

Aprovechamiento de sondeos geotécnicos para el estudio del comportamiento térmico del terreno

A. Garzón Súcar(1), M.A. Rey-Ronco(2), T. Alonso-Sánchez(3)

1 Alumno. Universidad de Oviedo, Oviedo 33004, Spain. (alex_garsuc@hotmail.es)

2 Tutor. Departamento de Energía. Universidad de Oviedo, Oviedo 33004, Spain. (rey@uniovi.es)

3 Tutora. Departamento de Explotación y Prospección de Minas. Universidad de Oviedo, Oviedo 33004, Spain. (tjalonso@uniovi.es)

Resumen: Actualmente en la construcción de viviendas es legalmente obligada la ejecución de sondeos geotécnicos para determinar la capacidad resistente del terreno respecto a la obra a realizar, según lo establecido en el Código Técnico de la Edificación (CTE).

Por otra parte para utilizar energía geotérmica somera a través de sondeos, es necesaria la realización de sondeos de explotación geotérmica, que se realizan con poco conocimiento de las posibilidades geotérmicas del terreno en cuestión, ya que no siempre se realizan test de respuesta térmica (TRT) para la caracterización térmica dicho terreno.

En este artículo se analiza la posibilidad de uso de los sondeos geotécnicos como medio para obtener información utilizable en instalaciones de aprovechamiento de energía geotérmica somera y se ha realizado un sondeo de 28 m de profundidad, con unos diámetros de perforación de 113 mm y 101 mm, similar al de un sondeo geotécnico y se han recogido detritus de perforación y testigo continuo, con el fin de conocer las propiedades térmicas de los materiales cortados por el sondeo. Igualmente, se ha realizado testificación geofísica del mismo lo que ha permitido identificar los distintos materiales y el nivel freático del sondeo.

Se ha instrumentado el sondeo con una sonda geotérmica y sensores de temperatura a distintas profundidades. Se ha construido un equipo TRT (Test de Respuesta Térmica) específico para las dimensiones de un sondeo geotécnico y se ha realizado este test en el sondeo geotécnico. Se ha realizado el TRT controlando las temperaturas. Finalmente se exponen los resultados y conclusiones alcanzadas.

Palabras clave: Energía geotérmica, sondeos geotécnicos, TRT, instrumentación.

1 INTRODUCCIÓN

El Código Técnico de la Edificación (CTE) del 28 de marzo de 2006 [RD 314/2006] (Anon. 2006) es el instrumento normativo donde se fijan las exigencias básicas de seguridad y calidad de los edificios y sus instalaciones y tiene por objetivo final, mejorar la calidad de la edificación y promover la innovación y la sostenibilidad. El ámbito de aplicación del CTE son los edificios de nueva construcción, y también la rehabilitación de edificios de cualquier uso, en los que exista una demanda de calefacción, o de agua caliente sanitaria, o de climatización de una piscina cubierta.

El documento del CTE se divide en dos partes: **La primera**, contiene las disposiciones de **carácter general y la definición de las exigencias básicas** que han de cumplir los edificios, para satisfacer los requisitos de seguridad y habitabilidad. **La segunda**, forma el grueso del código y está formada por 10 documentos básicos (DB): 6 dedicados a la seguridad estructural (DB-SE); uno a la seguridad en caso de incendio (DB-SI); otro a la seguridad de utilización (DB-SU); otro a la salubridad (DB-HS) y el último, al ahorro de energía (DB-HE). Cada uno de estos documentos **contiene procedimientos, reglas técnicas y ejemplos de soluciones**, que cumplen las exigencias básicas marcadas en la primera parte. Los procedimientos y soluciones indicados no son de obligado seguimiento, pero su aplicación, garantiza directamente el cumplimiento del CTE.

En concreto, el "Documento Básico HE: Ahorro energético" especifica la necesidad de cubrir una parte de las necesidades energéticas térmicas derivadas de la demanda de ACS, o climatización de piscinas, mediante el aprovechamiento de energías renovables, procesos de cogeneración, o fuentes de energía residuales.

Por su parte, la Directiva europea [2009/28EC] (Anon. 2009) establece un marco común para el fomento de la energía procedente de fuentes renovables al tiempo que fija objetivos nacionales obligatorios. En el artículo 2 punto a) esta Directiva define el concepto «energía procedente de fuentes renovables» como la energía procedente de fuentes renovables no fósiles, es decir, energía eólica, solar, aerotérmica, geotérmica, hidrotérmica y oceánica, hidráulica, biomasa, gases de vertedero, gases de plantas de depuración y biogás;» Asimismo, en el punto c) del mismo artículo define «energía geotérmica» como la energía almacenada en forma de calor bajo la superficie de la tierra sólida. Además, fija unas cuotas de energía renovable en el consumo final bruto en la UE obligando a los Estados a elaborar un Plan de Acción Nacional de Energías Renovables [PANER 2011-2020] (Ministerio de Industria, Turismo y Comercio 2010).

En resumen, es necesario cubrir parte de las necesidades energéticas térmicas de edificios e instalaciones mediante una fuente renovable, y que la energía geotérmica es considerada como tal.

Es sabido que el rendimiento de una instalación geotérmica acoplada al terreno depende de las condiciones geológicas y térmicas locales. Por ello, es importante determinarlas, tan exactamente como sea posible, con objeto de maximizar la eficacia de la instalación y reducir los costes [BUSBY, j. et al. 2009].

Por otra parte, el Código Técnico de la Edificación CTE establece la realización de un estudio geotécnico en las obras de edificación en uno de los documentos dedicados a la seguridad estructural. Se define el estudio geotécnico como el compendio de información cuantificada en cuanto a las características del terreno en relación con el tipo de edificio previsto y el entorno donde se ubica. Este compendio es necesario para proceder al análisis y dimensionado de los cimientos.

Las características del terreno de apoyo se determinarán mediante una serie de actividades que en su conjunto se denominan “reconocimiento del terreno”, que debe tener en cuenta todos los datos relevantes de la parcela, generales del edificio y de la zona.

A efectos del reconocimiento del terreno, la unidad a considerar es el edificio o el conjunto de edificios de una misma promoción, clasificando el terreno y la construcción según la Tabla I y Tabla II.

Tabla I. *Grupo de terreno (Fuente: CTE).*

GRUPO	DESCRIPCIÓN
T-1	Terrenos favorables: aquellos con poca variabilidad y en los que la práctica habitual en la zona es de cimentación directa mediante elementos aislados.
T-2	Terrenos intermedios: los que presentan variabilidad, o que en la zona no siempre se recurre a la misma solución de cimentación o en los que se puede suponer que tienen rellenos antrópicos de cierta relevancia, aunque probablemente no superen los 3,0m.
T-3	Terrenos desfavorables: los que no pueden clasificarse en ninguno de los tipos anteriores. De forma especial se considerarán en este grupo los siguientes terrenos: <ul style="list-style-type: none"> • Suelos expansivos • Suelos colapsables

	<ul style="list-style-type: none"> • Suelos blandos o sueltos • Terrenos kársticos en yesos o calizas • Terrenos variables en cuanto a composición y estado • Rellenos antrópicos con espesores superiores a 3m • Terrenos en zonas susceptibles de sufrir deslizamientos • Rocas volcánicas en coladas delgadas o con cavidades • Terrenos con desnivel superior a 15° • Suelos residuales • Terrenos de marismas
--	---

Tabla II. *Tipo de construcción (Fuente: CTE).*

TIPO	DESCRIPCIÓN
C-0	Construcciones de menos de 4 plantas y superficie construida inferior a 300m ²
C-1	Otras construcciones de menos de 4 plantas
C-2	Construcciones entre 4 y 10 plantas
C-3	Construcciones entre 11 a 20 plantas
C-4	Conjuntos monumentales o singulares, o de más de 20 plantas

La prospección del terreno podrá llevarse a cabo mediante calicatas, sondeos mecánicos, pruebas continuas de penetración o métodos geofísicos. En la Tabla III se establece el número mínimo de sondeos mecánicos.

Tabla III. *Nº mínimo de sondeos mecánicos. (Fuente: CTE).*

	NÚMERO MÍNIMO	
	T-1	T-2
C-0	-	1
C-1	1	2
C-2	2	3
C-3	3	3
C-4	3	3

Con un sondeo geotécnico se obtiene información sobre las características geomecánicas del terreno de cara a la definición de parámetros necesarios para definir la cimentación tanto en la construcción de viviendas, centros comerciales, industrias u obras lineales.

Afortunadamente, la realización de este tipo de trabajos, abre la posibilidad de obtener interesante información necesaria para el diseño de una instalación geotérmica:

- Por una parte, el sondeo geotécnico se realiza mediante rotación con recuperación de testigo.
- Por otra parte, el sondeo en sí puede utilizarse como medio de conocimiento y control de la temperatura no perturbada del suelo o como medio para hacer mediciones térmicas que permiten determinar la conductividad térmica del subsuelo. Toda esta información es muy valiosa desde el punto de vista de desarrollo de la energía geotérmica somera.

Los sondeos geotécnicos permiten la obtención de datos a utilizar en energía geotérmica somera, sin necesidad de tener que realizar otros sondeos geotérmicos exclusivamente para este fin. Todo ello puede resultar siendo un estímulo para que la propiedad del edificio acometa el aprovechamiento de este recurso.

2 OBJETIVOS

El objetivo del presente artículo es demostrar que a partir de los sondeos geotécnicos se puede obtener información valiosa desde el punto de vista geotérmico. Para conseguir este objetivo se proponen otros más básicos como:

- Realizar un sondeo de investigación de características similares a los sondeos geotécnicos.
- Dotar a este sondeo de una sonda de captación geotérmica y otra instrumentación.
- Llevar a cabo un conjunto de medidas y registros sobre el sondeo conducentes a determinar las propiedades térmicas del terreno así como controlar la temperatura del sondeo.

3 METODOLOGÍA

La metodología utilizada consistirá en la realización directa del experimento, obteniendo datos que confirmen o invaliden las hipótesis formuladas en los objetivos. Para ello, se deben superar los siguientes retos:

- Análisis de las características de un sondeo geotérmico así como sus particularidades de perforación, de donde se definan las características del sondeo a perforar.
- Análisis de las características que debe cumplir la sonda geotérmica utilizada, donde se definan la sonda geotérmica adecuada a un sondeo de estas características.
- Selección del tipo y ubicación de los sensores de control de la temperatura en el interior del sondeo.
- Determinación del método de introducción de la sonda geotérmica junto con los sensores de temperatura.
- Definición del procedimiento de recogida de los datos de los distintos ensayos.
- Determinación de un equipo para la realización de un Ensayo TRT (Thermal Response Test o Test de Respuesta Térmica), adaptado a las características de un sondeo geotérmico
- Forma de recogida y registro de series temporales de la evolución de la temperatura en sondeo bajo distintas situaciones.
- Análisis de las incidencias ocurridas durante el proceso de ejecución del sondeo. Se analizan las causas y se proponen soluciones.
- Recopilación y análisis de la información económica del proyecto.
- Valoración de la utilidad de esta solución como mecanismo de promoción de la energía geotérmica.

4 PARTE EXPERIMENTAL

Para conseguir los objetivos propuestos, se han realizado los siguientes trabajos:

1. Perforación del sondeo. Para los fines de la investigación se ha planificado un sondeo de 28 metros de profundidad y de un diámetro inicial de 113 mm los 12 primeros metros y 101 mm en el resto de la perforación.
2. Análisis de los testigos. Se ha hecho una descripción geológica que permitirá identificar tramos homogéneos y recoger probetas para su estudio térmico en el laboratorio.
3. Testificación geofísica del sondeo y estudio del registro de Rayos Gamma, con objeto de identificar tramos y correlacionarlos con los testigos.
4. Instalación de tuberías geotérmicas
5. Instalación permanente de sensores de temperatura en el sondeo.
6. Ensayo TRT adaptado a un sondeo geotécnico.

SITUACIÓN GEOGRÁFICA DEL SONDEO

Los requisitos fundamentales a la hora de establecer la ubicación fueron: parcela con cierre, de fácil acceso para equipos de medida con remolque, con posibilidad de conexión a las redes eléctricas y de agua y cercanía del sondeo a las instalaciones de la Universidad.

Dado que la FLC, (Fundación Laboral de la Construcción), reunía todas las condiciones y aprovechando que en sus instalaciones se llevan a cabo cursos de sondista impartidos por profesionales de la empresa Seinco, la Universidad de Oviedo llegó a un acuerdo para aprovechar dichos sondeos con fines de investigación.

En la figura que se observa a continuación, se muestra la ubicación del sondeo en las instalaciones anteriormente mencionadas situadas en El Caleyó, a escasos kilómetros de la Escuela de Minas, donde se encuentra el centro logístico del grupo de investigación.



Figura 1. Situación del sondeo en la parte sur de Oviedo en las instalaciones de la FLC en El Caleyó, (Iberprix).

SITUACIÓN GEOLÓGICA DEL SONDEO

Desde el punto de vista geológico, el sondeo está situado en la Zona Cantábrica, concretamente en la formación El Caleyó. El área de estudio se enmarca dentro de la Hoja N° 52 (Proaza) del Mapa Geológico Nacional (MAGNA).

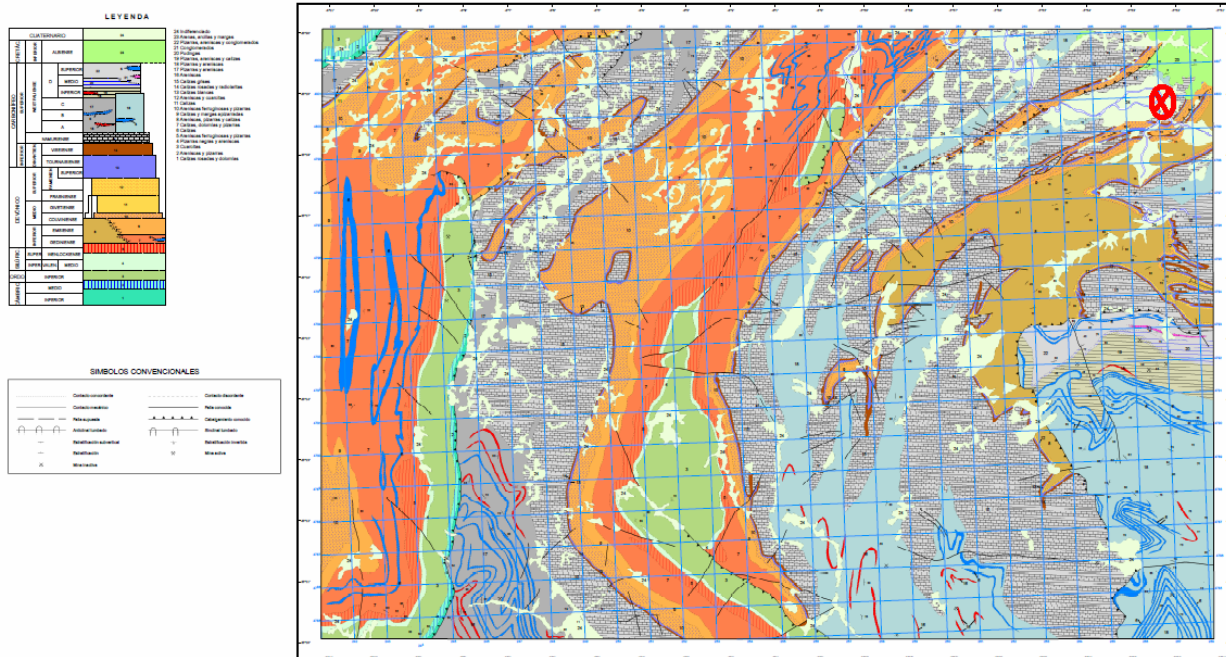


Figura 2. Hoja nº52 (Proaza). MAGNA (Fuente: IGME).

Según esta fuente, la formación se caracteriza por potentes acumulaciones de arenas blanquecinas, amarillentas y rojizas, generalmente de grano fino. Poseen intercalaciones tipo lenticular de arcillas limosas grisáceas y violáceas. Los 4-5 m primeros son muy arcillosos, al igual que los 9 m últimos con, además, tres intercalaciones de areniscas negruzcas (se han encontrado algún orbitolínido, valvulínidos, textuláridos, lamelibranquios, equinodernos y algas). Todo el tramo contiene abundantes costras ferruginosas, piritas, lignitos (incluso troncos) y ámbar. Frecuentes estratificaciones cruzadas. La fracción arcillosa es muy rica en illita y también contiene, aunque menos, caolinita. Se le atribuye una edad Cenomaniense Inferior-Medio.

Siguiendo la misma carretera hacia Oviedo una importante falla dirección NE-SO, cuya traza atraviesa la estación de ferrocarril de La Manjoya, hace aparecer las Areniscas devónicas del Naranco y repite parcialmente la serie anteriormente descrita.

CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS DEL SONDEO

El sondeo se debe adaptar a las características de un sondeo geotécnico, por lo que se ha decidido perforar el sondeo con un diámetro de 113 mm los primeros 12 m y 101 mm los 16 m restantes. El cambio de diámetro fue necesario debido a los problemas de estabilidad en las paredes del sondeo.

CARACTERÍSTICAS DE LA PERFORACIÓN

De entre los distintos métodos de perforación de sondeos, se ha seleccionado para este caso el método de perforación por rotación con obtención de testigo. Este método es habitual en sondeos geotécnicos ya que permite la recogida de testigos con los que hacer ensayos de resistencia del terreno.

La perforación de rocas blandas, se ha llevado a cabo con corona de widia, mientras que para rocas duras se han utilizado coronas de inserción de diamante. El tubo sacatestigos empleado ha sido del tipo doble giratorio y la recuperación de testigos ha sido satisfactoria, a pesar de que los materiales

atravesados han estado muy fragmentados. Al ser el sondeo de poca profundidad no se ha considerado interesante utilizar el sistema wire-line. Se ha descartado el uso de tubos sencillos o dobles rígidos para proteger y obtener un mejor testigo.

Se ha empleado agua como fluido lavador del sondeo, pues no se ha querido alterar las condiciones del entorno del sondeo.

Durante la perforación se ha visto la necesidad de revestir el sondeo. Con objeto de no reducir el diámetro del testigo, se ha optado por revestir el sondeo con tubería que se ha introducido usando una corona zapata.

La empresa de perforación Seinco está especializada en la realización de estudios geotécnicos y la máquina de perforación utilizada ha sido Modelo Realtec RL 46L del 2002. En la figura se aprecia una foto de una máquina de perforación de las mismas características.



Figura 3. Máquina de perforación Realtec RL 46L del 2002.

Como se ha indicado anteriormente, las paredes del sondeo se han mostrado muy inestables durante toda la perforación, por lo que se ha hecho necesario entubar totalmente el sondeo. De esta manera, se garantiza la perforación sin riesgos de derrumbe y la seguridad de las posteriores operaciones que se han realizado en el sondeo. Por ejemplo se ha realizado la testificación geofísica del sondeo por el interior del varillaje con total garantía y se ha introducido la sonda geotérmica de forma muy sencilla gracias a la protección aportada por la tubería de revestimiento.

La perforación se completó en un tiempo de una semana (5 días útiles), siendo necesarias emplear alrededor de 24 horas.

TESTIFICACIÓN GEOFÍSICA

Una vez terminada la perforación se ha realizado la testificación geofísica sobre el sondeo. El objeto de esta testificación es múltiple. Por una parte, es una forma de conocer las litologías perforadas en el sondeo y por otra parte sirve como medio de control del nivel del agua en el sondeo y de la profundidad total perforada.

La testificación geofísica es una práctica habitual y muy valiosa en otro tipo de investigaciones por medio de sondeos, por ejemplo en exploración de hidrocarburos, en hidrogeología o en exploración minera. Permite la identificación de los materiales que se encuentran a una profundidad dada del sondeo, a través de la medida continua a lo largo del sondeo, de ciertas propiedades físicas de las rocas, como puede ser la resistencia eléctrica o la velocidad del sonido a través de la roca, entre otras. Estas medidas se realizan usando sondas geofísicas que se mueven a lo largo del sondeo desplazadas por un cable de sustentación y comunicación con el equipo de registro superficial, dando lugar a una curva llamada diagráfia. En el eje vertical se representa la profundidad, y en el eje horizontal la medida realizada. La medida de algunos parámetros requiere que se den ciertas

condiciones en el sondeo. Por ejemplo si la sonda geofísica mide parámetros eléctricos, es necesario que el sondeo tenga agua y no esté entubado en el momento de la testificación.

Algunas medidas son características de un tipo de rocas, por lo que su conocimiento permite la identificación de ese tipo de rocas. En otras ocasiones, las medidas están relacionadas con una propiedad física de las rocas, por ejemplo la porosidad o la conductividad térmica que permite la caracterización de dichas rocas.

En concreto, el registro “Rayos gamma natural”, mide la radioactividad natural de las formaciones geológicas. Los rayos gamma son ondas de energía electromagnética, emitida espontáneamente por los elementos radiactivos. Cada isótopo radiactivo tiene unos niveles de emisión característicos. La energía emitida por una formación geológica es proporcional a la concentración en peso del material radiactivo que contiene. Los principales elementos radiactivos naturales son el Uranio, Torio y un isótopo del Potasio, el ^{40}K . En las rocas sedimentarias, los isótopos radiactivos se localizan fundamentalmente en las arcillas, mientras que las arenas limpias no tendrán emisiones de rayos gamma. Los niveles de calizas y dolomías tampoco son radiactivos, mientras que las formaciones con elevada cantidad de feldespato potásico, como las arcillas, las rocas ígneas, sobre todo el granito y las riolitas, tienen importantes concentraciones de ^{40}K . En consecuencia, el registro Rayos Gamma Natural permite identificar las distintas litologías cortadas en el sondeo.

En la bibliografía se encuentran relaciones de parámetros obtenidos con distintas sondas geofísicas, que posibilitan la determinación de la conductividad térmica [BRIGAUD, F. et al. (1990); VASEEUR, G. et al. (1995); BRIGAUD, F. et al. (1990); BURKHARDT, H. et al. (1995)]

Se ha utilizado un equipo de registro de la marca MOUNT SOPRIS 3000 (Figura 4) con una sonda geofísica capaz de registrar varios parámetros al mismo tiempo (sonda múltiple), si bien, en este caso, se ha obtenido solamente el registro de Rayos Gamma, pues el sondeo se encontraba entubado en el momento de la testificación y no fue posible registrar las diagrfías eléctricas. La entubación ha impedido la obtención de otras diagrfías, pero ha permitido el desplazamiento de la sonda en el interior del sondeo con plena seguridad de que no quedará atascada en el sondeo. Por otra parte, el efecto de pantalla de tubería sobre la radiación gamma que llega a la sonda geofísica procedente del terreno, ha sido mínimo. En la Figura 4 se aprecia el equipo de testificación y la obtención de la diagrfía en el sondeo.



Figura 4. Equipo de registro de los datos y obtención de diagrfía.

En la Figura 5 se muestra la diagrafiya de Rayos Gamma y la columna litológica interpretada. Del estudio de la diagrafiya se observan varios tramos que se diferencian:

- Por su situaci3n en el sondeo: profundidad y potencia.
- Por el valor absoluto de la radiaci3n natural.
- Por el grado de homogeneidad de la respuesta: tramo homog3neo, o tramo de alternancias de poca potencia.
- Por la forma de transici3n de un tramo con los dem3s: transici3n brusca o gradual.

AN3LISIS DE LOS TESTIGOS

En la Figura 5 se muestra junto con la informaci3n anterior, la columna litol3gica elaborada a partir del an3lisis de los testigos. Tambi3n se muestran fotografias representativas del testigo.

En la columna litol3gica deducida de los testigos se observan tramos que se correlacionan perfectamente con los tramos reconocidos en las diagrafiyas.

El uso combinado de las diagrafiyas y de los testigos permite dividir, de una forma objetiva, el sondeo en varios tramos caracteristicos y tomar muestras representativas de dichos tramos. Las muestras est3n caracterizadas por unos par3metros claramente definidos por la sonda geofisica.

En un futuro, con esta muestra de testigo se realizar3n probetas en las que se medir3 la conductividad t3rmica. Con un n3mero de sondeos lo suficientemente significativo de sondeos, diagrafiyas y testigos, se podr3 formar una base de datos de los valores de conductividad t3rmica que corresponden a cada tramo geofisico en que se ha dividido una formaci3n geol3gica.

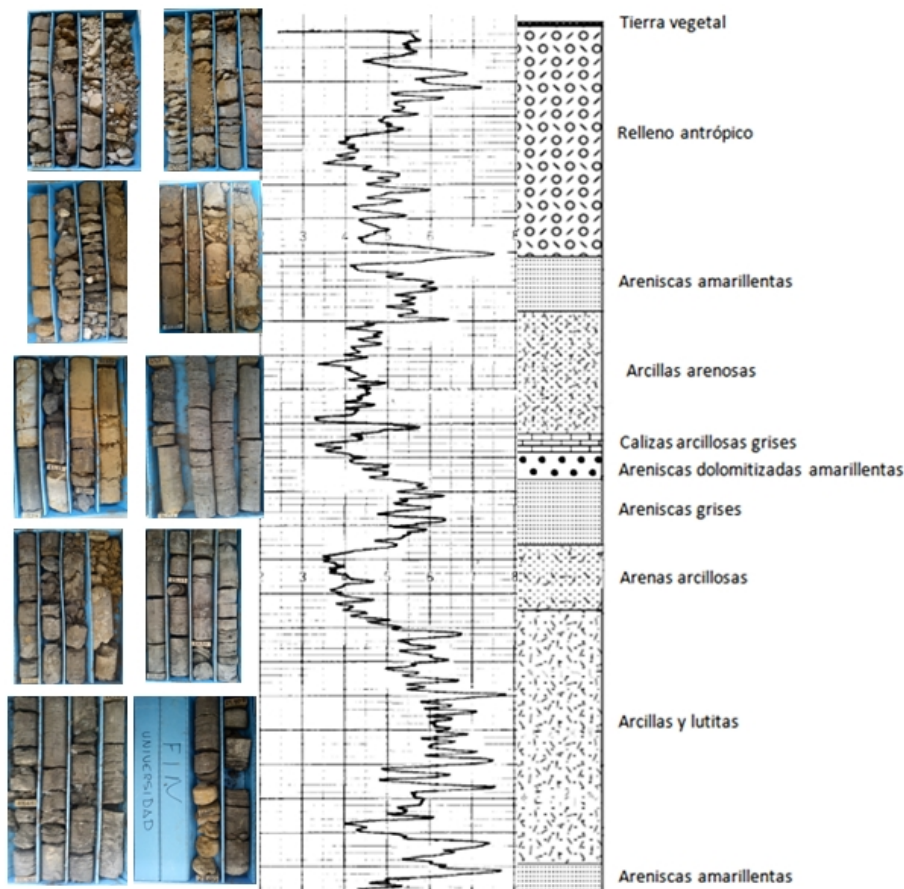


Figura 5 . Columna del sondeo con la diagrafiya de Rayos Gamma y columna litol3gica.

LA SONDA GEOTÉRMICA

En el interior del sondeo de 101 mm debe introducirse la sonda geotérmica y la instrumentación del sondeo. Las sondas geotérmicas tienen varias configuraciones, como se muestra en la Figura 6: coaxial, U simple, U doble o U triple.

En este sondeo de pequeño diámetro, como son todos los sondeos geotécnicos, se ha decidido el uso de tubería geotérmica con configuración en U (segunda ilustración de la Figura 6). Esta configuración supone el uso de una única tubería de polietileno de unos 25 mm de diámetro exterior con un codo en forma de U en la parte más profunda del sondeo.

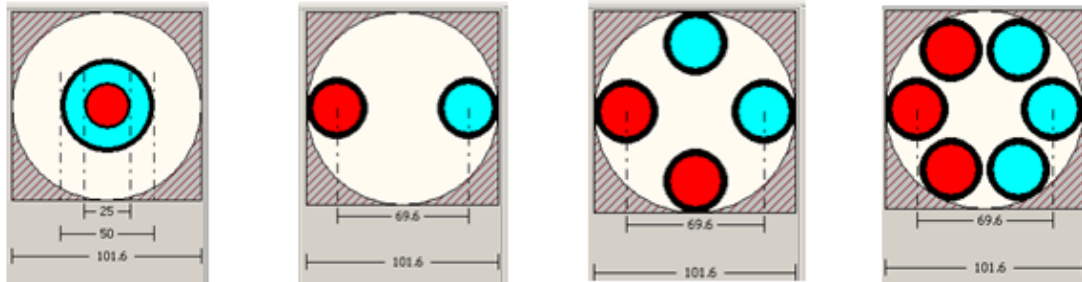


Figura 6. Distintos tipos de configuración de la sonda geotérmica para un sondeo de 101 mm. (tramo descendente en azul y ascendente en rojo).

La principal razón en la que se fundamentó esta decisión fue la simplicidad de montaje del mecanismo.

INSTRUMENTACIÓN DEL SONDEO

El sondeo se instrumenta para controlar la temperatura en el interior del mismo. Para ello se colocan sensores de temperatura en la pared externa de la tubería geotérmica. Se utilizaron varios sensores de temperatura con un montaje experimental desarrollado por el equipo de investigación. Son sensores integrados del fabricante Maxim modelo DS18S20 encapsulados en TO-92 que, para minimizar el cableado, van montados en un bus de tan solo tres hilos y dentro de una tubería de poliamida conforme con la DIN 73-378 para protegerlos en el sondeo. El bus utilizado es el 1-Wire de la casa Maxim (Figuras 7 y 8). Las tres líneas son: alimentación, señal y masa y son compartidas por todos sensores. Los datos de los sensores se recogen en un PC (Figura 7). La interface de usuario está implementada mediante el software LabView. Se han instalado diez sensores de este tipo que se sitúan aproximadamente cada 2,5 m. Sus dimensiones son de 19,4 * 5,2 mm. El rango de la tensión de alimentación está entre 3 a 5,5V y el rango de temperatura de medida oscila entre -10 a 85°C con $\pm 0,5^\circ\text{C}$ de aproximación.

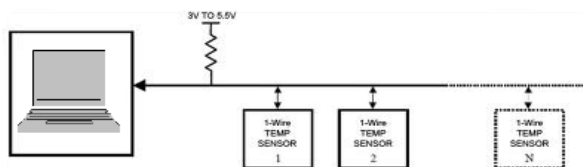


Figura 7. Esquema de conexión del bus 1-wire. (Fuente: Maxim-ic) y vista en el PC.



Figura 8. En el interior del tubo blanco se encuentran los sensores del tipo DS18S20.

Los sensores, se han situado a distintas profundidades en el sondeo, según se refleja en la Tabla IV.

Tabla IV. *Sensores y profundidades a las que están colocados.*

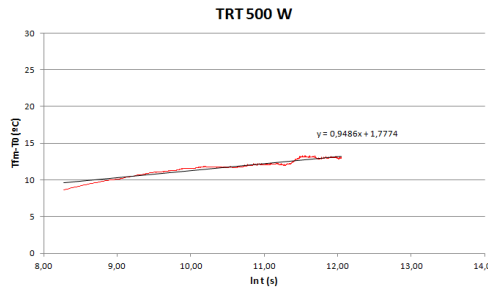
TIPO DE SENSOR	PROFUNDIDAD (m)
Sensor DS18S20-1	2,5
Sensor DS18S20-2	5
Sensor DS18S20-3	7,5
Sensor DS18S20-4	10
Sensor DS18S20-5	12,5
Sensor DS18S20-6	15
Sensor DS18S20-7	17,5
Sensor DS18S20-8	20
Sensor DS18S20-9	22,5
Sensor DS18S20-10	25

INSTALACIÓN EQUIPO Y REGISTRO TRT

Se ha construido un equipo TRT (Figura 9 izda.) por el grupo de investigación, para realizar ensayos TRT sobre sondeos geotécnicos. Este equipo tiene una pequeña resistencia eléctrica que aporta una potencia de 1500 W. y sendos sensores TMCx-HD para medir la temperatura de entrada y salida de agua en la tubería geotérmica, además de los componentes habituales de un TRT (bomba, vaso de expansión, etc.). Se ha usado un registrador HOBO para almacenar los datos de temperaturas y tiempos.

5 RESULTADOS. PRIMER ENSAYO TRT

Sobre el sondeo geotécnico de investigación, se ha realizado un primer ensayo TRT previamente al relleno del sondeo con objeto de comprobar si la instalación funciona adecuadamente. La conductividad se ha determinado con el método de la pendiente del gráfico $\Delta T = (T_{in} + T_{out})/2 - T_0$ [°C] vs $\ln(t)$ [s], que se refleja en la Figura 9. Se observa que el gráfico es correcto y se ha determinado una conductividad aparente del terreno de 1,49 W/m·K.



m=	0,9486369483
Q=	500 W
L=	28 m
qc=Q/L	17,85714286 W/m
Kb=qc/4·pi·m	1,497966403 W/m·K

Figura 9. Equipo TRT (Izda.) y resultados del ensayo (dcha.).

La temperatura del suelo no perturbada determinada con el equipo TRT pero sin utilizar la resistencia del calentamiento es 13,8°C.

En la actualidad se están recogiendo datos de temperaturas del subsuelo a diferentes profundidades, y se están estudiando distintos tipos de relleno para el sondeo. En la Figura 10 se pueden ver algunas muestras hechas en laboratorio para estudiar los tiempos de fragua y comportamiento de cada material.



Figura 10. Muestras para el estudio del comportamiento de la anhidrita

6 CONCLUSIONES

Se ha expuesto que, por prescripción legal, es obligatoria tanto la utilización de energías renovables en la construcción de viviendas e instalaciones, como la de realización de estudios geotécnicos.

Se han mostrado las ventajas de aunar la realización de un sondeo geotécnico con la obtención de parámetros térmicos del terreno.

Se ha indicado un procedimiento para alcanzar el objetivo de utilización de un sondeo geotécnico con fines geotérmicos. Básicamente el método es el habitual en las investigaciones geotérmicas, pero con adaptaciones y consideraciones.

Las modificaciones se refieren:

- Al uso de diagrfias y testigos para diferenciar tramos en el sondeo y conseguir probetas representativas del sondeo.
- Al tipo de tubería geotérmica empleada de configuración en U.
- A la instrumentación del sondeo que sirve de control de temperaturas del terreno a largo plazo.
- Al equipo TRT empleado, caracterizado por su sencillez y bajo costo.

La conclusión alcanzada es que no se han encontrado impedimentos que desaconsejen el uso de los sondeos geotécnicos para uso como sondeos geotérmicos.

En la actualidad este proyecto está en vigor y se continuarán haciendo distintas pruebas y ensayos en el sondeo.

7 REFERENCIAS

- ALONSO-SÁNCHEZ, T. et al. (2011).: "Determining ground thermal properties using logs and thermal drill cutting analysis. First relationship with thermal response test in Principality of Asturias, Spain". Applied Thermal Engineering (Online Publicacion).
- BRIGAUD, F. et al. (1990).: "Estimating Thermal Conductivity in Sedimentary Basins Using Lithologic Data and Geophysical Well Logs". The American Association of Petroleum Geologists Bulletin 74 (9): 1459-1477.
- BRIGAUD, F. et al. (1990).: "Use of well log data for predicting detailed in situ thermal conductivity profiles at well sites and estimation of lateral changes in main sedimentary units at basin scale". International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences & Geomechanics Abstracts 27 (4): 209.
- BURKHARDT, H. et al. (1995).: "Test measurements with a new thermal conductivity borehole tool". Tectonophysics 244 (1-3) (Abril 15).
- BUSBY, J. et al. (2009).: "Initial geological considerations before installing ground source heat pump systems». Quarterly Journal of Engineering Geology and Hydrogeology 42 (3): 295-306.
- DIRECTIVA 2009/28/CE DEL PARLAMENTO EUROPEO Y DEL CONSEJO de 23 de abril de 2009 relativa al fomento del uso de energía procedente de fuentes renovables y por la que se modifican y se derogan las Directivas 2001/77/CE y 2003/30/CE (Texto pertinente a efectos del EEE). Diario Oficial de la Unión Europea.
- PLAN DE ACCIÓN NACIONAL DE ENERGÍAS RENOVABLES DE ESPAÑA (PANER) 2011-2020. Junio 30.
- REAL DECRETO 314/2006, de 17 de marzo, por el que se aprueba el Código Técnico de la Edificación. BOE núm. 74, Marzo 28.
- REY-RONCO, M.A. et al. (2008).: "Medida de las propiedades térmicas del terreno. Aprovechamiento geotérmico con bombas de calor acopladas al terreno". Investigación y Gestión de los Recursos del Subsuelo. IGME. Serie: Hidrogeología y Aguas Subterráneas. No. 27.
- VASEEUR, G. et al. (1995).: "Thermal conductivity estimation in sedimentary basins". Tectonophysics 244 (1-3): 167-174.