

# Propiedades térmicas de los suelos para el dimensionado y diseño del sistema subterráneo mejorando la eficiencia energética de sistemas geotérmicos en climatización

**José Manuel Cuevas Castell, Vicente José González Penella, José María Rodes Martínez, Ángel M. López Buendía**

AIDICO - Instituto Tecnológico de la Construcción - UTM. Camí de Castella, 4. 03660-Novelda. Alicante

**Resumen:** El uso del suelo como sistema de intercambio de calor es la base del concepto de la energía geotérmica. La geotermia de baja entalpía o superficial puede suponer importantes ahorros en climatización, lo que representa el mayor foco de consumo energético en el sector de la edificación, tanto residencial como terciario.

El dimensionado eficiente de este tipo de instalaciones requiere conocer, fundamentalmente, tres factores: (1) análisis de las necesidades de los recintos a acondicionar; (2) selección de los sistemas tecnológicos disponibles; y (3) caracterización de la fuente energética. Por lo que respecta a los dos primeros factores, existen métodos de cálculo de cargas consolidados y la oferta comercial de sistemas de climatización es amplia. El tercero de los factores es, sin duda, el menos desarrollado, no existiendo modelos de comportamiento térmico de suelos suficientemente fiables y ampliamente aceptados.

En este estudio se propone un control básico para el reconocimiento del sistema del suelo fundamentado en los parámetros térmicos del suelo y de las características litológicas, basado en los siguientes puntos: (1) caracterización térmica y registro continuo de estaciones del suelo mediante sondas de temperatura de alta sensibilidad; (2) determinación del perfil litológico del sondeo; (3) caracterización de conductividad del perfil litológico.

**Palabras clave:** Geotermia de baja entalpía, climatización, temperatura de suelos, conductividad térmica, litología.

## 1. INTRODUCCIÓN

La utilización de energía geotérmica de baja entalpía ha permitido importantes ahorros energéticos en la climatización de edificios desde la década de los setenta donde su uso se hizo común en países como Japón, Norte de Europa y Norteamérica (Rybach and Sanner, 2000; Sanner, 2001; Nielsen, 2003; Sanner et al., 2003). En España este tipo de tecnología empezó a instalarse a principios de los años noventa aunque su introducción no ha sido relevante. Este tipo de energía se ha aprovechado, principalmente, asociado a sistemas cerrados de bomba de calor que permitía una buena calefacción de hogares, y rara vez se usaba para refrigeración. Para la instalación de estos sistemas de aprovechamiento del calor geotérmico se requiere conocer la demanda de cargas térmicas que va a tener el edificio, los equipos disponibles y las condiciones del suelo donde se va a instalar el campo de sondeos geotérmicos.

En este estudio se analiza más detenidamente el subsuelo ya que se considera que el método convencional basado en test de respuesta térmica (Gustafsson, 2006) resulta insuficiente para la optimización del sistema y que con los parámetros que se han medido en este trabajo se puede obtener una información usable como una poderosa herramienta en el desarrollo optimizado de estos sistemas.

## 2. METODOLOGÍA

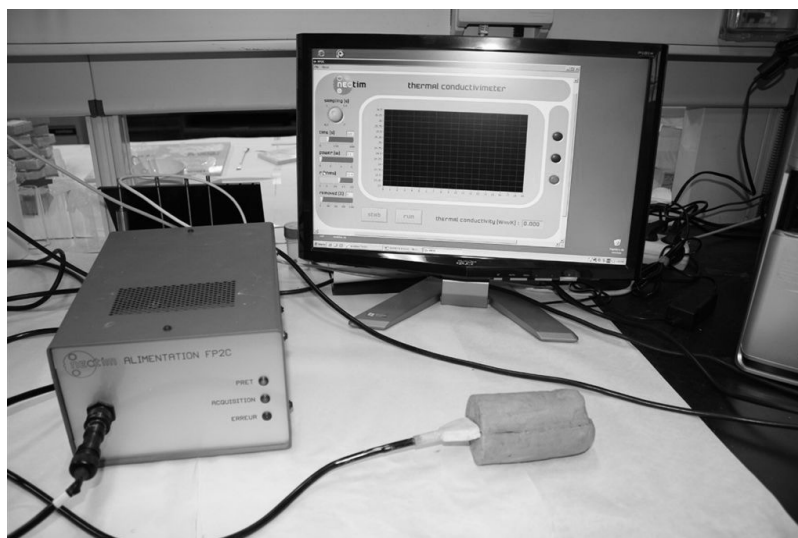
El estudio se ha centrado en la región de la Comunidad Valenciana, donde la carga necesaria para refrigeración supera ampliamente la demanda requerida para calefacción. En este estudio se ha llevado a cabo una metodología de trabajo de acuerdo a los siguientes puntos:

(1) Selección de los puntos de sondeos de acuerdo a dos litologías representativas de la Comunidad Valenciana. Uno de estos sondeos se ha situado en el Parque Tecnológico de Paterna en las instalaciones de la sede central de AIDICO, mientras que el otro se ha emplazado en Novelda en las nuevas instalaciones del Centro del Mármol, Minería y Recursos Energéticos.

(2) Descripción geológica de la columna estratigráfica del sondeo. En la elaboración de ambos sondeos se ha empleado el método de perforación por rotación para de este modo extraer las columnas litológicas completas y así poder trabajar sobre los testigos en la toma de medidas y muestras para su descripción. Para su realización se ha empleado un equipo Comacchio MC300 con un diámetro de perforación de 86 mm. Los pozos han sido encamisados en PVC ranurado para evitar derrumbes e instalar las sondas de temperatura.

(3) Registro de la temperatura en el tiempo a diferentes profundidades del sondeo. Para llevar a cabo estas medidas se ha ideado un sistema recuperable de sondas de tipo termopar con errores de medida de  $\pm 0.1$  °C. Estos termopares se encuentran conectados a un registrador de datos con almacenamiento de temperatura a las distintas profundidades con un intervalo temporal de una hora. En las zonas más profundas, donde la estabilidad de la temperatura es mayor, las sondas se colocaron a una distancia de 10 metros mientras que en la zona más somera (desde 20 m hasta la superficie) la distancia entre sondas ha sido de un metro.

(4) Medidas de conductividad térmica del testigo de sondeo. Para la medida se ha utilizado un equipo NEOTIM FP2C basado en la técnica del cable caliente en régimen quasi-estabilizado, sobre muestras de los testigos de sondeo cortado longitudinalmente (Fig. 1). La muestra se ha medido en condiciones controladas en cámara climática a  $25 \pm 0.1$  °C.



**Figura 1.** Equipo de medida de conductividad térmica NEOTIM FP2C durante el proceso de medición de una probeta extraída del testigo del sondeo.

### 3. RESULTADOS

#### *Selección estratégica de los sondeos*

Se seleccionaron dos localidades situadas en la Comunidad Valenciana para llevar a cabo el estudio (Fig. 2) en unas condiciones geológicas bien diferenciadas. En ambos sondeos se ha localizado el nivel piezométrico del agua a diferente profundidad (19 m en Novelda y 45 m en Paterna). Por otro lado, las aguas subterráneas detectadas en Novelda son ligeramente saladas e hidrotermales con temperaturas que alcanzan los 33 °C. Las altitudes sobre el nivel del mar de ambas zonas son 241 m en Novelda y 70 m en Paterna.



**Figura 2.** Localización y vista aérea de los dos sondeos realizados para el estudio.

Por otro lado, las condiciones climatológicas en ambas localidades difieren claramente. El clima en Paterna está caracterizado por un régimen Mediterráneo con inviernos tibios y veranos calurosos con un alto grado de humedad. La demanda energética para enfriamiento se centra principalmente desde Mayo hasta Septiembre, mientras que para calefacción se requiere durante Noviembre hasta Febrero. Novelda se caracteriza por un clima Mediterráneo árido con veranos muy calurosos que alcanza hasta los 40 °C e inviernos fríos con temperaturas cercanas a los 0 °C. Los meses de mayor demanda energética para refrigeración ocurren entre Mayo y Septiembre, y para calefacción entre Noviembre y Marzo.

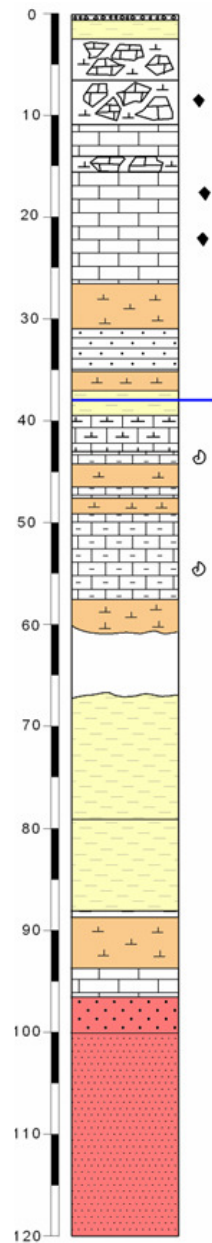
#### *Columna estratigráfica*

Los testigos extraídos de los sondeos han sido almacenados en cajas perfectamente identificadas y sometidos a un detallado estudio de las distintas litologías y facies que componen la columna. Se ha realizado una descripción litoestratigráfica, y detalles de la mineralogía. Toda esta información se resume en las columnas estratigráficas desarrolladas para cada sondeo (Figs. 3 y 4).

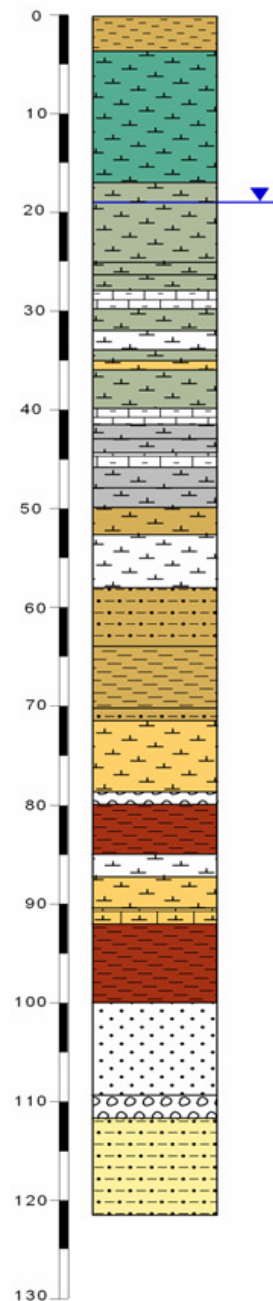
#### *Temperatura del subsuelo*

Se ha desarrollado un sistema de medida *in situ* para el registro en el tiempo en los puntos establecidos del sondeo, en el que se registra la temperatura a lo largo de las distintas estaciones climáticas. Esto permite la evolución del comportamiento del suelo y el nivel de influencia de la temperatura externa en el mismo. Se ha comprobado que otros parámetros como las fluctuaciones del nivel freático y el grado de saturación de agua de los materiales

también afectan a la temperatura. Los resultados obtenidos muestran que únicamente los metros superficiales están afectados por la temperatura externa. Por otro lado se observa que en la curva de temperatura frente a profundidad del sondeo de Paterna existe un gradiente aproximado de  $0.8^{\circ}\text{C}$  por cada 10 metros de profundidad. En el caso del sondeo realizado en Novelda se observa que el gradiente térmica es de  $1.5^{\circ}\text{C}$  cada 10 metros debido a la influencia que sobre el mismo tiene la presencia de agua ligeramente hidrotermal (Fig. 5).



**Figura 3.** Columna litoestratigráfica del sondeo de Paterna. De 0 a 58 metros la serie está dominada por calizas, margocalizas parcialmente karstificadas. De 58 a 120 metros la serie está dominada principalmente por rocas siliciclásticas en las que predominan arenas y arcillas. Eventualmente aparece algún nivel carbonatado (94-96 m).



**Figura 4.** Columna litoestratigráfica del sondeo de Novelda. De 0 a 54 metros la serie está dominada por margas con algunos niveles de calizas. De 54 a 130 metros la serie está dominada principalmente por sedimento arcilloso, conglomerados y facies arenosas y limosas.

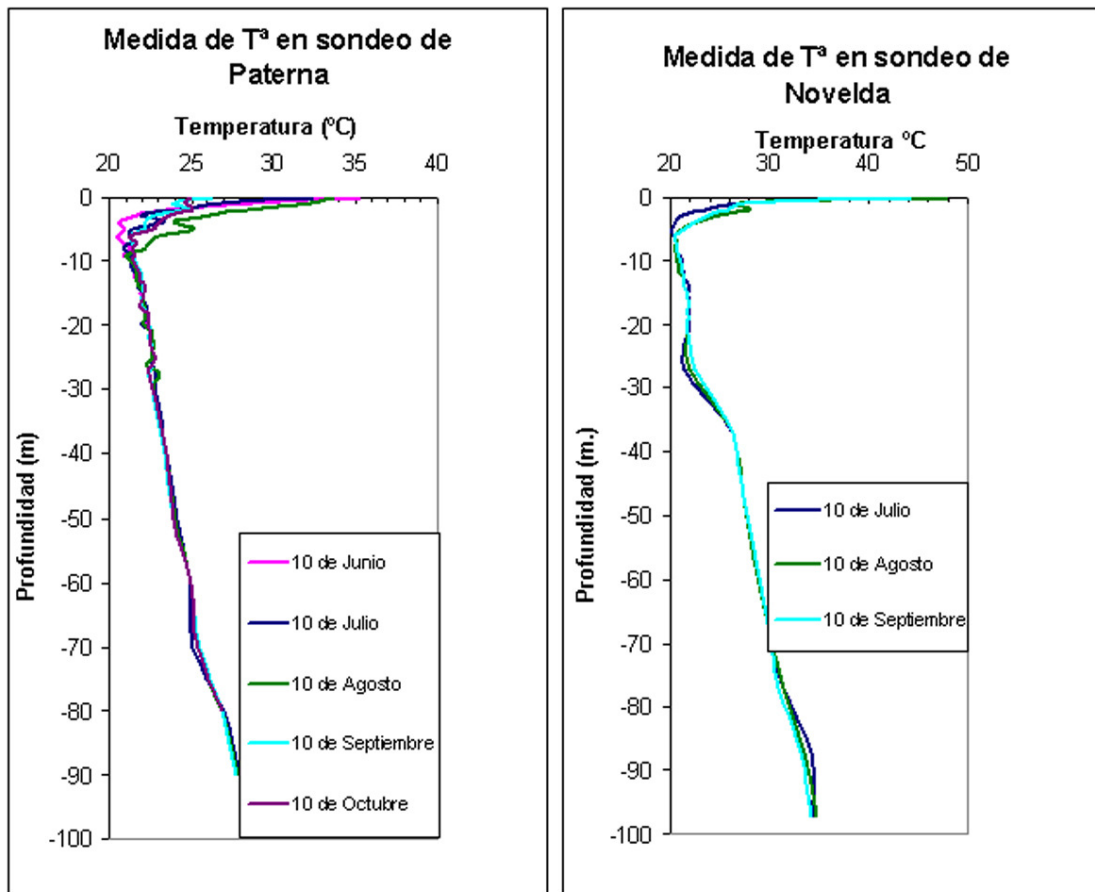


Figura 5. Gráficos de los datos de Temperatura frente a la profundidad en los dos sondeos.

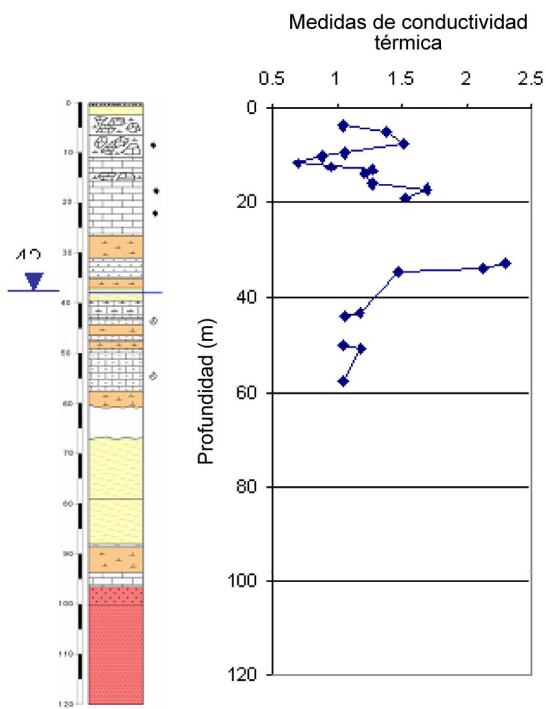


Figura 6. Medidas de conductividad térmica en el testigo y su relación con la columna estratigráfica en el sondeo de Paterna

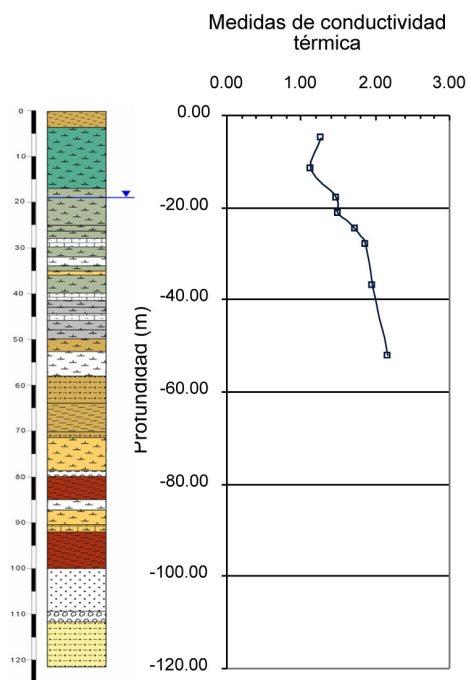


Figura 7. Medidas de conductividad térmica en el testigo y su relación con la columna estratigráfica en el sondeo de Novelda

## *Conductividad térmica del suelo*

La conductividad calculada sobre los sondeos permiten el cálculo de las propiedades térmicas generales que tiene el suelo mejorando e implementando la información obtenida del ensayo convencional de Test de Respuesta Térmica (Sanner et al. (2003); Gustafsson (2006)). Las curvas obtenidas y su relación con la columna estratigráfica muestran las variaciones importantes de la conductividad térmica dependiendo de la litología del material (Figuras 6 y 7).

Debido a la poca cohesión que presentaban algunos de los materiales la conductividad térmica no ha permitido un registro continuo.

## **4. DISCUSION**

Los resultados obtenidos han sido analizados detectando algunos puntos de interés que pueden resultar relevantes en la planificación optimizada de un campo de sondeos geotérmicos. En primer lugar, respecto a la medida de la temperatura en los suelos destaca que en Paterna se puede observar que la influencia de la temperatura exterior afecta en los 8 primeros metros y después permanece constante en el tiempo aumentando con el gradiente térmico de 8°C cada 100 m. Este gradiente es sensiblemente más elevado que el gradiente geotérmico global en torno a 3°C cada 100 metros. En Novelda, se ha observado que solo los 6 primeros metros están afectados por la temperatura exterior. Además se observa una temperatura muy constante en los 30 primeros metros a partir de la cual la temperatura aumenta rápidamente hasta más de 33 °C. En el caso de Novelda se ha corroborado el ligero hidrotermalismo del agua en las muestras extraídas.

Respecto a las medidas de conductividad térmica se resalta que en ambos casos se aprecian los aumentos muy significativos de la conductividad térmica en la zona vadosa que está saturada en agua. Sin embargo en la zona que se encuentra permanentemente por debajo del nivel freático los valores son parecidos a los de la zona no saturada en el caso de Paterna mientras que en el caso de Novelda sigue habiendo una tendencia de aumento de la conductividad térmica en la zona saturada.

## **5. CONCLUSIONES**

La principal conclusión de este estudio es que se ha visto que la información adicional aportada por los análisis aquí presentados puede emplearse como una poderosa herramienta a la hora de diseñar de forma optimizada un campo de sondeos geotérmicos. La información suministrada puede completar los datos obtenidos con el método convencional del test de respuesta térmica a la vez que aportar información valiosa para la modelización del comportamiento del suelo. Por otro lado esta información puede emplearse conjuntamente con las tecnologías de optimización de pozos para de esta forma diseñar los rellenos de sondeos adaptados para la máxima eficiencia de los sistemas. La correlación de parámetros geofísicos tales como la resistencia/conductividad eléctrica del terreno, la velocidad de las ondas mecánicas en los mismos, etc. con los valores de conductividad térmica de los mismos se pretende llevar a cabo en la siguiente etapa de este estudio (Özkahraman et al. (2004); Yasar et al. (2008)).

En los resultados de conductividad se ha corroborado que la zona próxima al nivel freático presenta mayor conductividad térmica. Este hecho hace importante que en los sondeos se

establezca exactamente el nivel freático y que en los modelos se tenga en cuenta estos aumentos de conductividad.

Finalmente, se ha observado que para el caso de Paterna, si el objetivo perseguido es la climatización tanto en verano como en invierno, la profundidad óptima para los sondeos está alrededor a los 70 metros ya que en la zona más profunda se alcanza temperaturas más elevadas que pudieran ser contraproducentes para la refrigeración, especialmente en climas como el que allí ocurre donde las cargas térmicas de verano son bastante más elevadas que las de invierno. En Novelda ocurre que el emplazamiento es ideal para su calefacción en invierno con profundidades de sondeos de en torno a los 100 metros. Sin embargo si se pretende climatizar en verano, sería conveniente realizar perforaciones de no más de 30 metros por debajo de las cuales la temperatura aumenta significativamente.

## 6. AGRADECIMIENTOS

Los autores quieren agradecer el apoyo dado por la UE dentro del VII programa Marco por la financiación recibida por el proyecto MESSIB (FP7-NMP-2007-Large-1) que ha sufragado los gastos de investigación. El programa de IMPIVA para la alta especialización de tecnólogos ha colaborado en el desarrollo de estancias de especialización de algunos de los autores del presente artículo en la temática aquí tratada.

## 7. REFERENCIAS

- GUSTAFSSON, A.M. (2006): "Thermal Response Test. Numerical simulations and analyses". Luleå University of Technology, PhD Tesis-pag.141.
- NIELSEN, K. (2003): "Thermal Energy Storage-A State-of-the-Art". Trondheim.
- ÖZKAHRAMAN, H. T., SELVER, R.& ISIK, E. C. (2004): "Determination of the thermal conductivity of rock from P-wave velocity". International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences 41, Pag. 703–708.
- RYBACH, L. & SANNER B. (2000): "Ground-Source Heat Pump systems the European experience". GHC Bulletin, Pag. 16-26.
- SANNER B. (2001): "Shallow Geothermal Energy". GHC Bulletin, Pag. 19-25.
- SANNER, B., KARYTSAS, C., MENDRINOS, D. & RYBACH, L. (2003): "Current status of ground source heat pumps and underground thermal energy storage in Europe". Geothermics, Vol. 32, Issues 4-6, Pag. 579-588.
- YASAR, E., ERDOGAN, Y.,& GUNEYLI, H. (2008): "Determination of the thermal conductivity from physic-mechanical properties". Bull Eng Geol Environ. 67, pag. 219–225

Por la presente, y como autor del trabajo mencionado arriba, cedo a la Comunidad de Madrid una licencia no-exclusiva irrevocable para imprimir, reproducir, distribuir, transmitir o comunicar de cualquier manera dicho trabajo, incluyendo el derecho de hacer modificaciones de formato. Además, afirmo que esta cesión no lesiona los derechos de terceros.