóricos de CHOUDARY (1976); MOGENSEN (1983); CLAEISSON et al., (1985); CLAEISSON y ESKILSON (1988); HELLSTRÖM (1991), el Test de Respuesta Geotérmico ha sido desarrollado y testado satisfactoriamente en la University of Technology en Luleå, Suecia, en la mitad de la década de los 90 (EKLÖF & GEHLIN, 1996). Similar desarrollo realizado desde los Estados Unidos (Oklahoma State University, Stillwater OK) se produce sobre la misma época (AUSTIN, 1998). Un tanto diferente fue el enfoque dado en Holanda con el enfriamiento del subsuelo por medio de la bomba de calor (VAN GELDER et al., 1999). El comportamiento dinámico de la bomba de calor es problemático por este método. La figura 3 muestra una instalación típica de Test.

En los años siguientes, el Test de Respuesta Geotérmico (GeRT) se ha convertido en un mecanismo móvil y versátil que se ha mejorado, modificado y difundido sobre varios países (SANNER, 2001). Hoy el TRG es un instrumento con el que es posible determinar los parámetros geotérmicos del subsuelo de una forma rápida y muy precisa.

Un resumen de los desarrollos técnicos a nivel mundial es dado en SANNER et al. (2005).

3.3 BASE DE CÁLCULO

La mejor manera de evaluar el test de respuesta térmica es hacer uso de la teoría "de la línea de la fuente". Esta teoría fue aplicada en los años cuarenta para el cálculo de sistemas geotérmicos, para grabar los cambios de temperatura en el terreno en función del tiempo (INGERSOLL & PLASS, 1948; q.v. SANNER, 1992, 1-9 hasta 1-14 y 7-4 hasta 7-8). La fórmula básica original (1948), en unidades físicas, es la siguiente:

$$T - T_0 = \frac{Q'}{2\pi k} \cdot \int_x^\infty \frac{e^{-\beta^2}}{\beta} d\beta = \frac{Q'}{2\pi k} I(X)$$

Donde:

$$X = r \sqrt{2k/\alpha_p} t$$

T Temperatura del terreno a lo largo de la sonda geotérmica, en °F.

T₀ Temperatura del terreno en inicio, en °F.

Q' Potencia térmica de salida en la sonda (neg. calor de entrada), en BTU/h por pies de sonda.

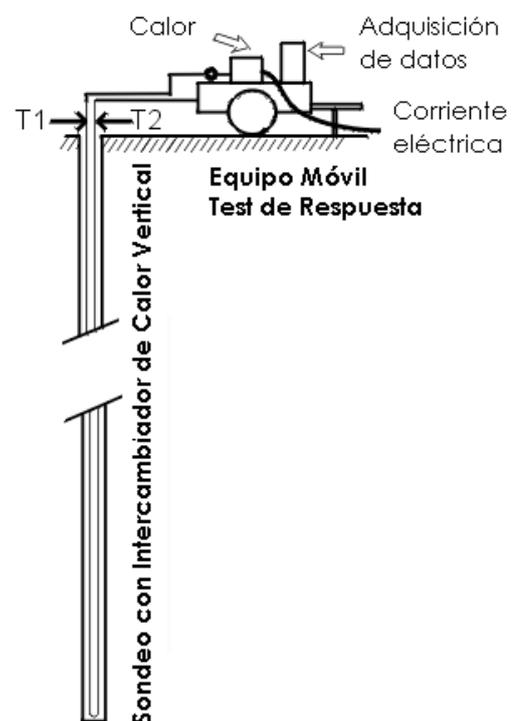


Figura 3. Instalación de Test para un Ensayo de Respuesta Geotérmico

- k Conductividad térmica del terreno, en BTU/h. ft².°F/ft.
- β Constante de integración.
- r Distancia al punto central de la sonda, en pies.
- ρ Densidad del terreno, en libras por metro cúbico.
- c Calor específico del terreno, en BTU por libra y °F.
- t Inicio del test, en horas.

El criterio de tiempo mínimo ayuda a encontrar el estilo adecuado de las curvas de temperatura. Básicamente la curva de temperatura tiene que ser además chequeada, porque el gradiente afecta en gran medida la evaluación del test.

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. Si la gráfica es muy constante, puede interpretarse un valor de conductividad térmica exacto mediante periodos relativamente cortos de medida.

Otra manera o método de calcular la conductividad es mediante la obtención de una curva ajustada estadísticamente y su comparación entre los valores medidos y los valores calculados a lo largo del ensayo.

El criterio del método estadístico pretende una función modelo que ajuste la curva con valores de coeficientes de correlación y determinación elevados y con valores de desviación típica y varianza que tiendan a cero.

3.4 EVALUACIÓN DEL TEST

3.4.1 DATOS BASE

- Longitud efectiva Sondas Geotérmicas: 100 m
- Tipo Sonda Geotérmica: HDPE-Doble-U
(4x32 mm)
- Diámetro medio de la perforación 0,140 m
- Duración del Test: 28 h 20 min
(101.999 s)

3.4.2 MEDICIÓN DE DATOS

La siguiente gráfica muestra el desarrollo de las curvas de temperatura en el intercambiador enterrado durante todo el periodo de duración del test.

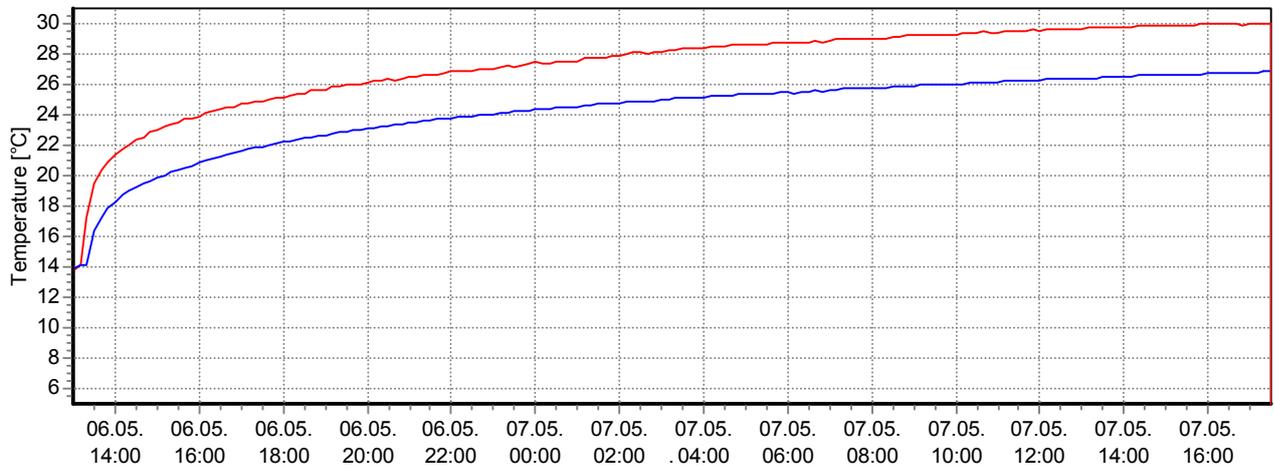


Figura 4. Periodo de evaluación del Test de Respuesta Geotérmico.

- Potencia de salida 5.224 W ± 4,03 %
 - Energía (28 h 20 min) 148 kWh
 - Temperatura inicial del terreno (t_0) 14,6 °C
- (Valor medio a lo largo de 100 m de sonda)

El siguiente gráfico muestra el desarrollo de la potencia térmica durante todo el periodo de ejecución del test.

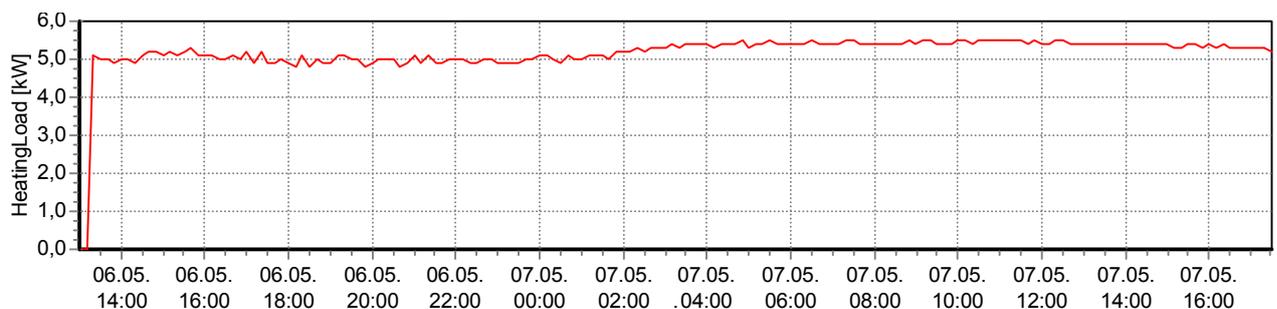


Figura 5. Evolución de energía suministrada al Ensayo de Respuesta Geotérmico

Se observa en la gráfica anterior que no ha habido cortes en el suministro eléctrico durante la prueba, por lo que todo el periodo del ensayo se puede considerar como válido.

3.4.3 PROCESO DE EVALUACIÓN

La evaluación del Test se lleva a cabo mediante el programa GeRT-CAL. La evaluación algorítmica se basa en la teoría de la línea de la fuente (véase apartado 3.3).

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. Un continuo crecimiento de la curva indica un elevado flujo de agua subterránea.

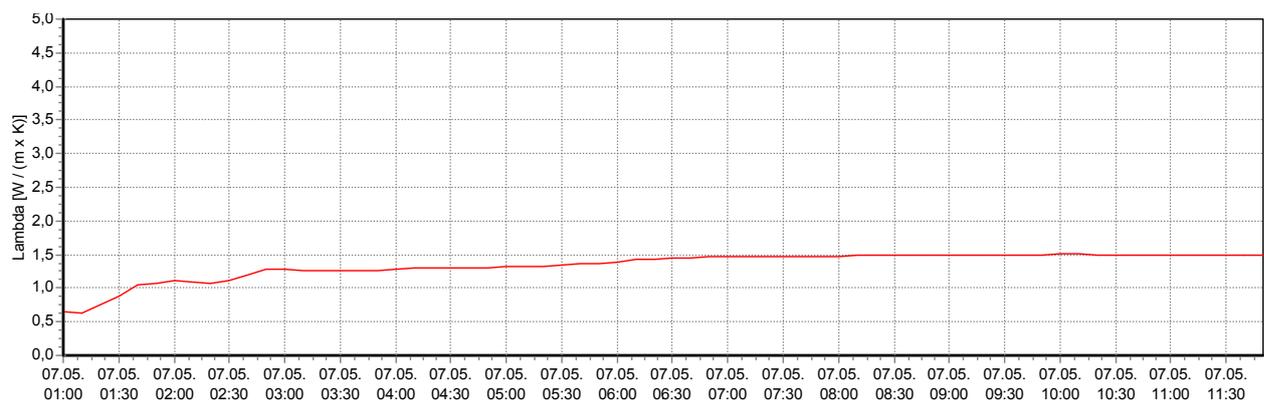


Figura 6. Evolución del valor de Conductividad Térmica

La gráfica anterior muestra los resultados para el proceso de evaluación del Ensayo de Respuesta Geotérmica, en la que el desarrollo lineal de la curva muestra un resultado final del Test estable de:

$$\lambda_{\text{eff}} = 1,51 \text{ W/(m K)}$$

Para la resistividad térmica de la perforación ha sido calculado el valor:

$$R_b = 0,102 \text{ (m K)/W}$$

A continuación se muestra la gráfica comparativa entre los valores medidos y los valores calculados en la curva ajustada a través de la función modelo, referido a valores promedio de temperatura.

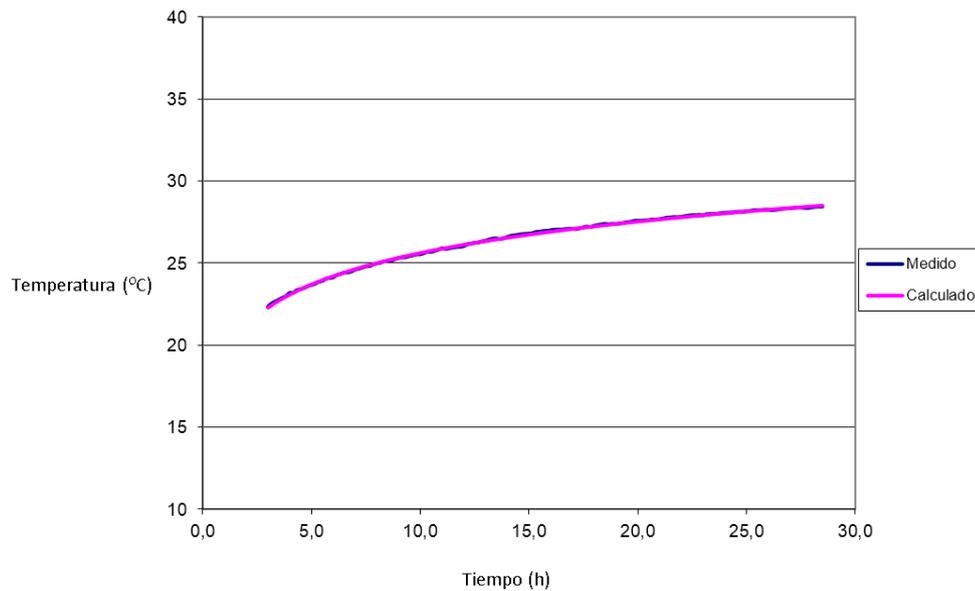


Figura 7. Gráfica comparativa entre valores medidos y valores calculados en la curva de la función modelo.

Los valores estadísticos arrojados por los cálculos son:

Coefficiente de correlación (r) 0,99957144

Coefficiente de determinación (R^2) 0,99914306

Desviación típica (σ) 0,044

El valor de R^2 representa la relación lineal entre los valores medidos y la curva de regresión. Para lo cual se ha considerado una dispersión del 99,9% de los valores en ordenadas a través de la relación lineal con el valor en abscisas.

En la siguiente figura se muestran las desviaciones en los valores de temperatura de la curva modelo respecto de los valores medidos.

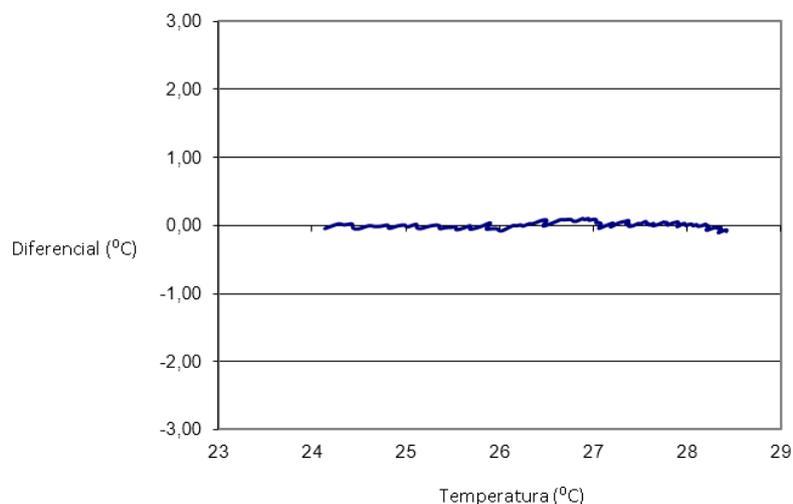


Figura 8. Diferencia de los valores entre la curva modelo y los medidos.

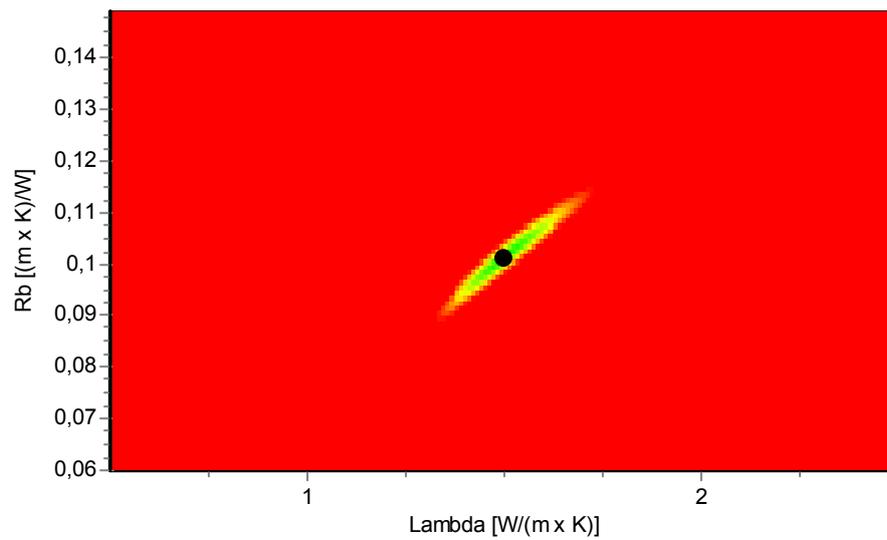


Figura 9. Representación gráfica de la nube de puntos de los valores de conductividad térmica y resistividad para el cálculo de las estadísticas de temperatura.

3.4.4 PERFIL DE TEMPERATURA

Se ha realizado un perfil de temperatura y profundidad en la sonda geotérmica antes de iniciar el test con el fin de evaluar la temperatura sin injerencia del terreno. El intervalo de medida fue de 2 m. Los datos registrados se muestran en la figura 10.

$$T_0 = 14,6 \text{ }^\circ\text{C}$$

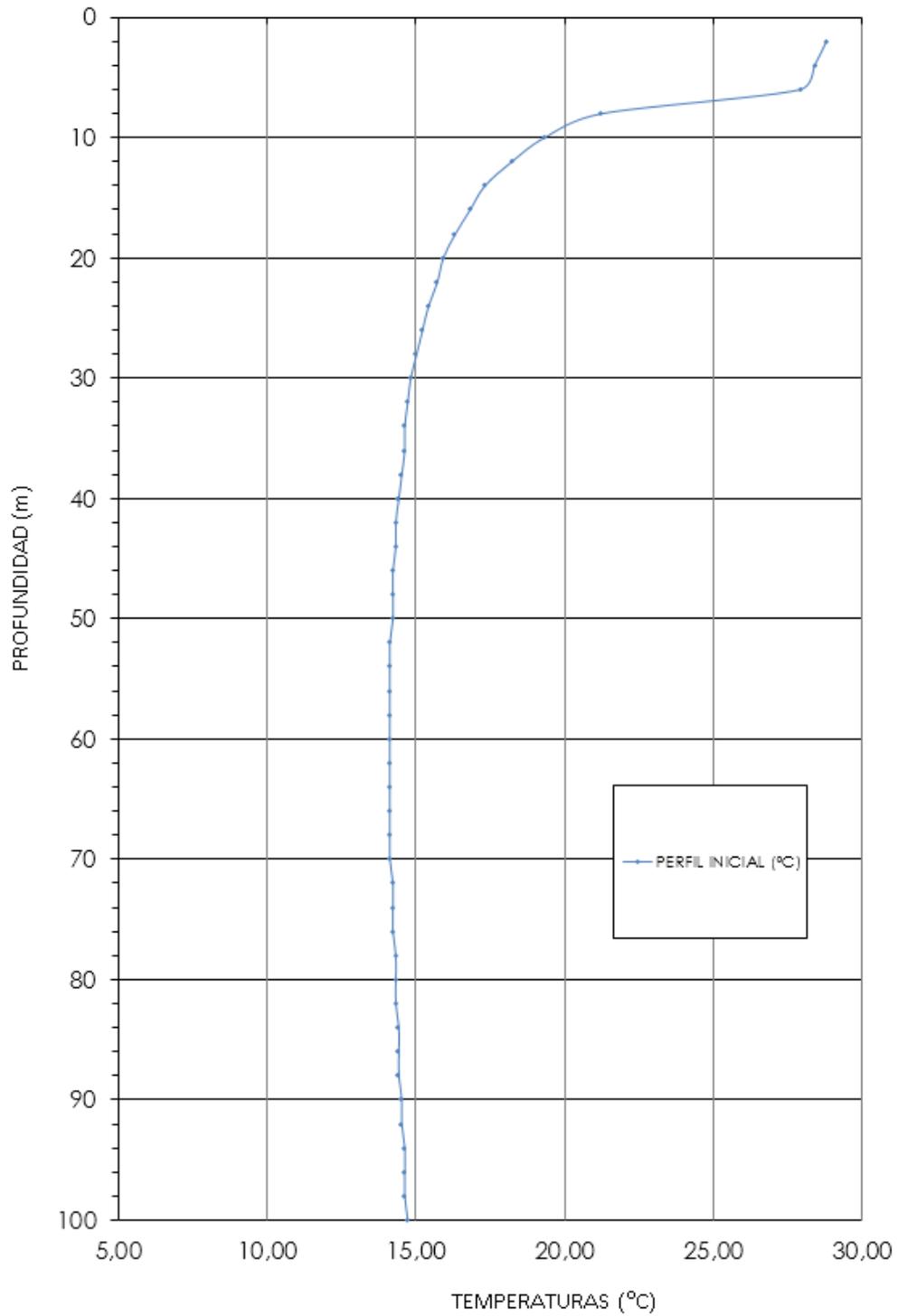


Figura 10. Perfil de Temperatura en el sondeo sin injerencia.

4 ANÁLISIS DE ERROR

Con una evaluación sistemática de las diferentes fuentes de error se obtiene un marco común para la evaluación de la calidad del equipo del Test de Respuesta Térmica así como de los resultados del ensayo. Esto permite una mejor evaluación y garantía de los valores para el diseño final del campo de captación geotérmico.

Para hacer un análisis de error completo, en la estimación de los parámetros térmicos, no es suficiente con determinar el error en los sensores de medida del equipo. Según Henk J.L. Witte, 2010, ha de estar compuesto de:

- Análisis de errores de medida referidos al equipo utilizado (calibración del equipo).
- Análisis de errores en los parámetros medidos de forma independiente, o estimados, tales como longitud del intercambiador geotérmico, diámetro del sondeo, etc.
- Propagación de los errores individuales y del método por el cual son combinados.
- Análisis de error del modelo de evaluación utilizado (como el intervalo de confianza del coeficiente de regresión o el error en los métodos de análisis numérico).

La base para el análisis de error es un buen conocimiento de la ecuación de la Teoría de la Línea de la Fuente (descrita en el punto 3.3), cuantificando cada error individual para todos los términos que aparecen, sean valores medidos por un sensor, valores estimados o valores estadísticos.

Finalmente han de combinarse todos estos errores individuales de la manera correcta, en base a su relevancia, con el fin de obtener el error compuesto.

| PARÁMETRO | Id | Ud | VALOR | FUENTE U | DISTRIBUCIÓN |
|---------------------------|------------------|-------------------|-----------|--|--|
| Temperatura Ida | T _{in} | °C | 16 a 40 | Calibración Resolución Deriva Estabilidad | Normal Uniforme Uniforme Uniforme |
| Temperatura Retorno | T _{out} | °C | 13 a 37 | Calibración Resolución Deriva Estabilidad | Normal Uniforme Uniforme Uniforme |
| Caudal Volumétrico | V/t | m ³ /h | 1,5 a 2,3 | Calibración Resolución Deriva Estabilidad | Normal Uniforme Uniforme Uniforme |
| Densidad agua | ρ | kg/m ³ | 995,9 | Tabla Interpolación Uniformidad | Uniforme Uniforme Uniforme |
| Calor específico del agua | C _p | J/kg·K | 4181,9 | Tabla Interpolación Uniformidad | Uniforme Uniforme Uniforme |

| | | | | | |
|----------------------------|----------------|----|-----------|---|--|
| Longitud del sondeo | H | m | 50-300 | Tramo horizontal Elasticidad Media | Uniforme Uniforme Uniforme |
| Coefficiente k | k | K | 1,85446 | Estadístico Residuo | Normal Uniforme |
| Temperatura sin injerencia | T ₀ | °C | 11-20 | Calibración Resolución Deriva Estabilidad Uniformidad | Normal Uniforme Uniforme Uniforme Uniforme |
| Radio del sondeo | r ₀ | m | 0,065-0,1 | Calibración Resolución Deriva Estabilidad Uniformidad | Normal Uniforme Uniforme Uniforme Normal |

Tabla 1. Parámetros analizados en el cálculo de incertidumbre del Test de Respuesta Térmica.

El resultado final del análisis de error, considerando la incertidumbre de cada uno de los parámetros que influyen en el cálculo es:

$$\lambda \pm 0,108 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$$

$$R_b \pm 0,015 \text{ (m} \cdot \text{K)}/\text{W}$$

5 DISEÑO DEL CAMPO DE CAPTACIÓN GEOTÉRMICO

Los datos de demanda energética y su distribución a lo largo del año, así como la carga pico de la potencia necesaria para el suministro de climatización del edificio Nuevo CEIP Villimar han sido aportados por el cliente a través de "Imv arquitectura".

Dichos datos de climatización han supuesto la imprescindible base para el cálculo y diseño del sistema de captación geotérmica mediante sondeos verticales, con objeto de aportar la energía necesaria para suministrar un determinado régimen de caudal y temperaturas a la planta condensada por agua en la climatización del recinto.

Para determinar el número de sondeos, profundidad y configuración se parte de los datos de climatización y máquina a instalar, y se procede a la simulación del comportamiento térmico del subsuelo a lo largo de los años para asegurar el correcto funcionamiento de la instalación. Dicho cálculo se ejecuta mediante programas matemáticos para el diseño de intercambiadores verticales.

El citado diseño se ha realizado mediante la interpretación sobre un modelado de simulación matemática en la cual se determinan parámetros límite como temperaturas de funcionamiento, balance energético, así como la influencia del flujo geotérmico, la capacidad térmica volumétrica y la interacción térmica entre ejes de pozos.

El programa de cálculo ha sido desarrollado conjuntamente por el Institut für Angewandte Geowissenschaften de Justus-Liebig-University, Giessen, Alemania, y el Department Mathematical Physics de Lund University, Suecia (Hellström & Sanner, 1994; Hellström et al., 1997).

Para la interpretación de los gráficos en el desarrollo de las temperaturas se ha de tener en cuenta que las temperaturas mostradas son las temperaturas medias del fluido caloportador, es decir, con un ΔT en K entre la ida y el retorno, salvando la distancia en una variación de + 50% en modo evaporación y -50% en modo condensación. Referido siempre en el lado de la captación geotérmica en las líneas mostradas en los gráficos.

Algunos de los parámetros del programa de simulación del campo de captación son:

| | |
|---|--|
| Número de configuraciones posibles | 308 |
| Número de g-funciones | 2465 |
| Tipos de BHE | Coaxial (concéntrica), U-Pipe (simple, doble, triple) |
| Horquilla de profundidad | 20 - 200 m |
| Ratio distancia / profundidad | $0,02 \leq \frac{B}{H} \leq 0,5$ |
| intervalo de tiempo (t' = tiempo adimensional) | $-4,5 \leq \ln(t') \leq 3$ con: $t' = \frac{t}{t_s}$ y $t_s = \frac{H^2}{9a}$ |
| Criterio de tiempo inicial | $0,5 \cdot E_1 \frac{r_b^2}{4at}$ |

Tabla 2. Parámetros más relevantes del programa de cálculo.

En el caso de que los datos de demanda se modificasen, esta simulación no sería de aplicación, por lo que tendría que revisarse.

5.1 SIMULACIÓN 1.

En este caso se ha simulado el campo de captación necesario para suministrar la energía total demandada por el edificio mediante una instalación geotérmica con una potencia instalada de 203 kW.

TERRENO

| | | |
|---------------------------------------|--------------------|---------|
| Conductividad | 1,51 | W/(m·K) |
| T ₀ | 14,6 | °C |
| Profundidad sondeos | 140 | m |
| Tipo de sondas | Doble U | |
| Diámetro sondas | 4 x 32 | mm |
| Diámetro medio del sondeo | 145 | mm |
| Material de relleno | Mortero geotérmico | |
| Conductividad del material de relleno | 1,8 | W/(m·K) |

EDIFICIO

| | | |
|---------------------------------|--------|-----|
| Potencia Bomba de Calor B0/W35 | 203 | kW |
| Energía anual calefacción | 90,980 | MWh |
| Potencia Bomba de Calor B35/W18 | 50 | kW |
| Energía anual refrigeración | 25,103 | MWh |

CAPTACIÓN

| | | |
|---|--------------------------|-----|
| Configuración | 18 sondeos en cuadrícula | |
| Separación mínima entre ejes de sondeos | 8 | m |
| Longitud de intercambio total | 2.520 | m |
| Fluido caloportador | Monopropilenglicol | |
| Caudal mínimo de fluido por pozo | 0,720 | l/s |

- Gráficas del comportamiento del fluido

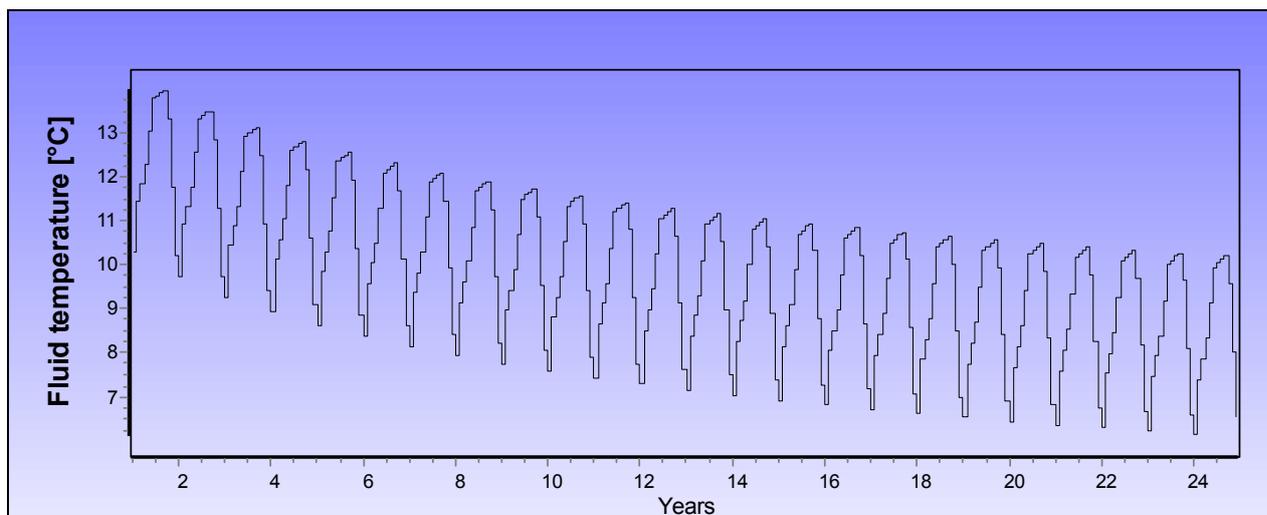


Figura 11. Temperatura media del fluido caloportador a lo largo de 30 años.

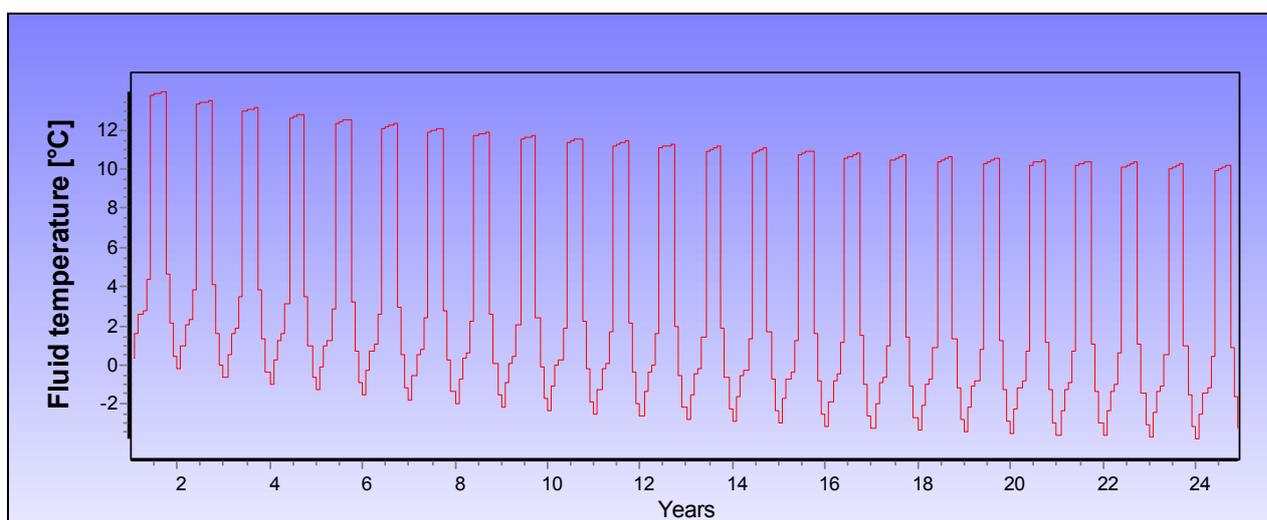


Figura 12. Temperatura mínima del fluido caloportador a lo largo de 30 años.

Las gráficas anteriores muestran la temperatura del fluido en el punto medio del sondeo por lo que, la temperatura de entrada del fluido caloportador a la bomba de calor es de al menos $0,5^{\circ}\text{C}$ por encima de la marcada en las gráficas.

Con esta configuración la temperatura media de trabajo y el rendimiento de las bombas de calor son las adecuadas para la potencia estimada de la instalación.

5.2 SIMULACIÓN 2.

En este caso se ha simulado el campo de captación necesario para suministrar la energía total demandada por el edificio mediante una instalación geotérmica con una potencia instalada de 100 kW.

TERRENO

| | |
|---------------------------------------|--------------------|
| Conductividad | 1,51 W/(m·K) |
| T ₀ | 14,6 °C |
| Profundidad sondeos | 140 m |
| Tipo de sondas | Doble U |
| Diámetro sondas | 4 x 32 mm |
| Diámetro medio del sondeo | 145 mm |
| Material de relleno | Mortero geotérmico |
| Conductividad del material de relleno | 1,8 W/(m·K) |

EDIFICIO

| | |
|---------------------------------|------------|
| Potencia Bomba de Calor B0/W35 | 100 kW |
| Energía anual calefacción | 90,980 MWh |
| Potencia Bomba de Calor B35/W18 | 50 kW |
| Energía anual refrigeración | 25,103 MWh |

CAPTACIÓN

| | |
|---|--------------------------|
| Configuración | 13 sondeos en cuadrícula |
| Separación mínima entre ejes de sondeos | 8 m |
| Longitud de intercambio total | 1.820 m |
| Fluido caloportador | Monopropilenglicol |
| Caudal mínimo de fluido por pozo | 0,720 l/s |

- Gráficas del comportamiento del fluido

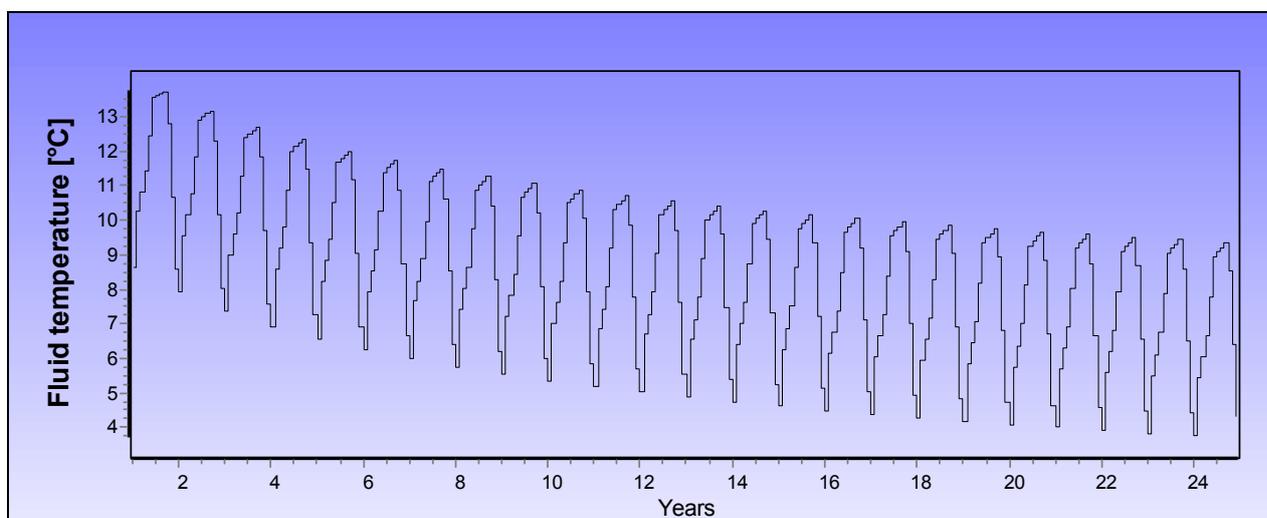


Figura 13. Temperatura media del fluido caloportador a lo largo de 30 años.

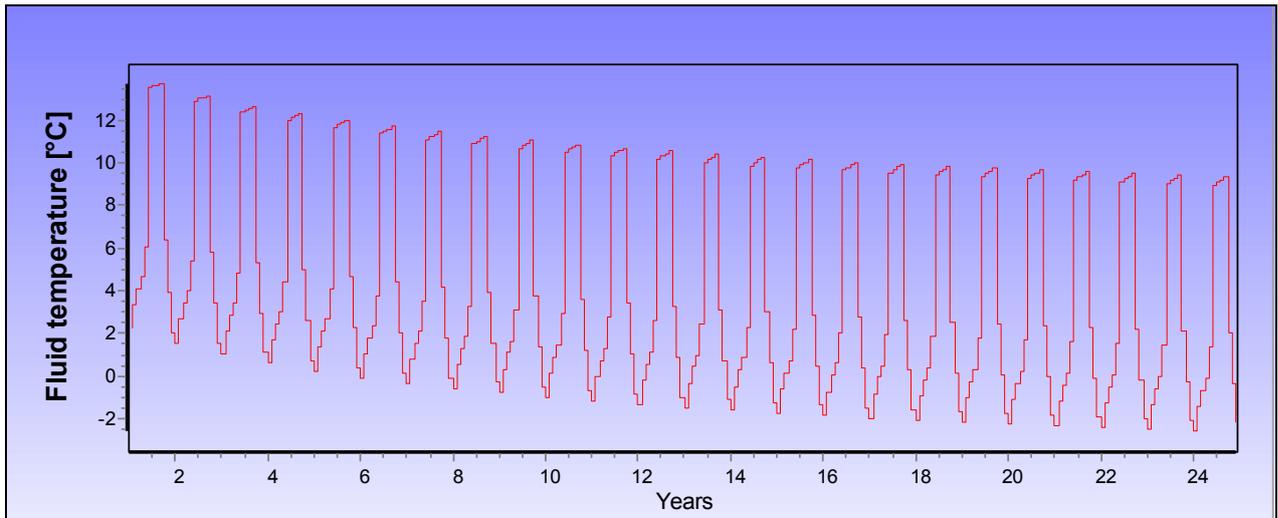


Figura 14. Temperatura mínima del fluido caloportador a lo largo de 30 años.

Al igual que en el caso anterior, la temperatura del fluido a la entrada de la bomba de calor es de al menos 0,5°C por encima de la marcada en las gráficas y la temperatura media de trabajo y el rendimiento de las bombas de calor son las adecuadas para la potencia requerida por la instalación.

6 CONCLUSIONES

De todo lo anteriormente expuesto se concluye que, la propuesta de campo de captación geotérmico para la **climatización del edificio del Nuevo CEIP de Villimar, Burgos**, y una instalación geotérmica con una bomba de calor de **potencia térmica 203 kW**, es de **18 sondeos de 140 m de profundidad de intercambio efectivo y 8 m de separación entre ejes**, según configuración detallada en el apartado 5.1, ya que está dentro de los rangos de temperatura de trabajo estimados para la bomba de calor geotérmica.

En la propuesta de una instalación geotérmica con una bomba de calor de **potencia térmica 100 kW**, el campo de captación necesario es de **13 sondeos de 140 m de profundidad de intercambio efectivo y 8 m de separación entre ejes**, según configuración detallada en el apartado 5.2.

Este estudio técnico únicamente es válido de manera integral, es decir, en su totalidad. En el caso de que los datos de demanda térmica se modificasen, esta simulación no sería de aplicación, por lo que tendría que revisarse.

En Burgos, a 10 de mayo de 2019

La Ingeniera de Minas



Fdo: Dña. Lucía Novelle Varela

El Ingeniero de Montes



Fdo: D. Alfredo Fernández Pérez

7 FOTOS



Figura 15. Test de Respuesta Térmica en Villimar, Burgos. 06.05.2019

8 INFORMACIÓN DISPONIBLE Y BIBLIOGRAFÍA

- NORMA UNE 100715-1. MAYO 2014. DISEÑO, EJECUCIÓN Y SEGUIMIENTO DE UNA INSTALACIÓN GEOTÉRMICA SOMERA. PARTE 1: SISTEMAS DE CIRCUITO CERRADO VERTICAL.
- CARLOS LÓPEZ JIMENO, "MANUAL DE SONDEOS", UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID.
- IGME "MAPA GEOLÓGICO DE BURGOS" A ESCALA 1:50.000 Y MEMORIA EXPLICATIVA.
- HERNÁNDEZ RUIZ, M. (1992) "HIDROLOGÍA Y GEOTECNIA" CURSO DE HIDROLOGÍA NOEL LLOPIS. MADRID.
- JULIVERT, M; FONBOTÉ, J. M.; RIBEIRO, A. Y CONDE, L. (1974). "MEMORIA EXPLICATIVA DEL MAPA TECTÓNICO DE LA PENÍNSULA IBÉRICA Y BALEARES" E. 1:1.000.000"; IGME.
- VERA, J. A. ET COL. (2004). "GEOLOGÍA DE ESPAÑA". SGE-IGME, MADRID. E.
- ESKILSON, P. & CLAESSON, J. (1988): SIMULATION MODEL FOR THERMALLY INTERACTING HEAT EXTRACTION BOREHOLES. - NUMERICAL HEAT TRANSFER 13, S. 149-165
- HELLSTRÖM, G. & SANNER, B. (1994): Software for dimensioning of deep boreholes for heat extraction. - Proc. CALORSTOCK 94, S. 195-202, Espoo/Helsinki.
- HELLSTRÖM, G., SANNER, B., KLUGESCHIED, M., GONKA, T. & MÅRTENSSON, S. (1997): Experiences with the borehole heat exchanger software EED. - Proc. MEGASTOCK 97, S. 247-252, Sapporo.
- SANNER, B., REUSS, M. & MANDS, E. (1999): Thermal Response Test - eine Methode zur In-Situ-Bestimmung wichtiger thermischer Eigenschaften bei Erdwärmesonden. - Geothermische Energie 24-25/99, S. 29-33, Geeste.
- Sanner, B. (2001): Entwicklung und Stand des mobilen Thermal Response Test. - in: Eugster, W. & Laloui, L., Proc. Workshop Geothermische Response Tests Lausanne, S. 11-20, GtV, Geeste.
- VDI 4640 (2001): Thermische Nutzung des Untergrunds, Bl. 1 und Bl. 2. – Beuth-Verlag, Berlin.