

ANEJO 6:

ESTUDIO GEOTÉRMICO A REALILZAR

El presente Anejo tiene como objeto la propuesta del ensayo térmico que debería ser realizado para determinar parámetros térmicos del suelo, tales como: la conductividad térmica, la difusividad térmica, la evolución temporal de la temperatura y su resistencia térmica.

Contenido

1	OBJETO.....	2
2	ENSAYO DE CONDUCTIVIDAD TÉRMICA.	3
2.1	CONDICIONES PARA EL ENSAYO DE CONDUCTIVIDAD TÉRMICA..	6
3	DIFUSIVIDAD TÉRMICA Y RESITENCIA TÉRMICA.....	8
4	CAPACIDAD TÉRMICA.	9
5	EVOLUCIÓN TEMPORAL DE LAS TEMPERATURAS.	10

1 OBJETO.

El presente Anejo tiene como objeto la propuesta del ensayo térmico que debería ser realizado para determinar parámetros térmicos del suelo, tales como: la conductividad térmica, la difusividad térmica, la evolución temporal de la temperatura y su resistencia térmica.

La correcta realización e interpretación del ensayo mejoraría la eficiencia y fiabilidad del intercambiador geotérmico, en cuanto a su contribución en el ahorro de energía de la bomba de calor geotérmica

2 ENSAYO DE CONDUCTIVIDAD TÉRMICA.

Uno de los ensayos más importantes es el de la conductividad térmica, pues influye en gran medida en la longitud del intercambiador geotérmico necesaria.

Se define la conductividad térmica como la propiedad intrínseca del material que determina su capacidad para conducir un flujo de calor. Sus unidades son el W/(m*K) y se puede definir como la cantidad de calor que atraviesa un espesor de 1 metro de material, como consecuencia del incremento de temperatura de 1 K entre los extremos del material. La siguiente expresión se puede representar matemáticamente de la siguiente forma.

$$Q_x = -\lambda \cdot A \cdot \frac{dT}{dx} \quad (6.1)$$

Donde λ es la conductividad térmica del material.

Según el modelo de análisis de fuente lineal continua simplificado, el flujo de temperatura en función del tiempo puede representarse tal y como se muestra a continuación:

$$T_f(t) = \frac{Q}{4 \cdot \pi \cdot \lambda \cdot H} \cdot \ln t + \left[\frac{Q}{H} \cdot \left(\frac{1}{4 \cdot \pi \cdot \lambda} \cdot \left(\ln \left(\frac{4 \cdot \alpha}{r_b^2} \right) - \gamma \right) - R_b \right) + T_0 \right] \quad (6.2)$$

Donde:

T_f : Es la temperatura media del fluido de trabajo en Kelvin.

Q : Es la potencia inyectada en Watios.

λ : Es la conductividad térmica en W/(m*K).

H : Es la profundidad del orificio en metros.

t : Es el tiempo en segundos después de la aplicación de calor.

α : Es la difusividad térmica en m²/s.

r_b : Es el radio del orificio en metros.

γ : Es la constante de Euler, con un valor de 0.5772.

R_b : Es la resistencia térmica del terreno en K/(W*m).

T_0 : Es la temperatura no perturbada de la tierra en Kelvin.

La ecuación es válida para valores de t que cumplan la siguiente condición.

$$t \geq \frac{5 \cdot r_b^2}{\alpha} \quad (6.3)$$

Se puede apreciar que la ecuación (6. 4), se puede representar como una recta en el plano semilogarítmico, simplificándola de la siguiente forma.

$$T_f(t) = m \cdot \ln t + n \quad (6. 4)$$

Por tanto, si introducimos una fuente de calor cilíndrica de pequeño diámetro en el terreno a una profundidad H e inyectamos una tasa de calor constante, podremos representar los datos en una gráfica como la siguiente:

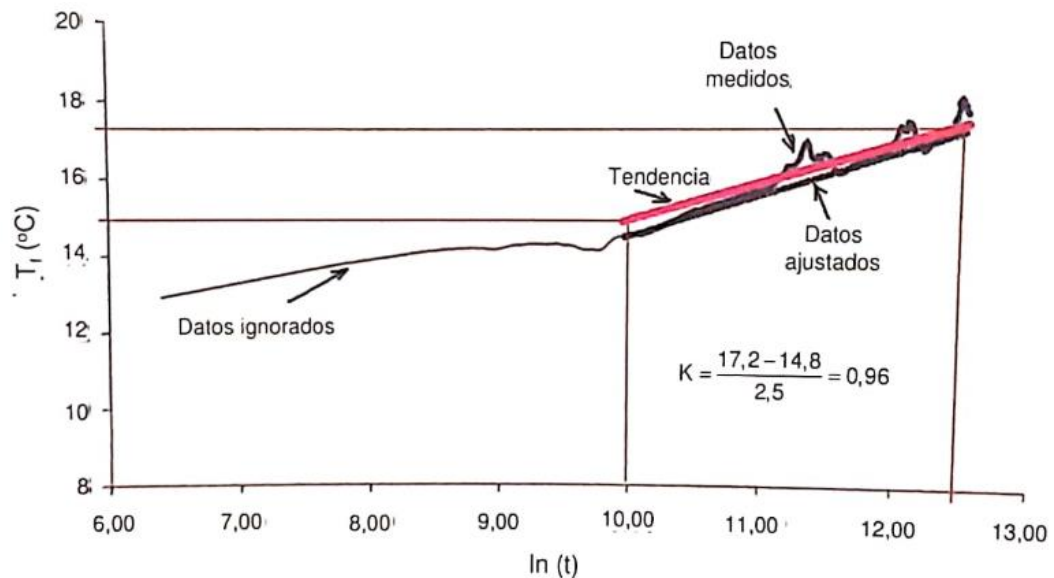


Fig. 3.14 Pendiente efectiva de la conductividad térmica
Fuente: Universidad Tecnológica Lulea Suecia

Figura 6. 1. Representación de los datos obtenidos del ensayo. Energía Geotérmica de Baja Temperatura, Antonio Creus Solé. Figura 3.14.

Una vez determinada la pendiente “m” de la recta, se puede calcular la conductividad térmica según la expresión anterior.

$$\lambda = \frac{Q}{4 \cdot \pi \cdot m \cdot H} \quad (6. 5)$$

2.1 CONDICIONES PARA EL ENSAYO DE CONDUCTIVIDAD TÉRMICA.

El ensayo se inicia inyectando un flujo de calor a un intercambiador vertical en forma de U enterrado en el terreno, a través del cual puede fluir agua con una temperatura máxima de 35°C. Una vez se equilibra la temperatura del intercambiador, en unas 12 o 15 horas, se empiezan a registrar los datos de la temperatura del fluido y del tiempo transcurrido desde el inicio del ensayo.

La temperatura del fluido se calcula como la media entre la temperatura de entrada del fluido al intercambiador enterrado.

El flujo de calor necesario es de entre unos 40 o 50 Watios por metro de perforación.

Para que los resultados del ensayo sean válidos se ha de tener una exactitud en la mediciones de temperatura de 0.3°C, además de contar con una fuente de energía estable para el aporte de calor, con una variación máxima de ± 1.5 % de la potencia media.

Además se ha de limitar el incremento de temperaturas entre la entrada y la salida a 4°C, de la misma forma que se limita para el circuito primario en el Anejo 8.

La toma de datos se ha de hacer con una cadencia mínima de 10 minutos.

La perforación debe ser revestida de bentonita para evitar flujos de agua que puedan perturbar las mediciones del ensayo.

Cuando el ensayo se realiza en suelos donde se espera una baja conductividad, se deben esperar 5 días para realizar el ensayo una vez instalado el intercambiador en U, mientras que para terrenos de alta conductividad, se ha de esperar 3 días.

La duración del ensayo está entre las 36 y 48 horas.

La exactitud para el valor de la conductividad térmica, si se cumplen todas las condiciones anteriores puede estar cercana a media centésima del valor en $W/(m \cdot K)$.

3 DIFUSIVIDAD TÉRMICA Y RESITENCIA TÉRMICA.

A partir del ensayo de conductividad térmica se puede obtener la difusividad térmica y la resistencia térmica por medio de las siguientes expresiones.

$$n = \left[\frac{Q}{H} \cdot \left(\frac{1}{4 \cdot \pi \cdot \lambda} \cdot \left(\ln \left(\frac{4 \cdot \alpha}{r_b^2} \right) - \gamma \right) - R_b \right) + T_0 \right] \quad (6. 6)$$

Donde n es la ordenada en el origen de la recta deducida del ensayo de conductividad térmica.

$$R_b = \frac{H}{Q} \cdot (T_f - T_0) - \frac{1}{4 \cdot \pi \cdot \lambda} \cdot \left(\ln \left(\frac{4 \cdot \alpha \cdot t}{r_b^2} \right) - \gamma \right) \quad (6. 7)$$

4 CAPACIDAD TÉRMICA.

La capacidad térmica o capacidad calorífica se define como la relación entre el calor suministrado y la variación de temperatura del sistema, definida por la siguiente expresión.

$$C = \frac{dQ}{dT} \quad (6.8)$$

Las unidades de la capacidad térmica son J/(m³*K).

La capacidad térmica y la conductividad térmica están relacionadas por la difusividad térmica, que se define como el cociente entre la conductividad y la capacidad, con unidades de m²/s.

5 EVOLUCIÓN TEMPORAL DE LAS TEMPERATURAS.

Además del ensayo de conductividad térmica, sería conveniente contar con mediciones de la temperatura del terreno a diferentes profundidades durante el transcurso de un año, para así poder conocer con exactitud la amplitud de la onda, el desfase temporal y la temperatura media real del terreno. Con estos datos fiables, la longitud del intercambiador proyectada podría optimizarse al máximo y regular mejor los ciclos de calefacción y refrigeración en función de las necesidades para la demanda energética.