



A&P Geotermia
Auditorías y Proyectos Geotérmicos

**INFORME DE TEST DE RESPUESTA
TÉRMICA DEL TERRENO -TRT- PARA
FUTURA INSTALACIÓN DE
CLIMATIZACIÓN GEOTÉRMICA DE
BAJA ENTALPÍA EN AVENIDA
PRÍNCIPE DE ASTURIAS 51
T.M. ZAMORA (ZAMORA)**

Cliente:

DIRECCIÓN GENERAL DE
CENTROS, PLANIFICACIÓN Y
ORDENACIÓN EDUCATIVA DE LA
CONSEJERÍA DE EDUCACIÓN DE
CASTILLA Y LEÓN

Juan Pablo Mariño Merizalde
Ingeniero de Minas



ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN	2
2. METODOLOGÍA.....	2
3. LOCALIZACIÓN.....	2
4. ECUADRE GEOLÓGICO	3
5. BASE TEÓRICA DEL ESTUDIO	8
5.1 CONDUCTIVIDAD TÉRMICA Y RESISTIVIDAD	8
5.2 TEST DE RESPUESTA TÉRMICA IN SITU	9
6. TEST DE RESPUESTA TÉRMICA DEL TERRENO	11
6.1 PERFORACIÓN GEOTÉRMICA	11
6.2 TEMPERATURA ESTABLE DEL TERRENO	12
6.3 DATOS OBTENIDOS	14
7. ANÁLISIS DE DATOS.....	15
8. RESULTADOS DEL ESTUDIO.....	16
9. COMPROBACIÓN DE DATOS POR COMPARACIÓN CON MODELADO INVERSO.....	17
10. CONCLUSIONES	18

Anexo 1: ACOTACIÓN DE LOS VALORES DE LA CONDUCTIVIDAD TÉRMICA EFECTIVA λ Y RESISTIVIDAD R_b EN FUNCIÓN DE LA DIFUSIVIDAD

Anexo 2: IMÁGENES



1. INTRODUCCIÓN

El presente Informe tiene por objeto determinar la conductividad térmica efectiva λ_{ef} , la resistividad R_b y la temperatura estable del terreno de una perforación geotérmica realizada en la parcela donde se construirá un nuevo edificio, situado en Av. Príncipe de Asturias 51, en el término municipal de Zamora (Zamora).

El test de respuesta térmica se ha realizado entre los días 26 de junio y 28 de enero de 2021 en una perforación ejecutada una semana antes, y que formará parte del campo de captación.

El equipo empleado para la toma de datos del TRT ha sido una unidad portátil GeoCube (número de serie GC0986).

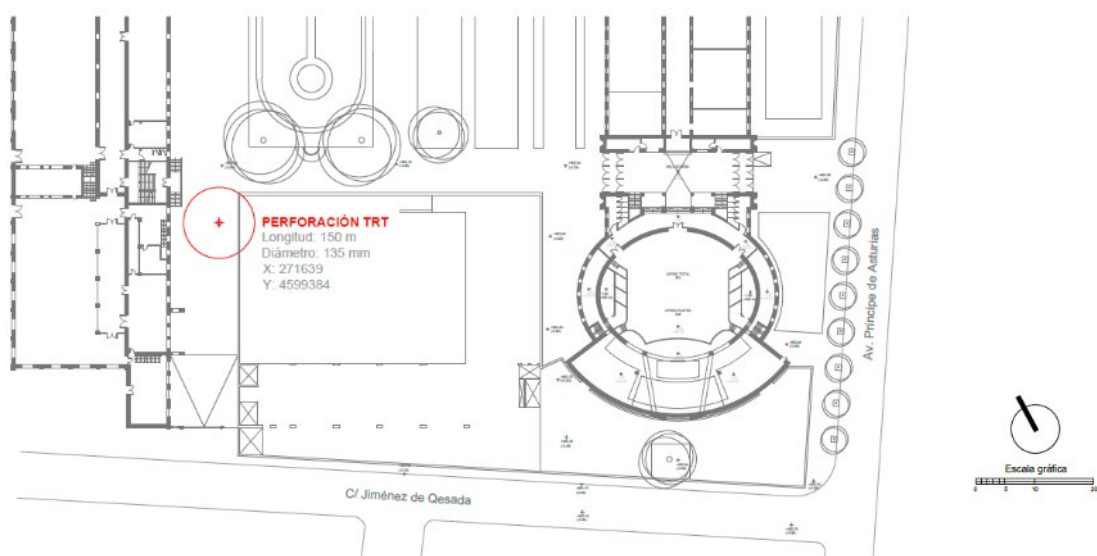
2. METODOLOGÍA

Para llevar a cabo la determinación de la conductividad térmica efectiva λ y la resistividad de la perforación R_b , se empleará el método gráfico, y para su comprobación, se empleará el método de modelado inverso o estimación paramétrica. Ambos métodos se basan en la consideración de la perforación geotérmica como una fuente lineal infinita, habida cuenta de las características de la misma.

Para medir la temperatura estable del terreno se emplearán dos métodos: mediante recirculación del fluido caloportador y mediante la medición directa de la temperatura metro a metro.

3. LOCALIZACIÓN

El TRT se ha realizado en una perforación ejecutada para tal fin, que formará parte del futuro campo de captación diseñado.

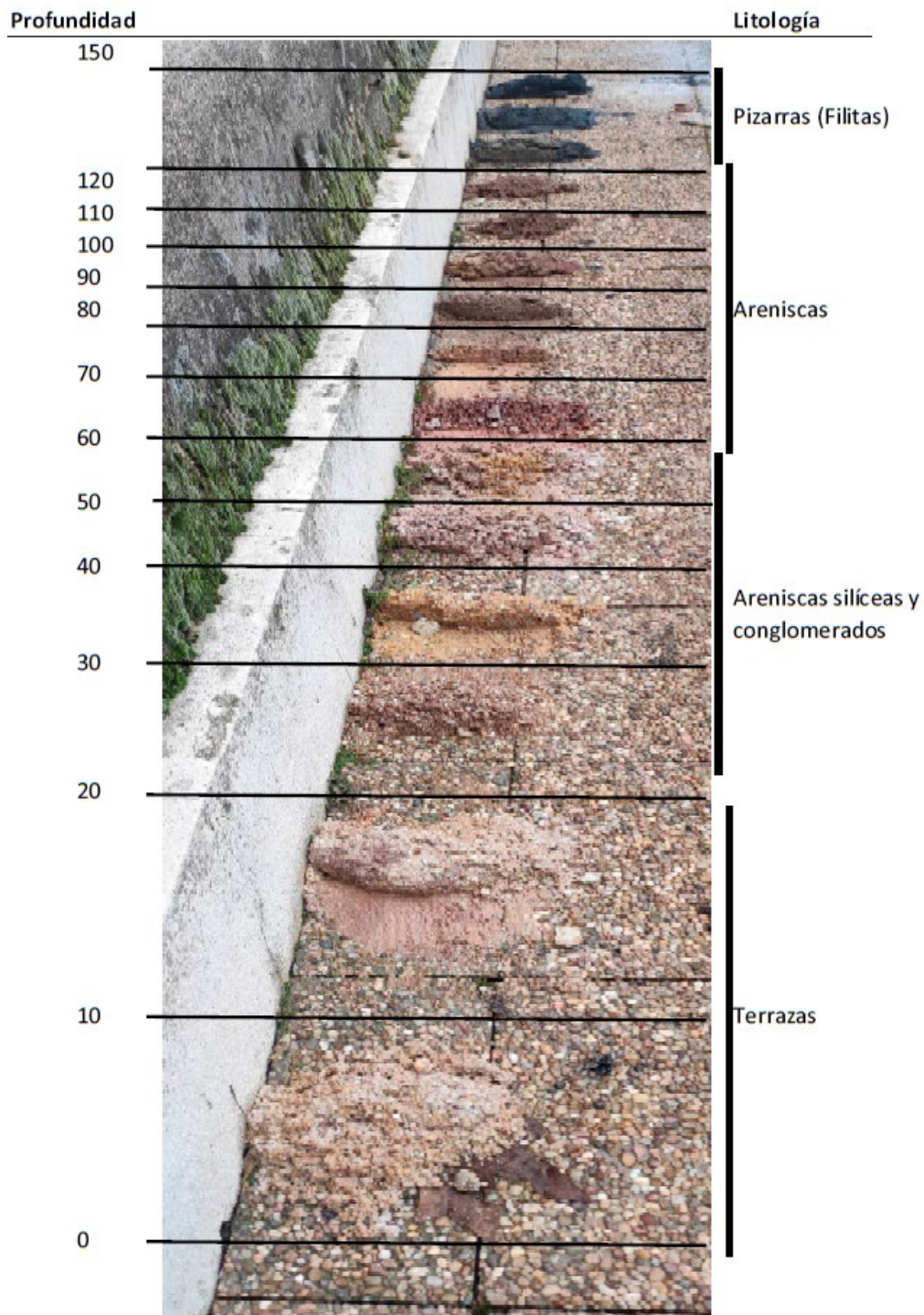




4. ECUADRE GEOLÓGICO

Los materiales atravesados en la perforación pertenecen fundamentalmente al Terciario y al Ordovícico Superior, encontrándose en los primeros metros materiales cuaternarios.

Durante la perforación se tomaron muestras cada diez metros aproximadamente del detritus extraído. Con ello, la columna litológica obtenida es la siguiente:





Terrazas (Cuaternario). Los primeros 20 m están constituidos por arenas y gravas de cuarzo con diámetros de hasta 2 cm. En la segunda muestra aparecen algo de arcillas de tonos rojizos.



Detritus de 0 a 10 m



Detritus de 10 a 20 m

Areniscas silíceas y conglomerados (Paleogeno). A continuación, y hasta los 60 m, se entra dentro de la serie de alternancias de areniscas con arcillas como matriz o como niveles arcillosos y con diferentes niveles de conglomerados constituidos por cantos de cuarzo.



Detritus de 20 a 30 m



Detritus de 30 a 40 m



Detritus de 40 a 50 m



Detritus de 50 a 60 m

Areniscas (Paleogeno). Los siguientes 57 m corresponden a areniscas constituidas por cantos de cuarzo y cuarcitas con algo de arcillas en algunos tramos. Aparecen colores rojizos intensos y en algunos niveles oscuros, correspondientes a cementos ferruginosos.



Detritus de 60 a 70 m



Detritus de 70 a 80 m



Detritus de 80 a 90 m



Detritus de 90 a 100 m



Detritus de 100 a 110 m



Detritus de 110 a 117 m



Pizarras (Ordovícico). A partir de los 117 m aparecen las pizarras o filitas de elevada dureza y de color oscuro salvo en los primeros metros que corresponden a la transición con las areniscas. Se observan niveles cuarcíticos y con la presencia de cantos de cuarzo, probablemente hidrotermal.



Detritus de 117 a 120 m



Detritus de 140 a 150 m

El nivel freático se sitúa a unos 20 m aproximadamente. A partir de los 76 m no fue necesario aportar agua a la perforación por la presencia abundante de agua partir de este punto.



5. BASE TEÓRICA DEL ESTUDIO

5.1 CONDUCTIVIDAD TÉRMICA Y RESISTIVIDAD

La conductividad térmica es una propiedad física de los materiales que mide la capacidad de conducción de calor. Se expresa por λ y sus unidades son, en el S.I., W/m·K. Se trata de un valor fundamental en el diseño de toda instalación geotérmica de baja temperatura con bomba de calor, ya que de él dependerá el diseño del campo de captación energético formado por las perforaciones. Será función de la densidad del material, temperatura, forma de las partículas, porosidad, humedad y composición mineralógica.

Para modelizar el calor que se extrae del subsuelo, se emplea la clásica ecuación de transferencia de calor establecida por Fourier en 1822. En ella, se considera al material como un medio homogéneo e isotrópico:

$$\alpha \nabla^2 T = \frac{\partial T}{\partial t} \quad (1)$$

donde T es la temperatura (K), t es el tiempo (s) y α es la difusividad térmica (m²/s) del medio conductor y que se define como:

$$\alpha = \frac{\lambda}{\rho c_m} \quad (2)$$

donde λ es la conductividad térmica (W/m·K), ρ es la densidad (kg/m³) y c_m la capacidad calorífica del material (J/(kg·K)). Cuanto mayor sea α más rápida será la propagación del calor por el medio. De la ecuación (1) se desprende que cuando se alcanza el equilibrio en el proceso de conducción de calor, la temperatura del terreno se comporta de forma independiente con respecto al tiempo y también, por consiguiente, de la difusividad térmica. En este punto, el sistema pasa de un estado transitorio a un estado estacionario en el proceso de conducción de calor. Más aún, cuando el coeficiente de almacenamiento de energía ρc_m decrece, la influencia de las condiciones de calor del estado estacionario aumenta.

Junto a λ , otro valor importante es el de la resistividad R_b existente entre el fluido caloportador que circula por el interior de los captadores energéticos y las paredes del sondeo. Sus unidades son K/(W/m). Por tanto R_b nos da la diferencia de temperatura entre el fluido caloportador T_f y la temperatura en la pared del sondeo T_b , para una determinada transferencia de calor q (W/m):

$$T_f - T_b = R_b \cdot q \quad (3)$$

Este valor dependerá del caudal del fluido caloportador y de las propiedades térmicas de los materiales intervinientes en el proceso. Puede tener un efecto importante sobre el dimensionamiento del campo de captación y deberá ser lo más bajo posible.

Por lo general, para conocer el valor de la conductividad térmica de una perforación geotérmica, deberemos conocer el valor de cada uno de los estratos que lo componen en las mismas condiciones en que se encuentran (temperatura, humedad, etc.). Se entiende por tanto que es muy difícil determinarlo mediante la obtención de muestras del terreno y pruebas de laboratorio, ya que resultaría excesivamente caro y poco real al variarse las condiciones reales en que se encuentran. Es por ello que se realiza un test de respuesta térmica del terreno.



5.2 TEST DE RESPUESTA TÉRMICA IN SITU

Los test de respuesta térmica del terreno o TRT, se emplean para conocer el valor de la conductividad térmica efectiva y de la resistividad del terreno que presenta una determinada perforación geotérmica. Se dice que es *efectiva* porque viene a ser un valor medio de todos los diferentes estratos y materiales que constituyen la perforación en el estado en que se encuentran en el subsuelo, esto es, que tiene en cuenta todas las características presentes en la perforación.

Se basa en el método que propuso MOGENSEN (1983), el cual consiste en calentar el fluido caloportador que se hace circular por el intercambiador geotérmico introducido en la perforación, midiendo de forma continua las variaciones de temperatura. Dichas variaciones de la temperatura se comparan con un modelo matemático de transferencia de calor que será función de la conductividad térmica y de la resistividad.

Se van a emplear dos métodos: 1) método gráfico y 2) modelado inverso.

MÉTODO GRÁFICO

El modelo matemático que se emplea es el desarrollado por INGERSOLL y PLAS (1947) el cual supone que la perforación es una *fente lineal de calor*.

Dado que se puede suponer que la transferencia de calor en el subsuelo, cerca de la perforación, durante la prueba, es conductiva en dirección radial y constante a lo largo de la perforación, el intercambiador geotérmico se puede asemejar a una fente lineal en un medio homogéneo.

La ecuación para la temperatura del terreno, como función del tiempo (t) y del radio (r) alrededor de la fente lineal con inyección de calor constante q , que se puede utilizar es (CARSLAW y JAEGER 1959):

$$T(r,t) = \frac{q}{4\pi\lambda} \int_{\frac{r^2}{4at}}^{\infty} \frac{e^{-u}}{u} du = \frac{q}{4\pi\lambda} E_1(r^2/4at)$$

(4)

donde E_1 es la integral exponencial. Para valores altos del parámetro at/r^2 , E_1 se puede aproximar con la expresión:

$$E_1(r^2/4at) = \ln\left(\frac{4at}{r^2}\right) - \gamma \quad \frac{at}{r^2} \geq 5 \quad (5)$$

siendo $\gamma=0.5772\dots$ la constante de Euler. El máximo error es de 2,5% para $at/r^2 > 20$ y del 10% para $at/r^2 > 5$. λ es la conductividad térmica y $\alpha = \lambda/c_p$, donde c_p es la capacidad calorífica del terreno.

La temperatura del fluido se evalúa tomando la temperatura de la fente lineal para r igual al radio de la perforación r_b , añadiendo el efecto de la resistencia térmica R_b entre el fluido y las paredes de la perforación. Así, la temperatura del fluido, como función del tiempo, se puede expresar como:

$$T_f(t) - T_0 = \frac{q}{4\pi\lambda} \cdot \left(\ln\left(\frac{4at}{r^2}\right) - \gamma \right) + q \cdot R_b = \frac{q}{4\pi\lambda} \ln(t) + q \left(R_b + \frac{1}{4\pi\lambda} \left(\ln\left(\frac{4\alpha}{r_b^2}\right) - \gamma \right) \right) \quad (6)$$

donde T_0 es la temperatura estable del terreno.

La evolución de la temperatura del fluido es logarítmica y representándola en un gráfico frente a $\ln(t)$, la conductividad térmica del terreno puede ser evaluada usando la pendiente k de la línea:

$$\lambda = \frac{q}{4\pi k} \quad (7)$$



Una vez conocida la conductividad térmica del terreno, la resistividad térmica de la perforación se puede calcular a partir de la expresión (6). Ello supone que ha de conocerse la temperatura estable del terreno T_0 , que se ha medido al comienzo del TRT, haciendo circular el fluido sin aporte de energía térmica. Igualmente se puede calcular la resistividad basándose en las características térmicas de la perforación de forma geométrica mediante el uso de programas informáticos.

MODELADO INVERSO

El modelado inverso o estimación paramétrica se basa en la minimización de la diferencia entre los valores de temperatura obtenidos experimentalmente y las predicciones de los valores obtenidos mediante un modelo matemático. Dicha optimización ha de realizarse mediante programa informático. Las dos variables a optimizar son la conductividad térmica efectiva λ y la resistividad R_b .

El modelo matemático usado sobre el comportamiento térmico del terreno es el propuesto por CLAESON y ESKILSON (1987), que proporciona una solución eficiente a la ecuación (1):

$$\Delta T_r = \frac{q}{2\pi k} g \quad (8)$$

donde g es un factor de respuesta térmica adimensional, llamada *g-function*, y que se define como:

$$g\left(\frac{t}{t_s}, \frac{r}{H}\right) = \begin{cases} \ln\left(\frac{H}{2r}\right) + \frac{1}{2} \ln\left(\frac{t}{t_s}\right) & \frac{5r^2}{\alpha} < t < t_s \\ \ln\left(\frac{H}{2r}\right) & t > t_s \end{cases} \quad (9)$$

La comparación entre las temperaturas teóricas y experimentales se realiza por medio de la suma de errores cuadráticos para cada medición. Esto se debe por un lado a que los grandes errores se magnifican y por otro, a que las diferencias negativas se vuelven positivas impidiéndose que se anulen al sumarlas. Por tanto, la función a optimizar es la suma cuadrática de errores (*sum squared error -SSE-*), dada por:

$$SSE = \sum_1^n (T_{\text{experimental}} - T_{\text{modelo}})^2 \quad (10)$$

La temperatura del fluido $T_{f \text{ avg}}$ (T_{modelo}) en el modelo matemático viene dada por la expresión:

$$T_{f \text{ avg}} = q \cdot (R_g + R_b) + T_0 \quad (11)$$

donde R_g es la resistividad del terreno.

Una vez obtenidos los valores de la conductividad térmica efectiva λ y la resistividad R_b , se llevan a un gráfico los valores teóricos y los valores experimentales para comprobar la adecuación del modelo matemático a la realidad.



6. TEST DE RESPUESTA TÉRMICA DEL TERRENO

La ejecución del TRT se ha realizado conforme a la UNE 100715-1. Según ésta, los parámetros a medir son los siguientes:

- ✓ La temperatura de entrada en la parte superior del intercambiador geotérmico durante el ensayo
- ✓ La temperatura de salida en la parte superior del intercambiador geotérmico durante el ensayo
- ✓ La potencia térmica suministrada a lo largo del ensayo
- ✓ El suministro de energía
- ✓ El caudal

6.1 PERFORACIÓN GEOTÉRMICA

CARRO PERFORADOR

Para la realización de la perforación geotérmica se ha utilizado un equipo hidráulico sobre carro de orugas de la marca COMACCHIO modelo MC 900 P, dotado de un doble cabezal que permite la introducción de la sarta de perforación acompañada de la tubería de revestimiento en las zonas inestables. Este equipo de perforación permite la utilización del sistema PREVENTER para la gestión del detritus de perforación.

El sistema de perforación empleado ha sido mediante rotoperCUSión mediante martillo neumático en fondo de 130 mm de diámetro en la sarta interior y una corona de 152 mm de diámetro con dientes de *widia* para la tubería exterior.

SONDA GEOTÉRMICA

El captador energético empleado ha sido una sonda doble STÜWA GeoHeat 4x32 PERC100 PN16 SDR11, el cual se rellenó con agua. La pesa utilizada ha sido de 60 kg y 2 m.

MORTERO GEOTÉRMICO

Como material de relleno de alta conductividad se ha utilizado el mortero geotérmico de Tudela Veguín MASTEC v. 2.016, una mezcla pre dosificada densa de alta conductividad térmica y reología favorable para su inyección, con una gran facilidad de amasado y de bombeo, sin presentar disgregaciones ni sedimentación.

Está compuesto por una mezcla de arenas de sílice con una curva granulométrica ideal con tamaño máximo de partículas < 0,6 mm y cemento sulfuresistente, mejorado con aditivos naturales y sintéticos para conferir las propiedades deseadas.

Sus principales características son:

- Alta conductividad térmica 1,9 W/m·K
- Resistente a los sulfatos y heladas
- Elevada fluidez, densidad y fuerte cohesión
- Inocuo para el medio ambiente



CARACTERÍSTICAS DE LA PERFORACIÓN

Las características constructivas de la perforación geotérmica en la que se ha realizado el estudio son las siguientes:

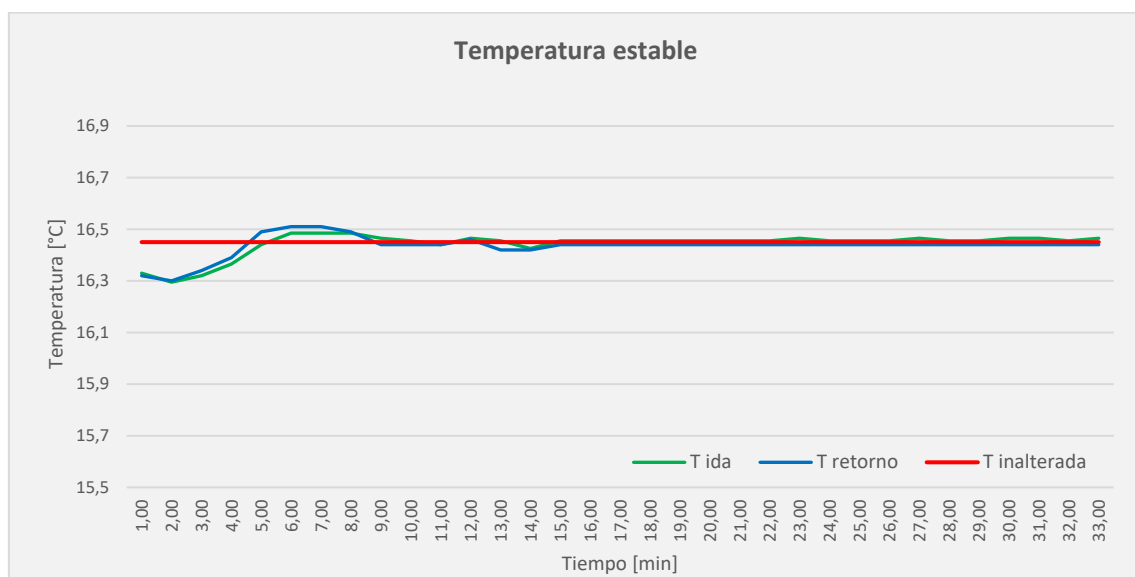
Parámetro	Unidad	Valor
Características de perforación geotérmica		
Profundidad perforación	m	150
Radio medio perforación r_b	mm	135
<i>Diámetro perforación entubado</i>	mm	152
<i>Longitud tramo entubado</i>	m	117
<i>Diámetro perforación sin entubado</i>	mm	130
<i>Longitud sin entubar</i>	m	33
Configuración sonda	-	U-Doble
Diámetro nominal captador	mm	32
Tipo sonda	-	PE100RC SDT11
Conductividad térmica mortero	W/m·K	1,9

6.2 TEMPERATURA ESTABLE DEL TERRENO

Para la medición de la temperatura estable del terreno, se realizaron dos tipos de mediciones. Por un lado, se recirculó la perforación durante 32 minutos obteniéndose una temperatura de 16,4 °C.

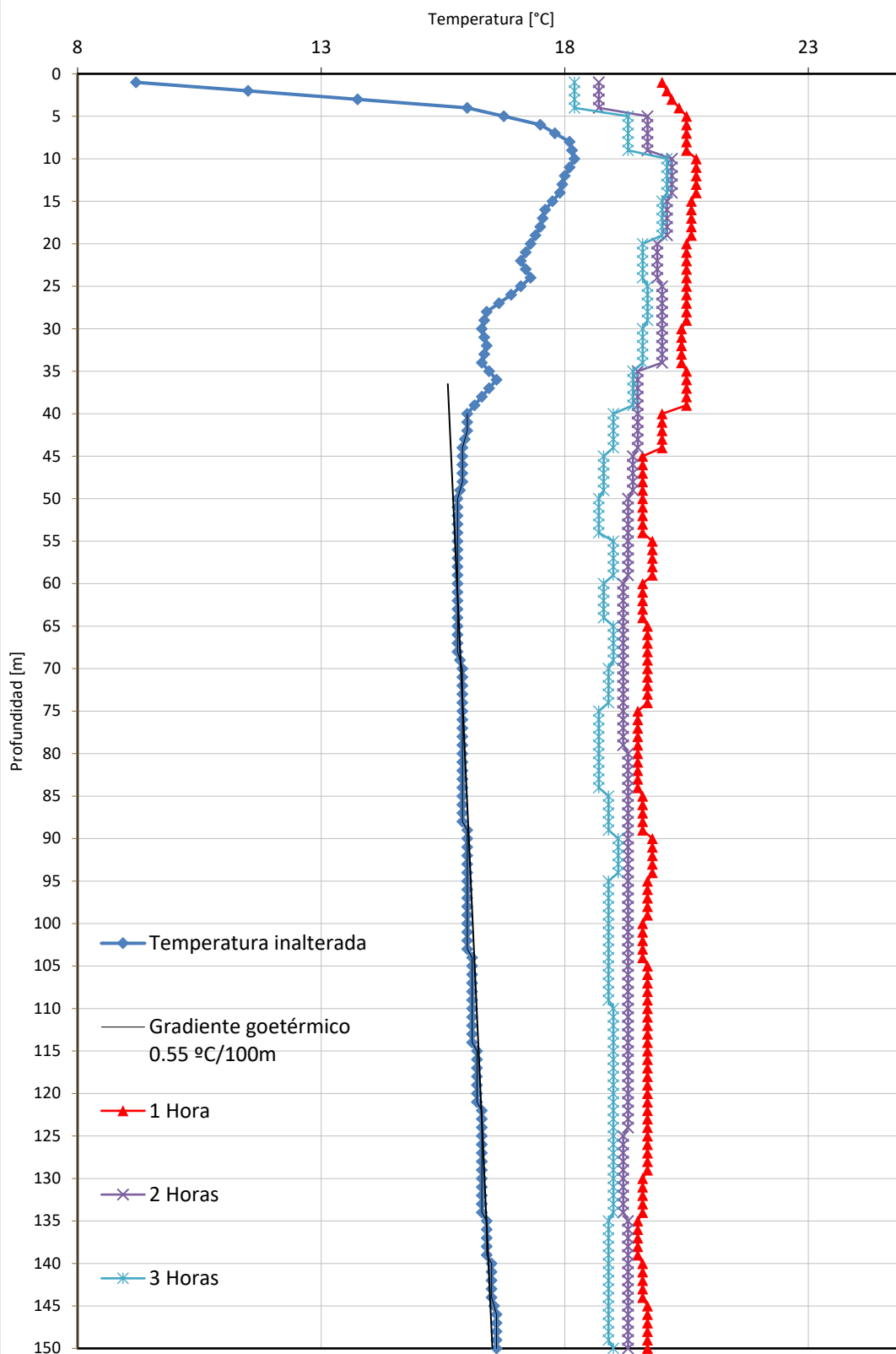
Por otro lado, se tomó un perfil de temperaturas, metro a metro, a lo largo de toda la perforación, cuyo perfil se puede ver en la página siguiente. La temperatura media obtenida es de 16,25 °C.

Por tanto, la temperatura estable del terreno es de 16,3 °C, presentando un gradiente geotérmico de 0,55 °C/100m a partir de unos 40 m aproximadamente.





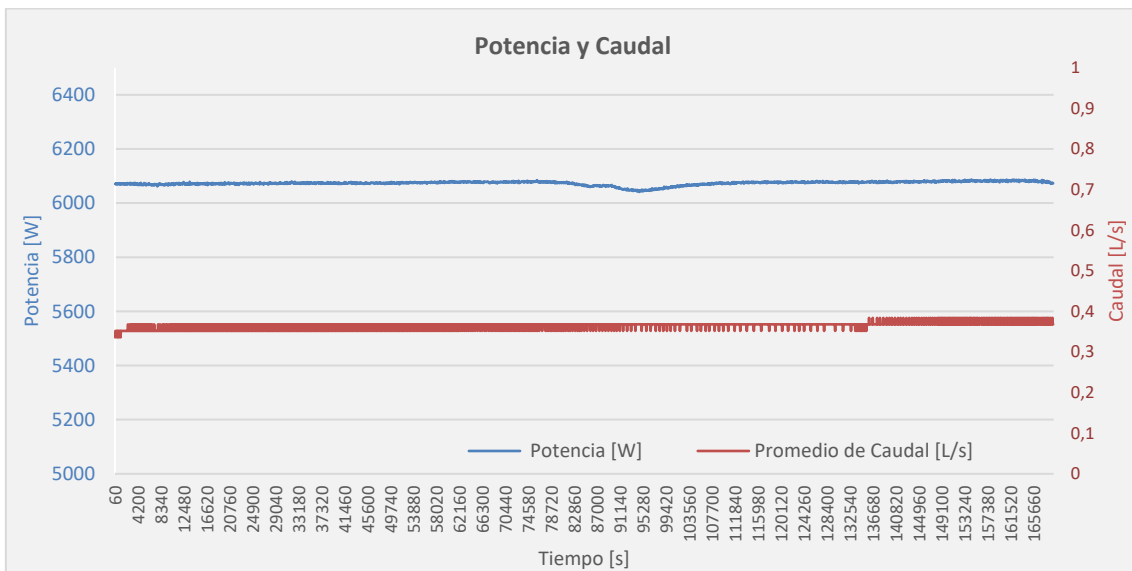
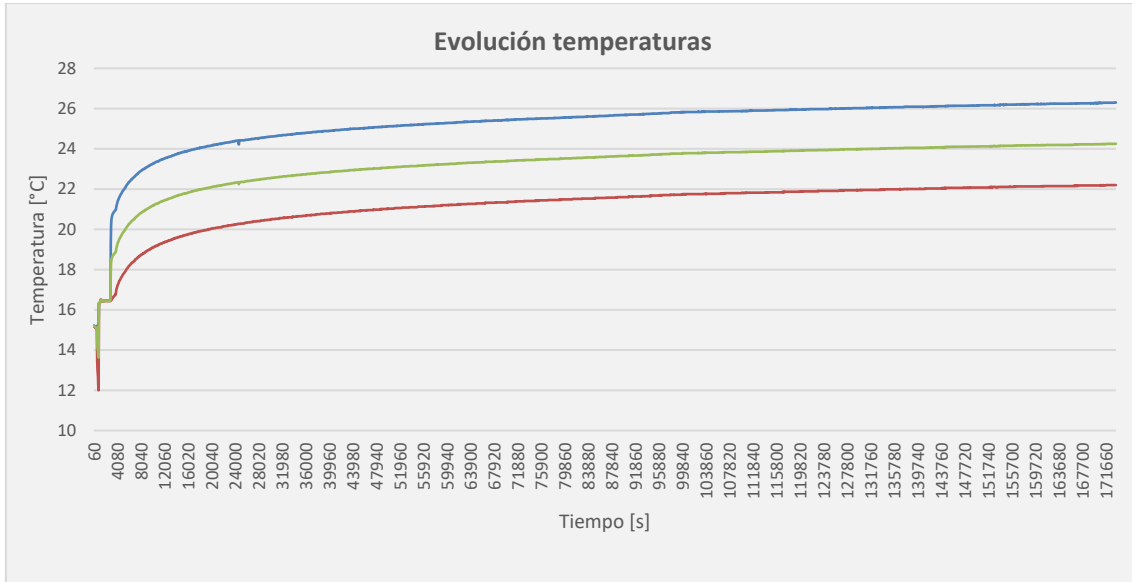
TEMPERATURA INALTERADA DEL TERRENO Y RECUPERACIÓN





6.3 DATOS OBTENIDOS

Se muestran a continuación los diferentes datos obtenidos durante el estudio.



Como se puede observar, no hubo cortes en el suministro eléctrico que hubiesen hecho necesario repetir el ensayo o cualquier otro incidente que pudiese afectar a los resultados.



Los valores obtenidos son los siguientes:

Parámetro	Unidad	Valor
Datos Test de Respuesta Térmica		
Temperatura estable	°C	16,3
Potencia media suministrada	W	6 073
Tasa media de potencia	W/m	40,49
Energía aportada	kWh	291,8
Salto térmico medio	°C	4,08
Caudal medio	l/s	0,36
Duración prueba	h	48,05
Capacidad calorífica volumétrica	MJ/m ³ ·K	2,38
Difusividad estimada α	m ² /s	1,4504E-06

7. ANÁLISIS DE DATOS

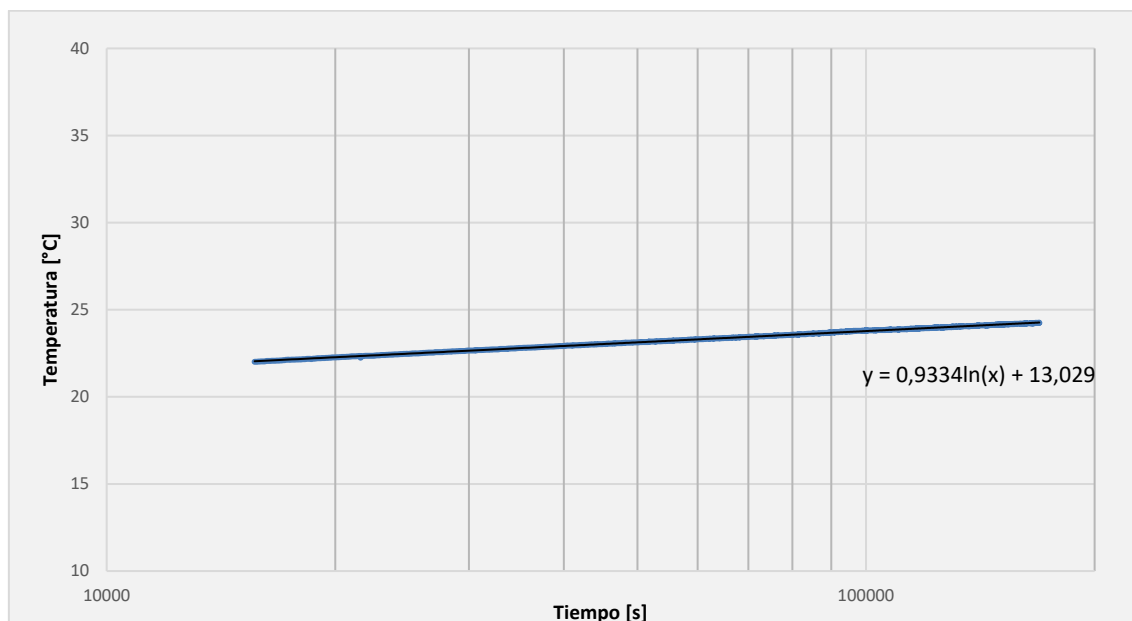
Los tiempos característicos de la perforación geotérmica son los siguientes:

Tiempo a partir del cual se puede despreciar la zona de transición: $t_0 = 4,36 \text{ horas}$

Tiempo en que la extracción de calor alcanza el estado estable: $t_s = 54,66 \text{ años}$

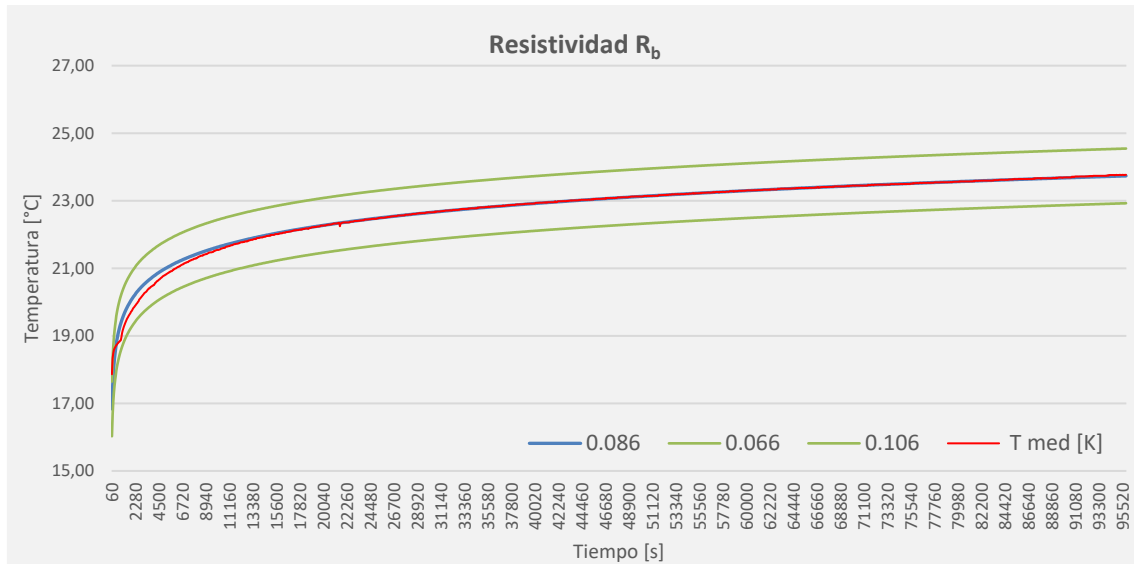
Tiempo a partir del cual la transferencia de calor alrededor de la perforación geotérmica ya no es puramente radial: $t_{s/10} = 5,47 \text{ años}$

A partir de t_0 se llevan los datos de temperatura media a un gráfico logarítmico y se toma el tramo que presente estabilidad térmica del sistema, para determinar la pendiente de la recta e introducirlo en la expresión (7).





Para el cálculo de la resistividad se ha empleado el método de aproximación, para diferentes valores de resistividad, a la evolución de la temperatura media del estudio a partir de la ecuación (6), una vez conocido el valor de la conductividad térmica efectiva del sondeo.



8. RESULTADOS DEL ESTUDIO

Los valores que se derivan a partir del análisis de los datos obtenidos en el test de respuesta térmica efectuado son los siguientes:

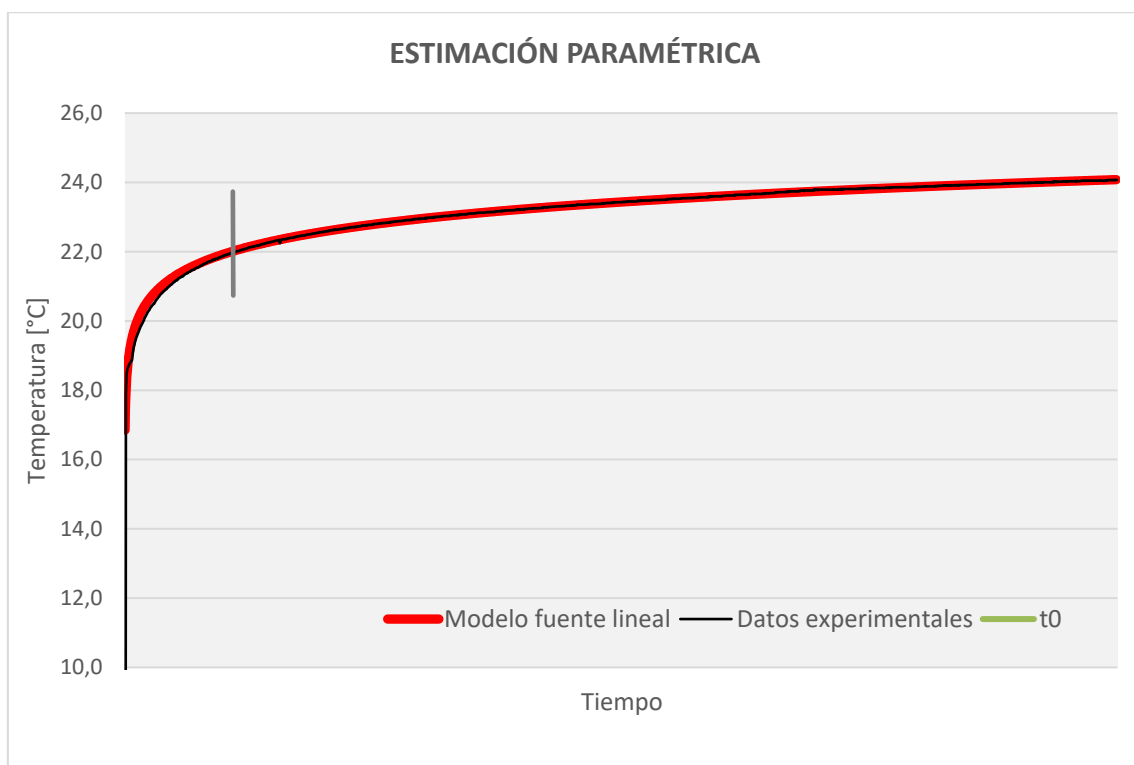
Conductividad térmica efectiva λ	3,45 W/m·K
Resistividad R_b	0,086 K/(W/m)
Temperatura estable T	16,3 °C



9. COMPROBACIÓN DE DATOS POR COMPARACIÓN CON MODELADO INVERSO

Realizando una estimación paramétrica para minimizar los errores entre los valores teóricos y los valores experimentales de la temperatura del fluido caloportador, según se ha visto en el apartado 4.2 del presente informe, los resultados obtenidos y las diferencias con respecto a los valores obtenidos mediante el método gráfico ha sido los siguientes:

TRT 2	ESTIMACIÓN PARAMÉTRICA	MÉTODO GRÁFICO	DIFERENCIA
Conductividad [W/m·K]	3.452	3.45	0.0%
Resistividad [K/W/m]	0.0862	0.086	-0.2%
Longitud	150 m		
Radio	0,0675 mm		
t_s	1723615822 s		
q	40,49 W/m		
Temperatura estable	16,3 °C		
t_0	15706 s		
Σ SSE	0,4110		



Como se puede observar, los resultados obtenidos por ambos métodos independientes arrojan resultados prácticamente idénticos.



10. CONCLUSIONES

Los valores finales deducidos del test de respuesta térmico realizado son los siguientes:

Conductividad térmica efectiva	λ	3,45 W/m·K
Resistividad térmica del sondeo	Rb	0,086 K/(W/m)
Temperatura estable	T	16,3 °C

- La conductividad térmica obtenida resulta alta habida cuenta de los materiales presentes en la perforación, tales como el cuarzo en sus diferentes formas (arenas, areniscas, gravas, etc) y a las pizarras.
- La resistividad es acorde con los materiales empleados en la perforación geotérmica, presentando un valor normal.
- La temperatura estable del terreno es normal, no presentando ninguna anomalía térmica que pudiese afectar al funcionamiento del sistema geotérmico. El gradiente geotérmico sí ha resultado ser bajo en comparación con la media habitual; sin embargo este hecho no afecta al rendimiento de las perforaciones geotérmicas.

En Zamora, a 29 de enero de 2.021

Fdo.: Juan Pablo Mariño Merizalde
Ingeniero de Minas

ANEXO 1: ACOTACIÓN DE LOS VALORES DE LA CONDUCTIVIDAD TÉRMICA EFECTIVA λ Y RESISTIVIDAD R_b EN FUNCIÓN DE LA DIFUSIVIDAD

El parámetro más difícil de conocer con una cierta exactitud es el de la difusividad α ya que ésta depende de la conductividad térmica, de la densidad del material y de su capacidad calorífica:

$$\alpha = \frac{\lambda}{\rho c_p}$$

donde:

α es la difusividad medida en m^2s^{-1}

λ es la conductividad térmica medida en $Wm^{-1}K^{-1}$

ρ es la densidad medida en kgm^{-3}

c_p es la capacidad calorífica medida en $Jkg^{-1}K^{-1}$

El producto $\rho \cdot c_p$ es la capacidad calorífica volumétrica C_v , cuyas unidades son $Jm^{-3}K^{-1}$, con lo que la expresión anterior queda de la forma:

$$\alpha = \frac{\lambda}{C_v}$$

Por tanto, vemos que la difusividad es directamente proporcional a la conductividad térmica e inversamente proporcional a la capacidad calorífica volumétrica.

Conocer los valores de ρ , c_p y por tanto de C_v es muy difícil a partir del material extraído de las perforaciones, ya que la ejecución de éstas se realiza a destroza, o lo que es lo mismo sin tener muestras continuas del material perforado. Sí se puede tener una aproximación del material atravesado a partir del detritus extraído y de esta forma interpretar la columna litológica presente.

El cálculo de la conductividad térmica no es tan sensible al valor de la difusividad como lo es el de la resistividad. Por tanto, a partir del valor medio hallado de λ se pueden determinar unos mínimos y máximos del valor de C_v y por consiguiente de α , en base a los valores que se muestran en la tabla siguiente, y siempre en proporción directa a la columna litológica.



	λ [W/m·K]			C_v [MJ/m ³ K]		
	<i>min</i>	<i>rec</i>	<i>max</i>	<i>min</i>	<i>rec</i>	<i>max</i>
Arcilla seca	0,4	0,4	0,9	1,51	1,6	1,62
Arcilla húmeda	0,9	1,6	2,22	1,6	2,4	3,4
Yeso	1,29	1,6	2,8	2		
Arena seca	0,27	0,4	0,75	1,31	1,4	1,59
Arena seca compacta	1,11	1,2	1,25	1,7		
Arena húmeda	0,58	1	1,75	1,23	1,8	2,22
Arena saturada	1,73	2,4	5,02	2,2	2,5	2,86
Limo seco	0,38	0,4	1	1,51	1,6	1,62
Limo húmedo	1	1,8	2,3	1,6	2,2	2,78
Grava seca	0,39	0,4	0,52	1,4	1,5	1,62
Grava saturada		1,8		2,28	2,4	2,88
Pizarras	1,5	2,1	2,5	2,24	2,3	2,51

De este modo, se muestran a continuación las tablas con los valores mínimos y máximos de la difusividad, considerando una horquilla de $\pm 15\%$, a partir de los cuales se han hallado los valores de la conductividad térmica efectiva λ y la resistividad R_b en los dos TRT realizados.

TRT ZAMORA				
	Método Gráfico	Modelado Inverso	Método Gráfico	Modelado Inverso
Difusividad [m ² /s]	1,2175E-06		1,6865E-06	
t_0 [s]	18 712		13 508	
Conductividad [W/m·K]	3,46	3,46	3,45	3,45
Resistividad [K/W/m]	0,090	0,089	0,0,082	0,082



ANEXO 2: IMÁGENES



Imagen 1. Vista general



Imagen 2. Vista general



Imagen 3. Vista general



Imagen 4. Sonda geotérmica



Imagen 5. Pesa sonda



Imagen 6. Medición de temperaturas



Imagen 7. Test de Respuesta Térmica