



Posibilidades del aprovechamiento geotérmico en las inmediaciones de Alfaro (La Rioja)

Trabajo de fin de grado de geología

(universidad de Zaragoza)



Departamento de
Ciencias de la Tierra
Universidad Zaragoza
1542

GRADO EN GEOLOGÍA

AUTOR: PABLO VALDEARCOS PRUSÉN

Directora: Ana Rosa Soria de Miguel



Zaragoza, 8 de septiembre de 2014

Al tribunal de evaluación de los TFG 2013/2014 del Grado en Geología

La Dra. Ana Rosa Soria de Miguel, directora del trabajo Fin de Grado presentado por Pablo Valdearcos Prusén y titulado **“Posibilidades de aprovechamiento Geotérmico en las inmediaciones de Alfaro (La Rioja, España)”** considera que dicho trabajo se ajusta a la normativa específica establecida a tal fin por el Departamento de Ciencias de la Tierra y por la Facultad de Ciencias de la Universidad de Zaragoza, por lo que doy mi aprobación para la exposición y defensa pública de dicho trabajo por parte de su autor.

Atentamente

Fdo: Ana Rosa Soria de Miguel

ÍNDICE	1
Resumen/Abstract	2
1. INTRODUCCIÓN	3
1.1. Objetivos y planteamiento del trabajo	3
1.2. Situación geográfica y geológica	3
1.3. Hidrogeología	5
1.4. Metodología	7
2. LA ENERGÍA GEOTÉRMICA	8
2.1. Energía geotérmica de muy baja temperatura	8
2.2. Captación de la energía geotérmica	9
3. ESTUDIOS PREVIOS	10
3.1. Necesidades de climatización de la vivienda	11
3.2. Estudio del terreno	11
3.3. Tipo de relleno del sondeo	12
3.4. Estudio del TRT (test de respuesta térmica)	13
4. CÁLCULO DEL APROVECHAMIENTO GEOTÉRMICO	19
4.1. Cálculo del aprovechamiento geotérmico de La Fonda	20
5. RENTABILIDAD DE LA INSTALACIÓN GEOTÉRMICA	25
6. CONCLUSIONES	27
7. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	28
8. ANEXOS	30
I. Resultados del TRT entre las 24 horas y las 26 horas y 40 mins	31
II. Relación de costes año a año entre la Energía geotérmica y la utilización de gas	34

Resumen

La geotermia de muy baja temperatura es una energía que puede utilizarse en gran parte de la superficie terrestre, siendo una de las fuentes más baratas y eficientes para climatizar edificios. En este trabajo se muestra un estudio realizado en la localidad de Alfaro con el fin de determinar el rendimiento geotérmico del mismo y el tipo de sistema o instalación geotérmica más conveniente para el Hotel-restaurante (La Fonda) de esta localidad.

La demanda energética del edificio se ha realizado mediante el análisis de los anteriores consumos energéticos de gas del edificio. El estudio geológico realizado mediante un sondeo inicial muestra que la litología del terreno es dominanteamente arcillosa y con presencia de un acuífero a los 40m de profundidad. Tras el rellenado del pozo inicial se realiza un TRT o test de respuesta térmica, con el fin de analizar diversas propiedades del terreno tales como la conductividad, difusividad y resistencia térmica. Los datos obtenidos de todos estos estudios se introducen en un programa de ordenador (EED, Earth Energy Designer), juntos con otros datos y propiedades de la instalación, tales como el tipo de sondeo, tipo de fluido caloportador,... etc. A partir de todos estos parámetros, la instalación que requiere el edificio de La Fonda estará compuesta por 11 pozos de tipo U-simple de 103 metros de profundidad como mínimo y con 6 metros de espaciado entre cada uno. Finalmente se realiza el estudio de rentabilidad de la instalación geotérmica, amortizándose entre los 5 y 8 años de vida de la misma.

Abstract

The low temperature geothermal energy can be used quite a lot lengthwise the Earth surface, being one of the most economical energies to conditionate buildings. This study was carried out in the city of Alfaro to determine the geothermal efficiency of this area and the most advisable geothermal facility for the Hotel-Restaurant of the city (La Fonda).

The energetical demand of the building has been determined by the analysis of previous gas consumptions. The geological study was carried out by an initial sounding. It shows that the main lithology in the land is chiefly clayey and that there is an aquifer 40m deep. After filling the initial sounding, a thermal response test (TRT) is carried out to determine different properties of the land, such as conductivity, difusivity or thermal resistance. The results obtained of these studies, as well as the information and properties of the facility, such as the type of sounding or the type of facility fluid, are inserted into a computer program (Earth Energy Designer, EED). Attending to all this information, the facility required in this case will be composed by 11 simple-U soundings, separated by 6 metres. This soundings will be at least 103metres deep. Eventually, the geothermal instalation rentability will be studied, being paid off through out the next 5-8 years.

1.- Introducción

1.1 Objetivos y planteamiento del trabajo

El objetivo principal de este trabajo es estudiar las posibilidades del uso de la geotermia de muy baja temperatura o de baja entalpía para la climatización de edificios y uso de agua caliente. Este estudio se realiza mediante el análisis de una serie de parámetros de diferente naturaleza: hidrogeológicos, geológicos (litológicos), propiedades físicas del terreno tales como la conductividad térmica, clima,...etc. de la zona. A todos estos estudios, hay que añadirle las necesidades específicas de la vivienda que se va a climatizar, de tal manera que estas influirán de forma importante en el estudio, por lo que será una propiedad esencial a tener en cuenta.

El trabajo de fin de grado que aquí se plantea se corresponde con un estudio de geología aplicada de carácter marcadamente interdisciplinar sobre el uso de la geotermia de muy baja temperatura para la climatización y uso de agua caliente sanitaria en una vivienda de la localidad de Alfaro (Logroño); concretamente, para el estudio de un hotel-restaurante de la localidad (La Fonda).

Estos estudios pasan, en primer lugar, por conocer las necesidades de climatización o la demanda energética de la vivienda en concreto. Una vez conocidas estas necesidades, se procede a establecer las características del terreno en el que se va a realizar la Geotermia para determinar la capacidad de disipación de calor del terreno. A partir de este dato, se obtendrá la conductividad y la variación térmica de temperaturas que permite dicho terreno. La capacidad de disipación del terreno depende, principalmente, de la litología y de la presencia o no de acuífero; el cual, también condiciona el tipo de relleno en las perforaciones que deben realizarse.

Todos estos datos, junto con las características climáticas de la zona en la que se ubica la vivienda a climatizar, propiedades de los materiales de instalación, etc., nos permitirán determinar la entidad de la instalación geotérmica que se precisa y si ésta es o no rentable.

1.2 Contexto geográfico y geológico

La localidad de Alfaro se sitúa en la parte más oriental de La Rioja Baja. Se dispone a orillas del río Ebro, concretamente a la altura de la desembocadura del río Alhama. El área de estudio se sitúa dentro del Mapa geológico España a escala 1:50000, hoja nº 244 (Alfaro).

En esta zona se pueden diferenciar toda una serie de materiales terciarios y cuaternarios, desde el Stampiense (Oligoceno), hasta las terrazas fluviales más modernas del Holoceno

(Figs.1.1 y 1.2). Estas terrazas fluviales se asientan sobre los materiales plegados de las sierras sur-pirenaicas navarras (situadas al norte y noreste) y la sierra de Cameros (situada al sur y suroeste). En Alfaro estas terrazas se disponen discordantemente sobre las Formaciones Lerín y Alfaro, que se identifican en el flanco sur del Anticlinal de Arguedas, una de las estructuras de la cadena sur-pirenaica Navarra (Fig. 1.3).

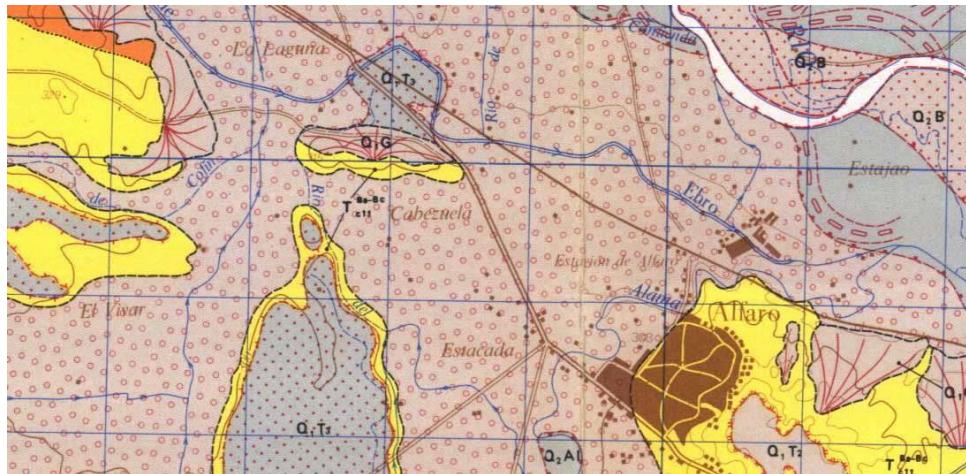


Figura 1.1.- Cartografía geológica de la localidad de Alfaro y sus alrededores (Beroiz y Solé, 1977).

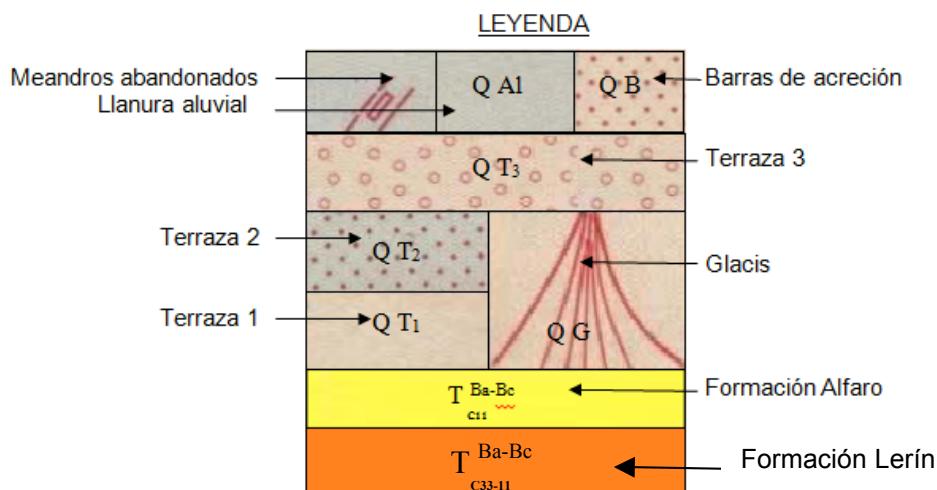


Figura 1.2.- Leyenda del mapa geológico de Alfaro y sus alrededores (Beroiz y Solé, 1977).

Las unidades presentes en los alrededores de la localidad de Alfaro son:

- **Formación Lerín:** Comprende el Chatiense y el Aquitaniense inferior (Oligoceno superior-Mioceno inferior). Esta formación aparece a ambos lados del anticlinal de Arguedas con potencias que varían a ambos flancos del anticlinal. En el flanco sur, sobre el que se asientan las terrazas fluviales presentes en Alfaro, la potencia es de alrededor de 400 m. (Fig. 1.3). Litológicamente, esta formación tiene dos tramos litológicos distintos; uno más yesífero y otro más arcilloso. En la zona de estudio, en el flanco sur del anticlinal de

Arguedas, solo se aprecia el tramo más yesífero. En esta formación además, destacan algunos niveles de halita y otros más finos de areniscas y calizas intercalados con los yesos (Beroiz y Solé, 1977). El color o tono más característico de esta formación es el pardo-amarillento.

- **Formación Alfaro:** Se dispone sobre las últimas capas de yeso de la Fm. Lerín. Abarca, desde el Aquitaniense inferior hasta el Vindoboniense, por lo que abarca casi todo el Mioceno. Esta formación, sin embargo, no aparece en el flanco norte del anticlinal de Arguedas, donde cambia de facies a la Fm. Tudela. Es complicado precisar la potencia de esta formación, debido a que no tenemos en ninguna zona el techo de la misma; no obstante, en la localidad de Alfaro se han medido hasta 50 m de potencia. (Fig. 1.3). Litológicamente, se compone de arcillas y limos que le aportan el tono rojizo a esta formación. Además aparecen intercalados niveles de areniscas con elevada proporción de granos de cuarzo y muy poco cementadas (Beroiz y Solé, 1977; Casas y Román, 1999).

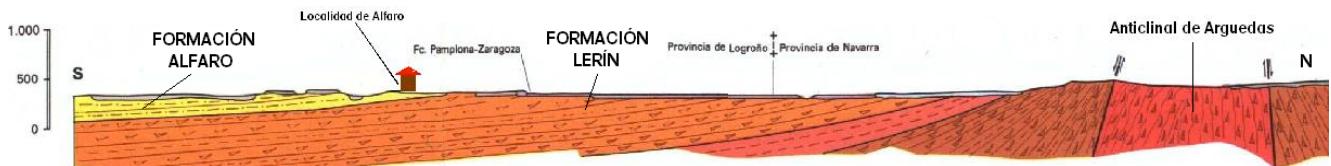


Figura 1.3.- Corte geológico N-S del flanco meridional del anticlinal de Arguedas (Beroiz y Solé, 1977)

Los materiales cuaternarios de esta zona están representados por los sistemas de terrazas de los ríos Ebro y Alhama. Dentro de todo el sistema de terrazas del Ebro diferenciamos en los alrededores de Alfaro tres de ellas, situadas cronológicamente una a mediados del Pleistoceno, otra a finales y otra a comienzos del Holoceno (Beroiz y Solé, 1977). A su vez, también se distinguen las llanuras aluviales de los ríos ya mencionados y un sistema de glacis en la parte más oriental del pueblo, en la carretera de Castejón.

1.3 Hidrogeología

En este apartado se expone la hidrogeología de la zona de estudio, a partir de los datos extraídos de diversos trabajos y estudios formalizados por la confederación hidrográfica del Ebro (CHE, 1995 a, b y c). La localidad de Alfaro se encuentra, hidrogeológicamente, dentro del dominio aluvial del Ebro y más concretamente dentro de la unidad hidrogeológica nº 405: "aluvial del Ebro: Lodosa-Tudela", en su zona media (Fig. 1.4).

En esta unidad hidrogeológica identifican las formaciones aluviales del río Ebro comprendidas en el tramo entre las localidades de Lodosa y Tudela así como los aluviales de sus afluentes Ega, Arga, Aragón, Cidacos y Alhama. Estos, junto con el Ebro, son los ríos que se relacionan con la unidad. En esta unidad se encuentra un único acuífero de carácter

libre, el aluvial del Ebro, constituido por las formaciones aluviales actuales y las terrazas bajas conectadas hidráulicamente con los cauces principales (terrazas de hasta 10 m). Las terrazas más altas, sin embargo, permanecen generalmente desconectadas, dando lugar a pequeños acuíferos colgados. Todos estos depósitos, descansan sobre las Fms. Alfaro y Lerín, constituidos principalmente por arcillas, yesos y margas, considerándolos como yacente de baja permeabilidad.

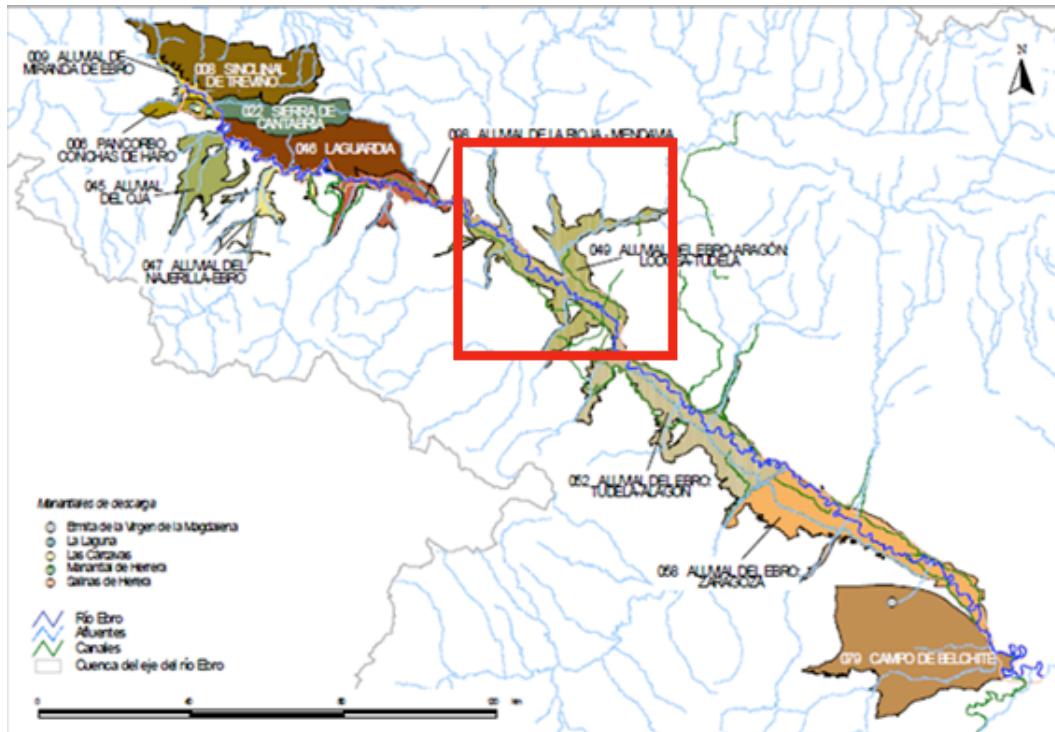
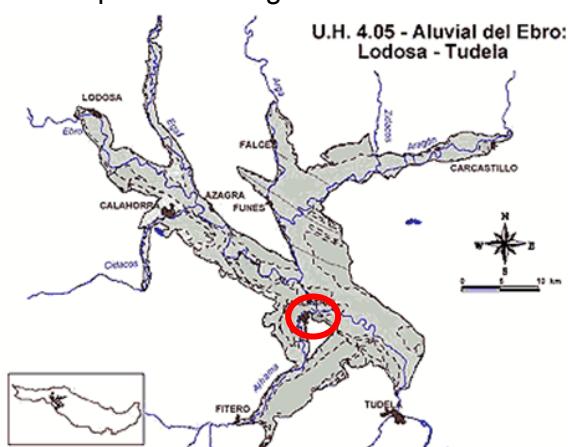


Figura 1.4.- Cartografía hidrogeológica de la cuenca del río Ebro. En el recuadro está representada la unidad hidrogeológica en la que se encuentra la localidad de Alfaro (CHE, 1995c).

Este acuífero varía de espesor con 10-20 m a la altura de Logroño, y llegando en la desembocadura del Alhama con el Ebro hasta 40 m, con espesores saturados comprendidos generalmente entre 7 y 25 m en la localidad de Alfaro (Fig. 1.5). No obstante, a medida que se asciende por el río Alhama, este espesor se va reduciendo hasta los 10-15 m de potencia. La geometría de la unidad es de perfil fusiforme, típica de acuíferos aluviales.



La recarga de la unidad se realiza por infiltración del agua de lluvia y retornos de riego, además del almacenamiento en ribera en épocas de avenida, aportes de barrancos laterales y aportes subterráneos del aluvial aguas arriba de la unidad.

Figura 1.5.- Cartografía de la U.H. Lodos-Tudela. El círculo señala la zona de estudio (CHE, 1995c).

Los recursos de esta unidad hidrogeológica se han estimado entre 135 y 206 hm³ al año.

1.4 Metodología

A la hora de realizar un estudio de climatización en una vivienda o en cualquier recinto, deben seguirse una serie de rigurosos pasos con el fin de determinar, con la mayor fiabilidad posible, si es rentable una instalación de geotermia de baja temperatura en esa vivienda o recinto específico.

En primer lugar es necesario conocer las necesidades de climatización de la vivienda. Este estudio, dependiendo de las características del edificio a climatizar, se puede hacer de forma manual, mediante un programa informático (Cype) o bien, a partir del gasto histórico del edificio, cuando se disponga de este dato.

A continuación se realiza un sondeo inicial de 100 m de profundidad y se analiza y estudia la litología presente en la zona, así como la presencia o ausencia de acuíferos. Tras la realización de dicho estudio se procede al relleno del pozo con bentonita, si se carece de acuíferos someros o con gravas en presencia de acuíferos subsuperficiales.

Después se realiza el Tests de Respuesta Térmica (TRT) en el sondeo inicial, cuyo objetivo es reproducir el comportamiento geotérmico de los diferentes horizontes litológicos frente a las inyecciones de calor en el terreno. Además según la normativa VDI-4640, en proyectos de más de 30 Kw, es obligatoria la realización de un test de respuesta térmico. Este Test, consiste en hacer circular entre 48 y 72 horas un fluido caloportador a través del pozo intercambiador de calor y monitorear la temperatura de entrada y salida del sistema. (Mattson *et al.*, 2007). A partir de este test conoceremos una serie de parámetros como la potencia real que nos da el terreno, la conductividad térmica, la difusividad térmica y la resistencia térmica.

Una vez conocidas las necesidades de la vivienda o potencia energética que precisa la vivienda, la litología, los datos físicos del terreno y la presencia o ausencia de acuíferos se procede a estudiar la posibilidad de la geotermia en el terreno. Este análisis se hace a partir de un programa informático denominado EED (Earth Energy designer), a partir del cual conoceremos las características de la estación geotérmica que cubra las necesidades del edificio (número de pozos que debemos hacer, profundidad de los mismos y la distancia o espaciado óptimo entre cada uno de ellos) (Blomberg *et al.*, 2008).

2.- La Energía geotérmica

En este apartado se va a realizar una revisión de los aspectos más relevantes de la geotermia de baja temperatura extraídos, en su mayoría, del Manual de geotermia publicado en 2010 por las entidades Geoplat (Plataforma de geotermia de España), IDEA (Instituto para la diversificación y ahorro de la energía) e IGME (Instituto geológico y minero de España).

La energía geotérmica es el calor procedente del interior de la Tierra. Esta energía es económica y ecológica, ya que este calor procede de la radiación solar, del calor residual (de la formación del planeta hace 4.500 millones de años), y de la desintegración de isótopos radiactivos (presentes en la corteza y en el manto).

La energía geotérmica aprovecha la temperatura constante existente dentro del terreno para absorber o disipar calor en la instalación. Es una técnica que utiliza el calor procedente del interior de la tierra para climatizar espacios; para calefacción en invierno o para refrigerar en verano, así como para ACS durante todo el año o generación de electricidad con la geotermia de alta entalpía.

Existe geotermia de alta, media, baja y de muy baja temperatura; esta última es el tipo de energía geotérmica más extendida por ser localizable en el 90% de la superficie terrestre. Es conocida por ser la fuente de energía más eficiente y más barata para climatizar edificios (calefacción y refrigeración de espacios) y para generar Agua Caliente Sanitaria (ACS). (Orche *et al.*, 2008).

Con la Geotermia de muy baja temperatura se consiguen ahorros de consumo de hasta un 75% en calefacción, refrigeración y ACS con respecto a las energías fósiles. La inversión inicial se amortiza rápidamente y revierte grandes ahorros económicos al usuario. Contribuye a la mejora del medio ambiente ya que las emisiones de CO₂ se reducen drásticamente (Orche *et al.*, 2008)

Para la realización de una instalación geotérmica debemos conocer las características geológicas (conductividad, presencia de agua, litología...) y climáticas del emplazamiento. También tenemos que estudiar el uso que se va a hacer del edificio y la ocupación entre otras características.

2.1 Geotermia de muy baja temperatura

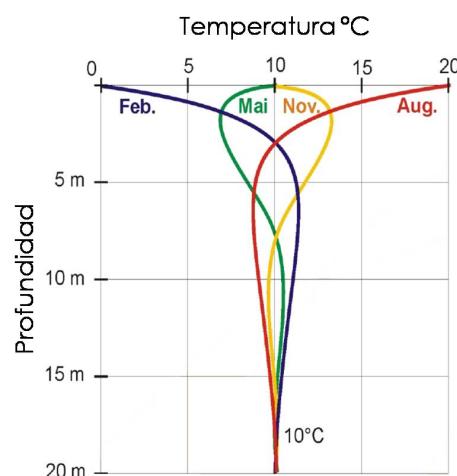
La energía geotérmica de muy baja entalpía (o temperatura) basa sus aplicaciones en la capacidad que el subsuelo posee de acumular calor y de mantener una temperatura

sensiblemente constante, entre los 10 y 20 m de profundidad, a lo largo de todo el año (Geoplat *et al.*, 2010).

Debido a que el contenido en calor de los recursos geotérmicos de baja entalpía es insuficiente para producir energía eléctrica, aquellos recursos con temperaturas por debajo de 50° e incluso hasta 15°C, pueden ser utilizados para producción de agua caliente sanitaria y para climatización, ayudándose de un sistema de bomba de calor.

Si hacemos un estudio de la temperatura que tiene el subsuelo a medida que profundizamos en diferentes épocas del año (Fig. 2.1), obtendremos: a) En invierno (línea azul), a medida que profundizamos, la temperatura va aumentando hasta alcanzar un valor fijo de 10 °C. b) En verano (línea roja) ocurre lo contrario; a medida que profundizamos la temperatura desciende hasta los 10 °C. c) En primavera y otoño (líneas amarilla y verde) las variaciones son menores y también se estabilizan a los 10 °C a los 20 metros de profundidad

Figura 2.1.- Variaciones de la T° de la Tierra con la profundidad en distintas épocas del año (tomada de Geoplat *et al.*, 2010).



Estas características hacen que este tipo de energía se pueda utilizar a lo largo de todo el año y que sea accesible en cualquier lugar. En España se estima que la temperatura media del subsuelo puede estar en torno a los 15 °C, algo inferior a muchos países Europeos.

2.2 Captación de la energía geotérmica

La captación de esta energía geotérmica se realiza mediante la colocación en el terreno de unos captadores de energía por los cuales circulará un fluido, normalmente agua glicolada, que al ponerse en contacto con el subsuelo, captarán o cederán energía como consecuencia del salto térmico que hay entre el fluido y el terreno. También es posible extraer las aguas subterráneas y aprovechar su temperatura. Los sistemas que se pueden emplear para la captación de la energía geotérmica son básicamente cuatro (Geoplat *et al.*, 2010):

- La captación vertical (Fig. 2.2 A) consiste en la ejecución de una o varias perforaciones en las cuales se introducirán los captadores de energía. Su longitud varía entre los 50 m aproximadamente hasta los 200 m. Tienen la ventaja de que

ocupan poco espacio y proporcionan una gran estabilidad de las temperaturas. Por el contrario, su ejecución es más cara que otros sistemas de captación.

- La captación horizontal (Fig. 2.2 B) consiste en la ejecución de una serie de zanjas en las cuales se colocan los colectores de energía. Con una profundidad de entre los 0,6 m a 1,5 m .Se trata de un sistema económico que requiere bastante superficie de terreno.
- La captación de lagos o ríos (Fig. 2.2 C) es sin duda el sistema más económico pero que, sin embargo, no es muy frecuente en nuestro país por la escasez de grandes lagos o ríos. Consiste en la introducción dentro del agua de los captadores energéticos que realizarán el intercambio energético
- Captación de aguas subterráneas (sistema abierto) (Fig. 2.2 D): existe la posibilidad de extraer agua subterránea por una perforación, llevarla a la bomba de calor y tras el intercambio energético, devolverla al subsuelo por otra perforación diferente. Es necesario un caudal mínimo en la vida de la instalación.

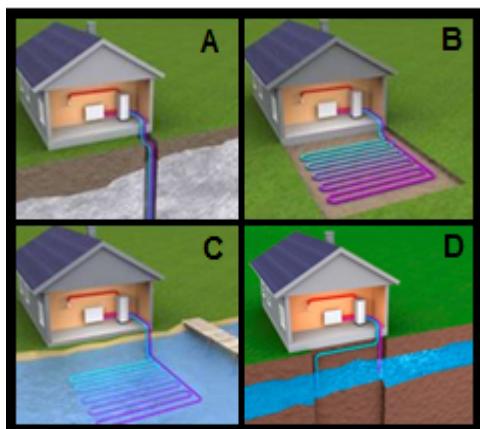


Figura 2.2.- Tipos de captación de la energía geotérmica de muy baja temperatura (tomada de Geoplat et al., 2010). A.- Captación vertical, B- Captación horizontal, C- Captación de lagos o ríos, D- Captación de aguas subterráneas (sistema abierto).

3.- Estudios previos

3.1 Necesidades de climatización de la vivienda

Como ya se ha mencionado anteriormente, este estudio se ha centrado en las necesidades de climatización de un hotel-restaurante localizado en el centro del término municipal de Alfaro denominado “La Fonda”.

Para conocer las necesidades de climatización del establecimiento o la demanda energética que requiere una vivienda, se deben tener en cuenta, tal y como se refleja en el reglamento

de instalaciones térmicas en edificios (RITE, 2007) y en el código técnico de la edificación (CTE, 1999) las siguientes características de la misma:

- Espacio de la vivienda: Es necesario conocer, con la mayor precisión posible, los m³ que posee la vivienda en la que se quiere realizar la instalación de geotermia.
- Superficie de la vivienda: Además del volumen que ocupa la vivienda se precisa conocer los m² de la misma, en todos y cada uno de los pisos.
- Zona climática en la que esta asentada la vivienda: Un breve estudio detallado del clima de la zona sobre la que se asienta la vivienda, es fundamental para conocer la demanda energética exigida por la vivienda.

A la hora de determinar y calcular la potencia energética exacta, para edificios de nueva construcción, existen 2 métodos (RITE, 2007 y CTE, 1999):

- Manual: Este método consiste en medir con la mayor precisión posible la superficie y el volumen de la vivienda, que junto con el estudio climático de la zona y el año de construcción de la vivienda, se calcula en Kw/h, la demanda energética que requiere la vivienda. Se utiliza en viviendas con estructuras relativamente simples.
- Con el programa “Cype”: este método se utiliza a la hora de calcular la demanda energética en viviendas con estructuras complejas. Simplemente el programa, tras introducir una serie de datos de volumen, superficie, año de construcción y climatología; extrae o muestra la necesidad energética que requiere la vivienda.

En nuestro caso, sin embargo, la instalación es realizada en una reforma del hotel-restaurante de La Fonda. Por tanto, la demanda energética del recinto va a ser calculada y obtenida a partir de las facturas de gas de años anteriores. Así pues sabemos que la demanda energética del recinto es de 130 MWh/año. Para justificar la potencia de la caldera (80Kw) nos fijamos en la demanda energética de la vivienda y en las horas de funcionamiento diarias de la caldera (8 horas, valor obtenido con un contador de horas). Así pues, se determinó que la instalación estaba bien dimensionada. Por tanto, antes y después del proyecto de geotermia, la potencia de la instalación permanece constante.

3.2 Estudio del terreno

Una vez conocidas las necesidades energéticas de la vivienda, se procede a realizar el análisis del terreno. Para ello se realizó un sondeo inicial de 100 metros de profundidad, en los terrenos del restaurante a partir del cual se caracterizó la litología, su espesor y la presencia o ausencia de acuífero.

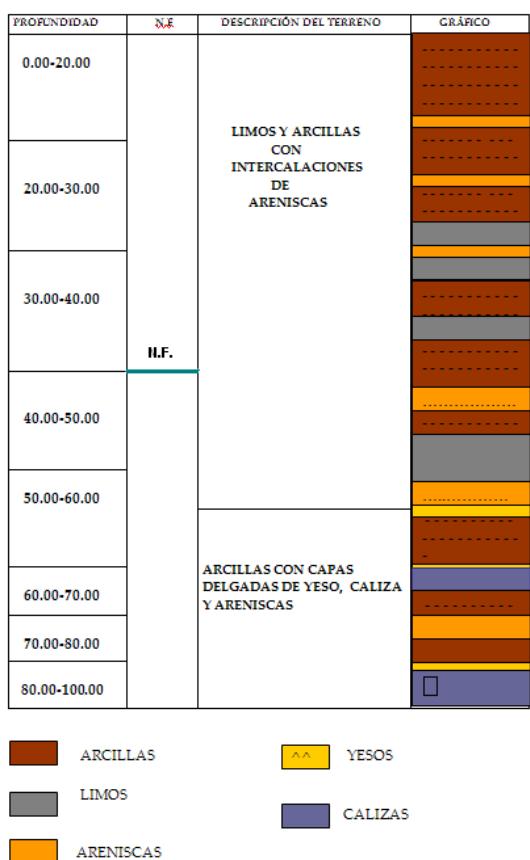
La perforación de este sondeo se inicia con lodos (perforación para materiales relativamente blandos). No obstante, a los 25 m de perforación, el tubo de encamisar (donde conecta con

el martillo de perforación) es más grande que las mordazas (que sujetan el martillo y el tubo de encamisar) y no hay espacio suficiente para continuar. Se opta, entonces, por perforación seca con martillo en fondo (tipo de perforación con mayor incisión en el terreno, para materiales relativamente más duros).

La caracterización litológica se hizo a partir de los testigos del sondeo. Así pues la serie estratigráfica obtenida y estudiada presenta 2 tramos muy claros (Fig. 3.1) (Pérez, 2010).

- El tramo inferior está formado por unos 40 metros de arcillas con intercalaciones de arenas, calizas y yesos. Este tramo se corresponde con la Fm. Lerín.
- El tramo superior está representado fundamentalmente por 60 metros de arcillas con escasas intercalaciones de areniscas rojas y algún nivel de limos. Este tramo se corresponde con la Fm. Alfaro.

PERFIL ESTRATIGRÁFICO



-La profundidad a la que se sitúa el límite entre estas dos unidades se mantiene relativamente constante en las inmediaciones de Alfaro, variando entre los 50 y los 60 m de profundidad (Pérez, 2010)

A los 40 metros de profundidad se detecta la presencia del acuífero en la zona. No obstante, el nivel freático en esta zona puede variar en cortas distancias (deducido de anteriores proyectos de geotermia realizados cerca de La Fonda).

Figura 3.1.- Columna estratigráfica del sondeo realizado en La Fonda. Modificado de Pérez (2010).

3.3 Tipo de relleno del sondeo

El tipo de relleno del sondeo va a depender de la presencia de agua en el pozo, de la profundidad del mismo y de la profundidad a la que se alcanza el nivel freático. El principal

objetivo es que se mantenga o aumente la conductividad térmica del pozo. Así pues hay 2 tipos de relleno (Fernández *et al.*, 2010):

- Bentonitas: tipo de relleno de perforaciones utilizado en aquellos pozos donde no se localiza ningún acuífero; no se alcanza el nivel freático a lo largo de todo el pozo (Fig. 3.2).

Figura 3.2.- Relleno de sondeo de bentonitas.



- Gravas: La presencia de agua va a favorecer la eficacia del pozo; la conductividad térmica en el mismo va a ser favorablemente mejor. Por tanto, en el caso de encontrar el nivel freático a cierta profundidad, se llenará el pozo con gravas (Fig. 3.3) para que el agua circule a través de las mismas. Con esto se consigue que el pozo se llene de agua, y la conductividad térmica del mismo aumente considerablemente.

Figura 3.3.- Relleno de sondeo de gravas.



- Combinación de las 2 anteriores: en el caso de encontrar el nivel freático o el acuífero a una cierta profundidad ($>50m$), los metros inferiores del sondeo hasta la altura del nivel freático se llenan de grava y el resto bentonita.

En el caso de sondeos iniciales en instalaciones de geotermia, que tienen como objetivo obtener información y documentarse acerca de las propiedades del terreno, el relleno en la mayoría de casos es de bentonita, ya que es el material más adecuado para ello. Solo en aquellos casos en los que se tiene total seguridad de que todos y cada uno de los pozos a realizar tienen acuíferos a escasas profundidades, se rellena el sondeo inicial con grava.

3.4 Estudio del TRT (Test de respuesta térmica)

Tras la realización, estudio y muestreo del sondeo inicial y posteriormente al rellenado del mismo, se procede a estudiar las propiedades físicas del terreno, tales como el salto térmico, conductividad, difusividad y resistencia térmica, además de la potencia calorífica o real del terreno. Este estudio se realiza mediante el TRT o test de respuesta térmica.

Este test se realiza haciendo circular un fluido caloportador a través del pozo, de modo que se registran las temperaturas a la entrada y salida del mismo. El test requiere unos datos de

partida previos (Fig. 3.4) que hacen referencia tanto a datos propios del sondeo (profundidad y diámetro), datos del tanque del que parte el agua y en el que es recogida, información del fluido y de las sondas, etc.

DATOS DEL ENSAYO TRT	
Profundidad efectiva del sondeo, H (m)	100
Diámetro del sondeo (m)	0,152
Potencia calefactora/frigorífica, Q (W)	4086
Temperatura no perturbada del terreno, T_0 ($^{\circ}$ C)	18,30
Temperatura inicial del tanque ($^{\circ}$ C)	19,80
Periodo de medida (s)	60
Duración del ensayo (h)	75,78
Volumen del tanque (L)	130
DATOS DEL FLUIDO Y SONDAS	
Densidad (kg/m^3)	1000
Calor específico ($\text{J/kg}^{\circ}\text{C}$)	4180
Área transversal de la sonda (m^2)	0,0015
Velocidad del fluido (m/s)	0,21
Tiempo de paso por circuito interior	7,86
Volumen de fluido añadido (L)	160

Figura 3.4.- Conjunto de datos esenciales de partida para la realización de un TRT

Una vez establecidos estos datos de partida ya se puede realizar el test. El TRT registra estos datos cada 60 minutos a lo largo de 75,78 horas. En Fig. 3.5 y Anexo 1 se muestran los registros de la máquina, en 11 columnas, que registran los siguientes parámetros:

- N° registro: muestra el número de registro que se está grabando
- Tiempo: muestra el tiempo en segundos en el cual se ha tomado cada dato. Los datos se recogen en intervalos de 60 segundos.
- Sonda 1: muestra la temperatura en el intercambiador donde actúan las resistencias. Esta temperatura no se tiene en cuenta para el cálculo, es meramente informativa.
- Sonda 2: muestra la temperatura del fluido caloportador a la entrada del pozo.
- Sonda 3: muestra la temperatura del fluido caloportador a la salida del pozo.
- Sonda 4: muestra la temperatura exterior, temperatura ambiente. Esta temperatura se recoge solamente para comprobar que el ensayo no varía con la temperatura exterior.
- Caudal: muestra el caudal que está pasando por el circuito. Este permanece relativamente constante, aún así se mide para tener dicho valor controlado.
- Salto térmico: Diferencia entre las temperaturas de entrada y salida del pozo (S2 y S3).
- Potencia calorífica: calcula la potencia disipada en el pozo. Lo calcula a partir del salto térmico y el caudal

- Temperatura media del fluido: calcula la media entre la entrada y la salida del pozo.
- $\ln t$: calcula el logaritmo neperiano del tiempo.

t (s)	S1 (°C)	S2 (°C)	S3 (°C)	S4 (°C)	Caudal (l/min)	Salto Térmico (S2-S3)	Potencia Calor. (W)	T ^a media fluido (°C)	ln (t)
84000	25	26	23,4	13,1	18,7	2,60	3,38719333	24,70	11,34
84060	24,9	26	23,4	13,1	18,7	2,60	3,38719333	24,70	11,34
84120	24,8	26,1	23,4	13,1	18,8	2,70	3,53628	24,75	11,34
84180	24,9	26	23,4	13,1	18,7	2,60	3,38719333	24,70	11,34
84240	24,5	26,1	23,5	13,2	18,7	2,60	3,38719333	24,80	11,34
84300	25	26,1	23,4	13,2	18,8	2,70	3,53628	24,75	11,34
84360	25	26,1	23,4	13,2	18,7	2,70	3,51747	24,75	11,34
84420	24,9	26	23,4	13,2	18,7	2,60	3,38719333	24,70	11,34
84480	24,7	26	23,5	13,1	18,7	2,50	3,25691667	24,75	11,34
84540	24,4	26	23,5	13,2	18,7	2,50	3,25691667	24,75	11,34
84600	25	26,1	23,5	13,2	18,8	2,60	3,40530667	24,80	11,35
84660	25,2	26,1	23,5	13,2	18,7	2,60	3,38719333	24,80	11,35
84720	24,7	26,2	23,5	13,2	18,7	2,70	3,51747	24,85	11,35
84780	24,4	26	23,5	13,2	18,8	2,50	3,27433333	24,75	11,35
84840	25	26	23,5	13,2	18,7	2,50	3,25691667	24,75	11,35
84900	24,9	26,1	23,5	13,2	18,7	2,60	3,38719333	24,80	11,35
84960	24,6	26,1	23,5	13,3	18,7	2,60	3,38719333	24,80	11,35
85020	24,5	26,1	23,5	13,4	18,8	2,60	3,40530667	24,80	11,35
85080	24,6	26,2	23,5	13,4	18,7	2,70	3,51747	24,85	11,35
85140	25,3	26,1	23,5	13,5	18,7	2,60	3,38719333	24,80	11,35
85200	24,8	26,1	23,5	13,5	18,6	2,60	3,36908	24,80	11,35

Figura 3.5.- Datos registrados en el sondeo inicial de la fonda entre las 23,3 y las 23,6 horas desde el comienzo de la toma de datos

De estos 10 tipos de datos (no se incluye el nº de registro), 6 de ellos son suministrados por el TRT a lo largo de las 75,78 horas, pero el resto son obtenidos a partir de una serie de cálculos.

Los datos propios del TRT son: el tiempo, la temperatura en el intercambiador donde actúan las resistencias (S1), las temperaturas de entrada y salida del pozo (S2 y S3), la temperatura ambiente (S4) y el caudal (el cual permanece relativamente constante).

Los datos derivados y/o calculados con los datos registrados en el TRT son: el salto térmico, la potencia calorífica, la temperatura media del fluido en el pozo y el “In” del tiempo.

El salto térmico: El salto térmico es la diferencia entre la temperatura del agua a la entrada del pozo y la temperatura del agua en la salida del mismo → S3-S2. El salto térmico medio obtenido a lo largo del TRT realizado en La fonda es de entre 2,5 y 2,7 °C

La potencia calorífica: La potencia calorífica o potencia real del terreno, es la potencia o energía necesaria para aumentar la temperatura del fluido en una unidad de tiempo determinada. Este dato se calcula mediante una simple ecuación:

$$P = Ce \times \text{Salto térmico} \times \text{Caudal}$$

Donde P es la potencia calorífica del terreno, Ce es el calor específico del agua (valor constante), el salto térmico es obtenido a partir del TRT, y el caudal (a pesar de que es constante, se controlan sus medidas).

Así pues la potencia calorífica media que se obtiene a lo largo del TRT realizado en La fonda varía entre 3,25 y 3,5 W.

El “In” del tiempo: Lo calcula directamente, obteniendo valores que varían de 11,34 a 11,35.

La temperatura media del fluido en el pozo: Es la media aritmética del salto térmico de pozo: $((S2+S3)/2)$. Este dato dependerá en gran medida de la litología y sobretodo de la presencia de agua en el pozo. En el caso que nos ocupa varía entre 24.7 y 24.8.

A partir de todos estos datos ya se pueden deducir diferentes propiedades del terreno como la conductividad térmica, la difusividad térmica y la resistencia térmica. Los cálculos y fórmulas utilizadas para la obtención de estos datos proceden del análisis y estudio del trabajo de Mattson *et al.* (2008).

La conductividad térmica

La conductividad térmica de un terreno es una propiedad física de los materiales que mide la capacidad de conducción de calor. En otras palabras, la conductividad térmica es también la capacidad de una sustancia de transferir la energía cinética de sus moléculas a otras moléculas adyacentes (Gálvez, 2013).

La conductividad térmica del terreno en el que se dispone La Fonda, la conocemos al realizar una gráfica donde se muestra el "ln" del tiempo y la temperatura media del fluido.

En la gráfica resultante (Fig. 3.6) observamos la recta que marca la correlación entre ambos datos. La pendiente de esta recta nos dará el valor de la conductividad térmica del pozo.

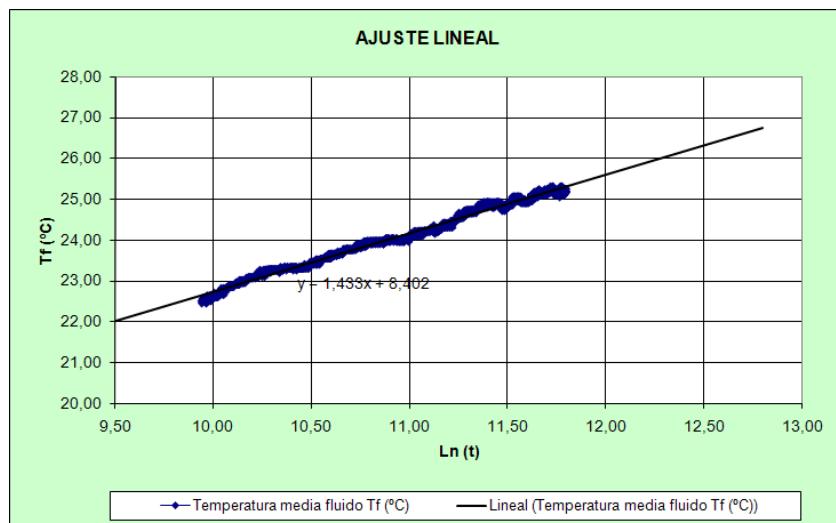


Figura 3.6.- Gráfica de correlación entre el *ln* del tiempo y la temperatura media del fluido a partir de los datos del TRT.

Así, la pendiente de la línea resultante se ajusta a la fórmula: $y = 1,433x + 8,402$

A partir de esta fórmula se obtiene que la pendiente de la recta, que se corresponde con la conductividad térmica del terreno de La Fonda, es de 1,9291 W/mK

Las temperaturas medias, necesarias para el cálculo de la conductividad térmica, entre las aguas de entrada y salida de un pozo, dependen de la litología presente y de la presencia de agua de acuíferos o no. Así pues, las conductividades térmicas resultantes de cada litología, en contacto o no con un acuífero, vienen representadas en la figura 3.7 (Pérez, 2010).

Litología → ↓ Humedad	Arcillas	Arcillas con abundantes niveles de areniscas	Arcillas con yesos	Limos con fragmentos de roca metamórfica
Secas	0,5	1,5	1,2	0,8
En contacto con un acuífero	1,5-2,3	2,7-3	1,5-2,3	

Figura 3.7.- Conductividades térmicas resultantes dependiendo del tipo de litología y la presencia o ausencia de acuíferos. Datos expresados en W/mK.

En nuestro caso, la litología que más se repite en el terreno es el de la arcilla, en ocasiones con areniscas (en el tramo superior) y otras veces con yesos (en el tramo inferior). Así pues teniendo en cuenta las variaciones del nivel freático, y la litología presente en esta zona, es lógico que el valor de la conductividad térmica en el terreno sea de alrededor de 2 W/mK (coincidiendo el valor obtenido con la media propuesta para esta litología en presencia de acuíferos).

Difusividad térmica

Es un índice que expresa la velocidad de cambio y flujo de temperaturas en un material hasta que alcanza el equilibrio térmico (David, 2009)

Así pues la difusividad térmica de los materiales del terreno sobre el que se asienta La Fonda se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$\alpha = \lambda / p * c_e$$

Donde α es la difusividad térmica, λ es la conductividad térmica (1,9291 W/mK), p es la densidad del agua (1000 kg/m³) y c_e es el calor específico del agua (4180 J/Kg°C).

Así pues aplicando esta fórmula y teniendo en cuenta el valor de la conductividad térmica obtenido anteriormente se calcula la difusividad térmica del terreno de la Fonda, que va a ser de 4,615E⁻⁷ m²/s

Resistencia térmica

Es la capacidad de los materiales para oponerse al paso del calor. Es la magnitud inversa de la conductividad térmica (Gálvez, 2013)

La resistencia térmica del terreno de La Fonda, se calcula mediante una compleja fórmula (Fig. 3.8):

$$\begin{aligned} T_f(t) - T_0 &= \frac{q_c}{4\pi\lambda} \left(\ln\left(\frac{4\alpha t}{r_b^2}\right) - \gamma \right) + q_c R_b \\ &= \frac{q_c}{4\pi\lambda} \ln(t) + q_c \left[R_b + \frac{1}{4\pi\lambda} \left(\ln\left(\frac{4\alpha}{r_b^2}\right) - \gamma \right) \right] \end{aligned}$$

Figura 3.8.- Fórmula de la resistividad térmica de un terreno

Esta fórmula depende del salto térmico ($T_f - T_0$), la conductividad térmica del terreno (λ), el radio del pozo (r_b), la inyección de calor constante en el terreno (q_c), el tiempo (t), la

difusividad térmica (α), la constante de Euler (γ) y por la resistencia térmica (R_b) (Mattson *et al.*, 2008)

Así, mediante la aplicación de esta fórmula en nuestro terreno, obtenemos el valor de la resistencia térmica para los materiales que lo forman, que es 0,0709 K/Wm

4.- Cálculo del aprovechamiento geotérmico

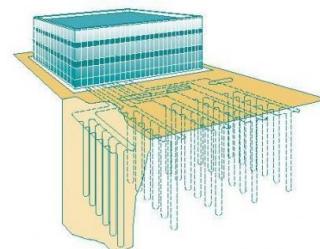
Una vez que ya tenemos todos y cada uno de los datos necesarios para realizar el cálculo del aprovechamiento geotérmico de la localidad de Alfaro, tanto la información de la vivienda (necesidad energética del edificio o el estudio de la climatización de la vivienda), como toda la información del terreno (datos geológicos y geofísicos), podemos proceder a calcular las características que deberá tener la instalación de energía geotérmica para satisfacer las necesidades del edificio a climatizar. Las características de la instalación vienen definidas por el número de pozos que se necesitas, su profundidad y la distancia que debe existir entre cada uno de ellos (Blomberg *et al.*, 2008).

Para realizar este cálculo, introduciremos todos y cada uno de los datos registrados y calculados en un programa de ordenador conocido como EED (“EarthEnergyDesigner”) (Fig. 4.1). EED es un programa de PC para el diseño de sonda geotérmica vertical. Su facilidad de uso, corta curva de aprendizaje, los tiempos de cálculo y bases de datos rápidas inherentes, hacen del programa EED una herramienta de elevada utilidad en el campo de la geotermia para el diseño de un sistema de bomba de calor geotérmica (GSHP) como el del hotel-restaurante de La Fonda

En este programa podemos comprobar cómo determinados factores y datos influirán en mayor medida a la hora de calcular las profundidades de cada pozo; otros, sin embargo, nos ayudarán a determinar la distancia entre cada uno de ellos, y otros datos serán utilizados principalmente para determinar el nº de pozos.

Figura 4.1.- Logotipo del programa EED versión 3.0, utilizado en el cálculo de esta instalación.

EED 3.0
Earth Energy Designer



En cuanto a los datos geológicos registrados, la litología del terreno nos ayudará principalmente a conocer la profundidad de cada pozo y el número de pozos necesarios. No obstante, la presencia o ausencia de acuífero en la zona será un gran condicionante de la conductividad térmica del pozo y la difusividad del mismo. Esta información será necesaria para calcular la distancia que debe existir entre cada uno de los pozos. La conductividad térmica también influye en el número de pozos.

4.1 Cálculo del aprovechamiento geotérmico de La Fonda

En primer lugar se introducen en el programa las propiedades del suelo o del terreno (Fig. 4.2 A). En este apartado será necesario introducir la conductividad térmica hallada (1,929 W/mK), la capacidad calorífica volumétrica del relleno (para la bentonita es $2,16 \text{ M}^3/(\text{m}^3 * \text{K})$), la temperatura de la superficie de la tierra (temperatura ambiente) que es 18,3 °C y el calor geotérmico del fluido dependiente del lugar de La Tierra en el que nos encontremos. Para toda la cuenca del Ebro se coge el valor de Zaragoza, por lo que este valor es de 0,07 W/m².

En segundo lugar se deben introducir las características del pozo o sondeo inicial y del intercambiador o tanque de calor del TRT (Fig. 4.2 B). En este apartado primeramente se indica el tipo de sonda a utilizar en los sondeos (U-Simple) y su configuración dentro del programa (283), a continuación se expone la profundidad del sondeo inicial (100 m) y el espaciado entre pozos, si es que se tiene alguna preferencia, que no es nuestro caso, por lo que se deja el espaciado que indica el programa como estandar. Después se indica el diámetro del pozo (110 mm). A continuación se indica el estado de contacto entre el tubo y el fluido y se indica, si existe, la presencia de burbujas dentro del tubo. En este cálculo y en la mayoría se supone un contacto perfecto con una resistencia de 0 mK/W. Luego se indica la conductividad térmica del tipo de relleno a utilizar (para la bentonita es 0,6 W/mk).

También en este apartado se muestran las características del tubo o sonda (Fig. 4.2 B). De modo que se indican el diámetro exterior (40 mm), el grosor de la pared (3,7 mm), la conductividad térmica del material de la sonda (en nuestro caso se utiliza polietileno, cuya conductividad térmica es de 0,420 W/mK y el espaciado entre los tubos de entrada y de salida (en nuestros sondeos es de 70 mm).

Seguidamente se indica la resistencia térmica del pozo (Fig. 4.2 C), cuyo valor lo hemos obtenido, para la zona de estudio, mediante el análisis del TRT: 0,0709 mK/W.

Posteriormente se introducen las características y propiedades del fluido a utilizar como fluido caloportador de la instalación. En el programa simplemente se debe indicar el tipo de

fluído que se va a utilizar. En nuestro caso utilizaremos agua con glicol cuyas características se muestran en la Fig. 4.2 D.

A

B

C

D

E

F

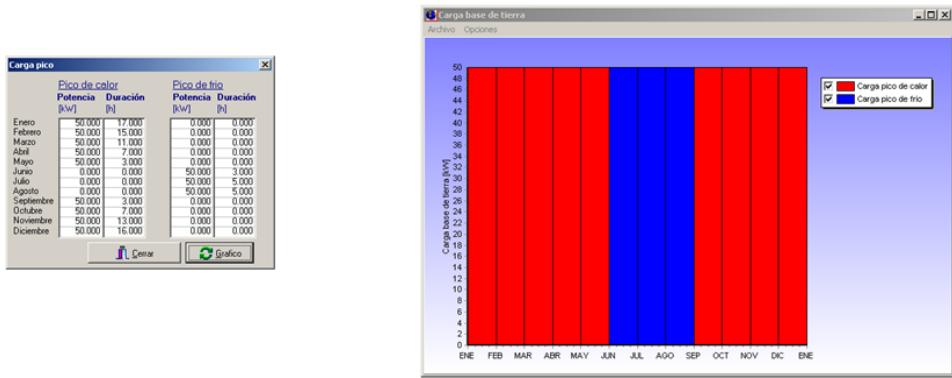


Figura 4.2.- Apartados del programa EED versión 3.0 para la obtención de una correcta y productiva instalación de geotermia en La Fonda. A.- Propiedades del terreno. B.- Pozo e intercambiador o tanque de calor. C.- Resistencia térmica del pozo. D.- Calor fluido portador. E.- Carga base. F.- Carga pico.

Seguidamente se introducen los datos de la carga base, es decir, la potencia media máxima que se puede requerir el edificio en cada mes del año a partir del cual se muestra la demanda energética o necesidad de climatización del recinto por meses. Además se expone el calor necesario y el agua caliente doméstica (ACD) anuales. Esta carga base en relación a cada mes del año viene indicada en el gráfico de la Fig. 4.2 E.

En el último apartado se muestran la carga pico o potencia máxima que puede requerir el edificio o recinto en un momento dado en cada uno de los meses del año (Fig. 4.2 F). Así comprobamos que teniendo en cuenta la demanda energética del edificio (130 MWh/año) y la potencia de la caldera existente (80 Kw), dicho pico asciende hasta 50 Kw en todos los meses, menos en los de verano.

Una vez introducidos todos los datos, se especifican las limitaciones que puede tener el edificio o recinto donde se va a realizar la instalación (Fig. 4.3). En nuestro caso, para La Fonda, ponemos el área que disponemos para la perforación de los pozos ($300 \times 200 \text{ m}^2$). El espaciado entre pozos queremos que sea de 6 metros, ya que para esta zona es la más óptima teniendo en cuenta la litología y propiedades de los materiales y el nivel freático de la zona. La profundidad de los pozos no puede superar los 125 metros, no obstante, deben superar los 100 m para obtener un buen rendimiento de los mismos. Y no se desean realizar más de 11 pozos teniendo en cuenta, principalmente, la accesibilidad de maquinaria a la zona (Fernando Baños, *com. pers.*).

Optimización EED.DAT										
Archivo		Configurar		Optimizar		Paso de grilla		ordenar		
Área máxima de terreno	300	x	200	m ²	Configurar	<input checked="" type="checkbox"/> Paso de grilla automático	45/45 "5 x 5, L-configuration"	2	m	
Espacio entre pozo	6	-	6	m	Espaciado	<input type="checkbox"/> Redondear valores	6 m	<input type="checkbox"/> Longitud total	<input type="checkbox"/> Coste	
Profundidad pozo	100	-	125	m	808 Casos intentados	<input type="checkbox"/> Listar también casos con advertencias	Mejores configuraciones: 7 26 8 27 9 34 138 28 40 45			
Maximo número de pozos	11				Análisis iniciado 14:32:43, parado 14:32:47 tiempo: 3s Doble click en la columna para detalles					
Conf...	No po...	Tipo	Espaciado [m]	Profundid...	Longitud total...	Área del terren...	Longitud [m]	Anchura [m]	Comentarios	Coste (EU...)
0	1	single			110	110	1	1	Precisión ...	0
1	2	1 x 2, line	6	110	220	6	6	1	Precisión ...	0
7	8	1 x 8, line	6	124	992	42	42	1	Elegido p...	0
26	8	2 x 7, L-configur...	6	125	1002	216	36	6	Elegido p...	0
8	9	1 x 9, line	6	113	1014	48	48	1	Elegido p...	0
27	9	2 x 8, L-configur...	6	114	1024	252	42	6	Elegido p...	0
9	10	1 x 10, line	6	103	1027	54	54	1	Elegido p...	0
34	9	3 x 7, L-configur...	6	115	1032	432	36	12	Elegido p...	0
138	9	7 x 2, U-configur...	6	115	1033	216	36	6	Elegido p...	0
28	10	2 x 9, L-configur...	6	104	1036	288	48	6	Elegido p...	0
40	9	4 x 6, L-configur...	6	115	1037	540	30	18	Elegido p...	0
45	9	5 x 5, L-configur...	6	115	1038	576	24	24	Elegido p...	0
35	10	3 x 8, L-configur...	6	104	1044	504	42	12		0
147	10	8 x 2, U-configur...	6	105	1046	252	42	6		0
41	10	4 x 7, L-configur...	6	105	1050	648	36	18		0
46	10	5 x 6, L-configur...	6	105	1053	720	30	24		0
121	9	5 x 3, U-configur...	6	117	1053	288	24	12		0
130	10	6 x 3, U-configur...	6	106	1065	360	30	12		0
104	9	3 x 4, U-configur...	6	120	1084	216	18	12		0
113	10	4 x 4, U-configur...	6	109	1092	324	18	18		0
105	11	3 x 5, U-configur...	6	103	1134	288	24	12		0
175	10	3 x 4, open rect...	6	114	1137	216	18	12		0
236	10	2 x 5, rectangle	6	115	1152	144	24	6		0
67	10	3 x 4, L2-configu...	6	117	1167	216	18	12		0

Figura 4.3.- Apartado final de la Optimización EED. Datos del programa EED versión 3.0

A partir de todos los datos que hemos ido introduciendo, el programa nos ofrece las distintas posibilidades de instalación y, teniendo en cuenta que la vida útil de una instalación de geotermia es de 25 años como mínimo, elegimos aquella más adecuada. Además, cada opción ofrece 2 gráficos; uno donde se expone la temperatura del fluido máxima y mínima en el mes de menor aprovechamiento geotérmico (normalmente el último, el año 25) (Fig. 4.4) y otro donde se expone la temperatura máxima y mínima del fluido a lo largo de los 25 años de vida de la instalación (Fig. 4.5).

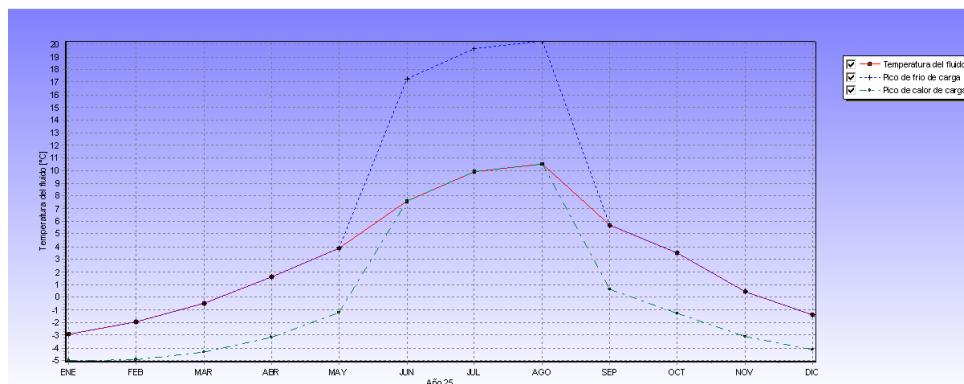


Figura 4.4.- Gráfica de la T^a del fluido en el año de menor productividad de la opción elegida

La elección entre una de las dos opciones que nos proporciona el programa será función de diversos aspectos (Fernando Baños, com. pers.):

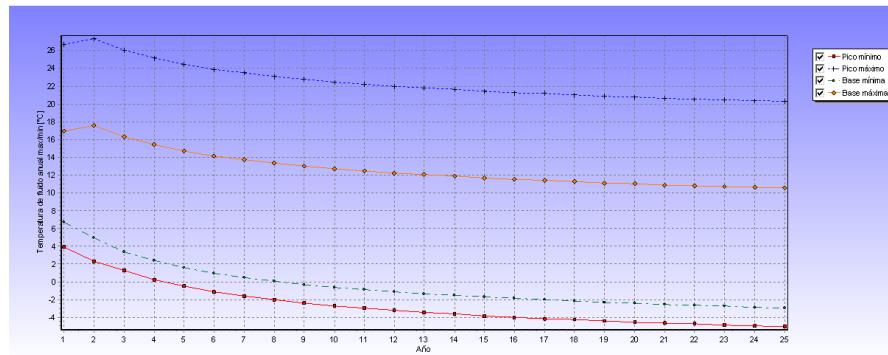


Figura 4.5.- Gráfica de las temperaturas en cada año de la instalación de la opción elegida.

- El número de pozos a realizar y la profundidad de cada uno de ellos, con la intención de que dichos datos se asemejen a las posibilidades de la instalación.
- Área del terreno que se precisa para realizar la instalación. Se debe escoger una opción donde el área del terreno a utilizar sea igual o inferior a la que se dispone.
- Temperatura mínima que puede llegar a alcanzar el fluido en el mes más frío del año de menor productividad. Esta temperatura deberá ser superior a los -14°C, temperatura de congelación del agua con glicol que es la que se utilizará en la instalación de La Fonda.
- Variación y pendiente de la curva resultante de las temperaturas máximas y mínimas a lo largo de los 25 años de vida de la instalación.

A partir de todos estos parámetro, la instalación que requiere el edificio de La Fonda estará compuesta por 11 pozos o sondeos de tipo U-simple, con 6 metros de espaciado entre cada uno de ellos. Estos sondeos serán de 103 metros de profundidad como mínimo (para cumplir con la demanda energética establecida) y ocupando un terreno de 288 m².

Además se sabe que la temperatura del fluido en el mes más frío del año menos productivo, el último, no bajará de -5°C. La temperatura de congelación del fluido caloportador (agua con glicol) es de -14°C, por lo que no habrá ningún problema en la instalación. También comprobamos que hasta los 25 años, esta instalación de geotermia va a ser factible y productiva.

5.- Rentabilidad de la instalación geotérmica

Lo más importante a tener en cuenta a la hora de realizar una instalación geotermia es que ésta sea más rentable que la calefacción mediante una caldera convencional (de gas o gasoil). Para conocer la rentabilidad de la geotermia es necesario saber los costes derivados del tipo de instalación que se va a realizar, la cual se ha seleccionado mediante el programa EED y su comparación con los gastos de la utilización de una caldera con gas.

Los gastos de la geotermia se corresponden con la suma de los costes de instalación mas los costes anuales de la energía geotérmica. Esta suma debe llegar a ser en algún momento dado menores que los gastos o costes anuales derivados de la utilización de gas o gasoil.

Para el proyecto de geotermia de La Fonda se calculan unos 130.000 € de instalación, teniendo en cuenta el tipos de instalación que vamos a realizar (11 pozos de unos 105-110 metros de profundidad, con espaciados entre ellos de 6 metros) y la facilidad que ofrece el terreno para la perforación del mismo (Baños, 2010).

Los costes anuales de la instalación geotérmica se corresponden con los costes de la obtención de agua caliente sanitaria y la calefacción, más la refrigeración (Fig. 5.1). Así pues los gastos del primer año se corresponden con 8.612,20 €. Esta cantidad irá ascendiendo a medida que pasen los años, ya que la productividad del terreno irá descendiendo lentamente; así pues se calculan unos gastos anuales en el año 16 de la instalación de 12.473,03 € (anexo II).

	COSTE ANUAL E. GEOTERMIA	COSTE ANUAL GAS	COSTE ANUAL GASOIL+REFRIG
ACS+Calefacción	7.933,14 €	16.796,79 €	23.995,41 €
Refrigeración	679,06 €	- €	- €
Total	8.612,20 €	16.796,79 €	23.995,41 €

Figura 5.1.- Relación de costes anual entre la energía geotérmica, el gas o gasoil+refrigeración

Los costes derivados de una instalación de gas o gasoil en un edificio de las características de La Fonda son de alrededor de 50.000 € (bastante menor que el de la instalación geotérmica). Sin embargo los costes anuales de gas o gasoil son superiores a los de la energía geotérmica, y además éstos también irán aumentando conforme transcurren los

años (si atendemos al comportamiento de los combustibles fósiles en los últimos años). Para el gasoil, el primer año se pagarán casi 24.000 euros y el año 16 se pagarán 46.437 euros. Para el gas, el primer año se pagarán 16.796 y el año 16 se pagarán 32.506 euros (Anexo II).

Por tanto realizando gráficas que muestren el gasto acumulativo de instalación y gasto de cada una de estas energías, tal y como se muestra en la gráfica de la figura 5.2, la inversión de la instalación se amortiza a lo largo del octavo año de vida de la misma (en comparación con una instalación de gas) y en el quinto, en comparación con una instalación de gasoil. A partir de estos años, por tanto, se rentabiliza la instalación de geotermia.

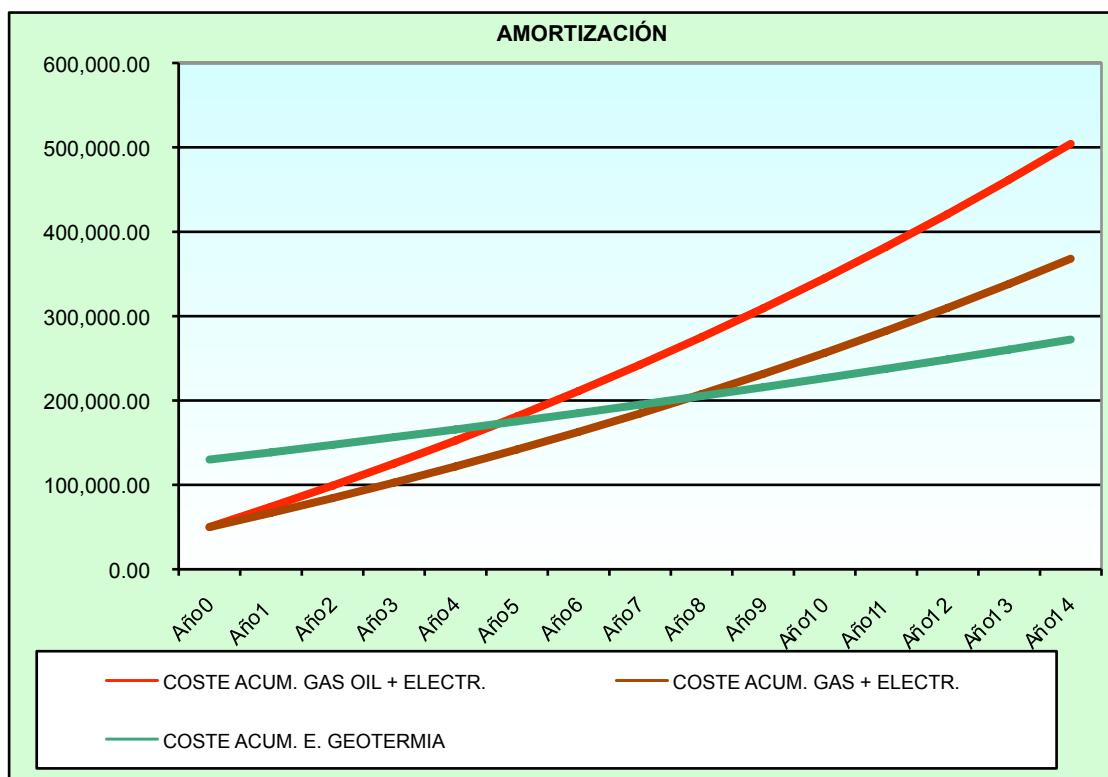


Figura 5.2.- Gráfica de la relación de costes a lo largo de 16 años entre la energía geotérmica, el gasoil y el gas.

6.- Conclusions

General conclusions it can be deduced in this work are:

- The town of Alfaro is located essentially over shaly materials from the Tertiary period (Fms Lerín and Alfaro)
- Alfaro's town is affected by the alluvial Ebro aquifer, which, in this area, is an aquifer with 40m thick
- The energetic demand of a determinated building depends from its size, the climate and variations climate in the area, and the the energy required to heat or to weatherize the building.
- The main land's characteristics to consider, at time to study the geothermal properties of a specific field, are the lithology and the presence of an aquifer. These land's characteristics are studied with a initial sounding, which has 100m deep.
- Geothermal parameters to studied geothermal properties of a land with a TRT (Thermal response test) are the lithology, the presence of an aquifer, the climate in the area and the surface's temperature. With TRT I is possible to deduce the thermic variations, the level power, the average temperature of the fluid in the sounding, thermal conductivity, thermal diffusivity and thermal resistance.
- When all dates are known, it is time to use an informatics program (EED) to know exactly the geothermal advantage of this area. This calculation will say the characteristics of the geothermal installation for this kind of building in this specific area. These characteristics are based in the number of the sounds, the deep of the sounds and the distance between them.

The profitability study in this geothermal installation shows it is economically profitable. When it will pass between five and eight years from the installation, it is going to be amortized.

7.- Referencias bibliográficas

Baños, F. (2010): *Rentabilidad Económica La Fonda*. Para: Instalaciones Enrique Pérez (IEP). Inédito, 25 p.

Beroiz, C. y Solé, J. (1977): *Mapa Geológico de España 1:50.000, hoja nº 244 (Alfaro)*. IGME, Madrid.

Blomberg, T., Claesson, J., Eskilson, P., Hellstrom, G. y Sanner, B. (2008): *Software within building physics and ground heat storage. EED 3.0 Earth Energy Designer*. BLOCON, 60 p.

Casas, A.M. y Román, T. (1999): *Geología de los alrededores de Calahorra (RIOJA BAJA)*. Zubía; 17: 165-194.

CHE (1995a): Memoria. En: *Delimitación de las unidades hidrogeológicas de la cuenca del Ebro (Plan Hidrológico)*, 1-40 .

CHE (1995b): Dominio de la Depresión del Ebro. En: *Delimitación de las unidades hidrogeológicas de la cuenca del Ebro (Plan Hidrológico)*, 100-133.

CHE (1995c): Mapas geológicos del dominio y las unidades hidrogeológicas del Dominio de la Depresión del Ebro . En: *Delimitación de las unidades hidrogeológicas de la cuenca del Ebro (Plan Hidrológico)*, 17 p.

CTE (1999): LEY 38/1999, de 5 de noviembre, de Ordenación de la Edificación. *BOE del 06/11/1999*, 266: 38925 - 38934.

David, R. (2009). *Handbook of Chemistry and Physics*. CRC Press/Taylor and Francis, Boca Raton (Florida), CRC Press. 2804 p.

Fernández, A., Sanner, B., Gieb, C., Mands, E. y Novelle, L. (2010): Influencia del tipo de relleno del sondeo en la eficiencia del campo de captación geotérmico. En. *Ingeopres: Actualidad técnica de ingeniería civil, minería, geología y medio ambiente*, 189: 62-65.

Gálvez, M.A. (2013): *Instalaciones y Servicios Técnicos*. Sección de Instalaciones de Edificios. Escuela Técnica superior de Arquitectura, U.P.M. P, 30 p.

Geoplat, IDAE e IGME (2008): *Manual De Geotermia*. IDEA, Madrid, 187 p.

Mattson, N., Steinman, G. y Laloui, L (2007): In-Situ Thermal Response Testing – New Developments. En: *European Geothermal Congress*. Proceedings, 1: 1-5

Mattson, N., Steinman, G. y Laloui, L. (2008): Advanced compact device for the in situ determination of geothermal characteristics of soils. *Energy and Building*, 40: 1344-1352

Orche, E., Fernandez, A., Novelle, L. y Caparrini, N. (2008): Investigación geotérmica y geofísica de baja entalpía en el área de Galicia. En: *I Congreso de la Energía Geotérmica en la Edificación y la Industria*. Libro de actas, 113-123.

Pérez, M. (2010): *Sondeo de La Fonda*. Informe inédito para Instalaciones Enrique Pérez (IEP), 12 p.

RITE (2007): REAL DECRETO 1027/2007, de 20 de julio, por el que se aprueba el Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios. *BOE* del 29/8/2007, 207: 35931- 35984.

8.- ANEXOS

ANEXO I. Resultados del TRT entre las 24 horas y las 26 horas y 40 mins

t (s)	S1 (°C)	S2 (°C)	S3 (°C)	S4 (°C)	Caudal (l/min)	Salto Térmico (S2-S3)	Potencia calorífica (W)	Temperatura media fluido Tf (°C)	ln (t)
86400	25	26,2	23,5	13,8	18,6	2,70	3,49866	24,85	11,3
86460	25,2	26,2	23,5	13,7	18,7	2,70	3,51747	24,85	11,3
86520	24,7	26,2	23,5	13,7	18,6	2,70	3,49866	24,85	11,3
86580	25,2	26,2	23,5	13,7	18,7	2,70	3,51747	24,85	11,3
86640	25	26,2	23,5	13,7	18,7	2,70	3,51747	24,85	11,3
86700	25,2	26,2	23,5	13,6	18,7	2,70	3,51747	24,85	11,3
86760	24,9	26,2	23,5	13,7	18,7	2,70	3,51747	24,85	11,3
86820	24,9	26,2	23,5	13,7	18,7	2,70	3,51747	24,85	11,3
86880	25	26,2	23,5	13,7	18,7	2,70	3,51747	24,85	11,3
86940	24,8	26,1	23,5	13,8	18,8	2,60	3,40530667	24,80	11,3
87000	24,9	26,2	23,6	13,8	18,7	2,60	3,38719333	24,90	11,3
87060	25,4	26,1	23,5	13,8	18,7	2,60	3,38719333	24,80	11,3
87120	25,2	26,2	23,6	13,8	18,8	2,60	3,40530667	24,90	11,3
87180	25	26,1	23,6	13,7	18,7	2,50	3,25691667	24,85	11,3
87240	24,9	26,2	23,6	13,7	18,7	2,60	3,38719333	24,90	11,3
87300	25,4	26,2	23,6	13,8	18,7	2,60	3,38719333	24,90	11,3
87360	25,5	26,1	23,5	13,8	18,7	2,60	3,38719333	24,80	11,3
87420	25,1	26,2	23,6	13,8	18,7	2,60	3,38719333	24,90	11,3
87480	25,5	26,2	23,5	13,8	18,7	2,70	3,51747	24,85	11,3
87540	24,8	26,2	23,6	13,8	18,7	2,60	3,38719333	24,90	11,3
87600	25	26,2	23,5	13,8	18,7	2,70	3,51747	24,85	11,3
87660	25	26,1	23,5	13,8	18,7	2,60	3,38719333	24,80	11,3
87720	24,8	26,2	23,5	13,9	18,7	2,70	3,51747	24,85	11,3
87780	25,1	26,2	23,5	13,8	18,7	2,70	3,51747	24,85	11,3
87840	25,3	26,1	23,6	13,9	18,8	2,50	3,27433333	24,85	11,3
87900	25,9	26,1	23,6	13,9	18,7	2,50	3,25691667	24,85	11,3
87960	24,8	26,2	23,5	14	18,7	2,70	3,51747	24,85	11,3
88020	25,2	26,2	23,6	14	18,8	2,60	3,40530667	24,90	11,3
88080	25,6	26,2	23,6	14	18,8	2,60	3,40530667	24,90	11,3
88140	25,6	26,2	23,6	14	18,8	2,60	3,40530667	24,90	11,3
88200	24,6	26,1	23,6	14	18,8	2,50	3,27433333	24,85	11,3
88260	25,6	26,1	23,6	14	18,8	2,50	3,27433333	24,85	11,3
88320	25,2	26,2	23,6	14	18,8	2,60	3,40530667	24,90	11,3
88380	24,9	26,1	23,6	14	18,8	2,50	3,27433333	24,85	11,3
88440	25,2	26,2	23,6	13,9	18,7	2,60	3,38719333	24,90	11,3
88500	25	26,2	23,6	14	18,8	2,60	3,40530667	24,90	11,3
88560	24,8	26,1	23,6	14	18,8	2,50	3,27433333	24,85	11,3
88620	25,4	26,1	23,6	14	18,8	2,50	3,27433333	24,85	11,3
88680	24,9	26,1	23,6	14	18,7	2,50	3,25691667	24,85	11,3
88740	25,4	26,1	23,6	14	18,8	2,50	3,27433333	24,85	11,3
88800	24,7	26,2	23,6	14	18,8	2,60	3,40530667	24,90	11,3
88860	25,3	26,2	23,6	14	18,7	2,60	3,38719333	24,90	11,3
88920	25,1	26,3	23,6	14	18,7	2,70	3,51747	24,95	11,4
88980	25,3	26	23,6	14	18,7	2,40	3,12664	24,80	11,4
89040	25,4	26,1	23,6	14	18,7	2,50	3,25691667	24,85	11,4
89100	24,6	26,2	23,6	14	18,7	2,60	3,38719333	24,90	11,4
89160	25	26,2	23,6	14	18,8	2,60	3,40530667	24,90	11,4
89220	24,6	26,2	23,6	14	18,8	2,60	3,40530667	24,90	11,4
89280	25	26,2	23,6	14	18,7	2,60	3,38719333	24,90	11,4
89340	24,5	26,2	23,6	14	18,6	2,60	3,36908	24,90	11,4
89400	25,5	26,2	23,6	14,1	18,8	2,60	3,40530667	24,90	11,4
89460	25,3	26,1	23,6	14,1	18,7	2,50	3,25691667	24,85	11,4
89520	25,6	26,2	23,6	14,2	18,7	2,60	3,38719333	24,90	11,4

89640	25,1	26,1	23,6	14,2	18,7	2,50	3,25691667	24,85	11,4
89700	25,2	26,1	23,6	14,3	18,7	2,50	3,25691667	24,85	11,4
89760	24,6	26,2	23,6	14,3	18,7	2,60	3,38719333	24,90	11,4
89820	25	26,1	23,6	14,3	18,8	2,50	3,27433333	24,85	11,4
89880	25	26,1	23,6	14,3	18,8	2,50	3,27433333	24,85	11,4
89940	24,9	26,1	23,6	14,4	18,7	2,50	3,25691667	24,85	11,4
90000	25,1	26,2	23,6	14,5	18,8	2,60	3,40530667	24,90	11,4
90060	24,8	26,2	23,6	14,4	18,7	2,60	3,38719333	24,90	11,4
90120	25,8	26,1	23,6	14,4	18,8	2,50	3,27433333	24,85	11,4
90180	25,1	26,2	23,6	14,4	18,8	2,60	3,40530667	24,90	11,4
90240	25,1	26,1	23,6	14,4	18,7	2,50	3,25691667	24,85	11,4
90300	25,2	26,1	23,6	14,4	18,8	2,50	3,27433333	24,85	11,4
90360	25,3	26,2	23,6	14,4	18,7	2,60	3,38719333	24,90	11,4
90420	24,7	26,1	23,6	14,3	18,7	2,50	3,25691667	24,85	11,4
90480	24,9	26,2	23,6	14,3	18,7	2,60	3,38719333	24,90	11,4
90540	24,8	26,1	23,6	14,3	18,8	2,50	3,27433333	24,85	11,4
90600	24,4	26,2	23,6	14,3	18,8	2,60	3,40530667	24,90	11,4
90660	24,9	26,1	23,6	14,2	18,8	2,50	3,27433333	24,85	11,4
90720	24,7	26,1	23,6	14,2	18,7	2,50	3,25691667	24,85	11,4
90780	24,6	26,1	23,6	14,2	18,8	2,50	3,27433333	24,85	11,4
90840	24,6	26,1	23,6	14,2	18,8	2,50	3,27433333	24,85	11,4
90900	24,9	26,1	23,6	14,2	18,7	2,50	3,25691667	24,85	11,4
90960	25,2	26	23,6	14,2	18,8	2,40	3,14336	24,80	11,4
91020	24,7	26,1	23,6	14,2	18,7	2,50	3,25691667	24,85	11,4
91080	24,7	26,2	23,6	14,2	18,8	2,60	3,40530667	24,90	11,4
91140	24,7	26,1	23,6	14,1	18,8	2,50	3,27433333	24,85	11,4
91200	25,2	26,1	23,6	14,1	18,8	2,50	3,27433333	24,85	11,4
91260	24,6	26,2	23,6	14,1	18,7	2,60	3,38719333	24,90	11,4
91320	24,6	26,1	23,6	14,1	18,7	2,50	3,25691667	24,85	11,4
91380	25	26,2	23,6	14	18,7	2,60	3,38719333	24,90	11,4
91440	25,2	26,1	23,6	14	18,6	2,50	3,2395	24,85	11,4
91500	25	26,1	23,5	14	18,6	2,60	3,36908	24,80	11,4
91560	24,9	26,1	23,6	14	18,7	2,50	3,25691667	24,85	11,4
91620	24,7	26,2	23,6	14	18,7	2,60	3,38719333	24,90	11,4
91680	24,5	26,2	23,6	13,9	18,7	2,60	3,38719333	24,90	11,4
91740	25	26,1	23,5	13,9	18,7	2,60	3,38719333	24,80	11,4
91800	24,8	26,1	23,6	13,9	18,6	2,50	3,2395	24,85	11,4
91860	25,2	26,1	23,6	13,9	18,8	2,50	3,27433333	24,85	11,4
91920	25,1	26	23,6	13,9	18,7	2,40	3,12664	24,80	11,4
91980	25,3	26,2	23,6	13,9	18,7	2,60	3,38719333	24,90	11,4
92040	24,7	26,1	23,6	13,8	18,7	2,50	3,25691667	24,85	11,4
92100	25,2	26,1	23,6	13,8	18,7	2,50	3,25691667	24,85	11,4
92160	25,6	26,1	23,6	13,8	18,7	2,50	3,25691667	24,85	11,4
92220	25,7	26,1	23,6	13,8	18,8	2,50	3,27433333	24,85	11,4
92280	24,7	26,2	23,6	13,8	18,8	2,60	3,40530667	24,90	11,4
92340	24,7	26,2	23,6	13,8	18,8	2,60	3,40530667	24,90	11,4
92400	24,5	26,1	23,6	13,8	18,8	2,50	3,27433333	24,85	11,4
92460	24,8	26,2	23,5	13,8	18,8	2,70	3,53628	24,85	11,4
92520	25,4	26,1	23,6	13,8	18,7	2,50	3,25691667	24,85	11,4
92580	25	26,1	23,6	13,7	18,8	2,50	3,27433333	24,85	11,4
92640	24,8	26,2	23,6	13,7	18,7	2,60	3,38719333	24,90	11,4
92700	24,8	26,1	23,6	13,7	18,8	2,50	3,27433333	24,85	11,4
92760	25	26,1	23,6	13,7	18,7	2,50	3,25691667	24,85	11,4
92820	24,8	26,2	23,6	13,6	18,7	2,60	3,38719333	24,90	11,4

92880	25	26,2	23,6	13,6	18,7	2,60	3,38719333	24,90	11,4
92940	24,6	26,2	23,6	13,5	18,7	2,60	3,38719333	24,90	11,4
93000	25	26,2	23,6	13,5	18,8	2,60	3,40530667	24,90	11,4
93060	24,7	26,2	23,6	13,6	18,7	2,60	3,38719333	24,90	11,4
93120	24,7	26,2	23,6	13,6	18,7	2,60	3,38719333	24,90	11,4
93180	24,5	26,1	23,6	13,6	18,7	2,50	3,25691667	24,85	11,4
93240	24,8	26,2	23,6	13,6	18,8	2,60	3,40530667	24,90	11,4
93300	24,8	26,2	23,6	13,6	18,7	2,60	3,38719333	24,90	11,4
93360	24,6	26,2	23,6	13,6	18,7	2,60	3,38719333	24,90	11,4
93420	25,1	26,2	23,6	13,6	18,7	2,60	3,38719333	24,90	11,4
93480	24,5	26,1	23,6	13,5	18,7	2,50	3,25691667	24,85	11,4
93540	24,6	26,1	23,6	13,5	18,8	2,50	3,27433333	24,85	11,4
93600	24,8	26,2	23,6	13,5	19	2,60	3,44153333	24,90	11,4
93660	24,7	26,2	23,6	13,5	18,7	2,60	3,38719333	24,90	11,4
93720	24,8	26,2	23,6	13,5	18,7	2,60	3,38719333	24,90	11,4
93780	24,6	26,2	23,6	13,4	18,7	2,60	3,38719333	24,90	11,4
93840	25,2	26,3	23,6	13,4	18,6	2,70	3,49866	24,95	11,4
93900	24,4	26,2	23,6	13,4	18,7	2,60	3,38719333	24,90	11,4
93960	24,5	26,2	23,6	13,4	18,7	2,60	3,38719333	24,90	11,4
94020	25,3	26,1	23,6	13,4	18,7	2,50	3,25691667	24,85	11,4
94080	24,7	26,2	23,6	13,4	18,7	2,60	3,38719333	24,90	11,4
94140	24,9	26,1	23,6	13,4	18,7	2,50	3,25691667	24,85	11,4
94200	24,5	26,2	23,6	13,3	18,7	2,60	3,38719333	24,90	11,4
94260	25,2	26,2	23,6	13,3	18,8	2,60	3,40530667	24,90	11,4
94320	24,6	26,1	23,6	13,3	18,8	2,50	3,27433333	24,85	11,4
94380	25,5	26,2	23,6	13,3	18,7	2,60	3,38719333	24,90	11,4
94440	24,8	26,2	23,6	13,3	18,7	2,60	3,38719333	24,90	11,4
94500	25,5	26,1	23,6	13,3	18,7	2,50	3,25691667	24,85	11,4
94560	25	26,2	23,6	13,2	18,7	2,60	3,38719333	24,90	11,4
94620	24,7	26,1	23,6	13,2	18,8	2,50	3,27433333	24,85	11,4
94680	25	26	23,6	13,2	18,7	2,40	3,12664	24,80	11,4
94740	24,7	26,1	23,6	13,2	18,7	2,50	3,25691667	24,85	11,4
94800	24,9	26,1	23,6	13,2	18,7	2,50	3,25691667	24,85	11,4
94860	24,7	26,2	23,6	13,1	18,8	2,60	3,40530667	24,90	11,4
94920	24,5	26,1	23,6	13,1	18,8	2,50	3,27433333	24,85	11,4
94980	24,6	26,2	23,6	13,1	18,7	2,60	3,38719333	24,90	11,4
95040	24,8	26	23,6	13,1	18,8	2,40	3,14336	24,80	11,4
95100	25	26,2	23,6	13	18,7	2,60	3,38719333	24,90	11,4
95160	24,5	26,1	23,6	12,9	18,7	2,50	3,25691667	24,85	11,4
95220	24,7	26,1	23,6	12,9	18,8	2,50	3,27433333	24,85	11,4
95280	24,8	26	23,6	13	18,8	2,40	3,14336	24,80	11,4
95340	24,5	26	23,6	13	18,7	2,40	3,12664	24,80	11,4
95400	24,7	25,9	23,6	13	18,8	2,30	3,01238667	24,75	11,4
95460	25	26	23,6	13	18,7	2,40	3,12664	24,80	11,4
95520	24,4	26	23,6	12,9	18,7	2,40	3,12664	24,80	11,4
95580	25,4	26	23,6	12,9	18,7	2,40	3,12664	24,80	11,4
95640	24,4	26,1	23,6	12,9	18,7	2,50	3,25691667	24,85	11,4
95700	24,7	26	23,6	12,9	18,7	2,40	3,12664	24,80	11,4
95760	24,5	26	23,6	12,9	18,8	2,40	3,14336	24,80	11,4
95820	24,7	26,1	23,6	12,9	18,8	2,50	3,27433333	24,85	11,4
95880	24,7	26,1	23,6	12,9	18,7	2,50	3,25691667	24,85	11,4
95940	24,4	26,1	23,6	12,8	18,7	2,50	3,25691667	24,85	11,4
96000	24,4	26	23,6	12,7	18,7	2,40	3,12664	24,80	11,4

ANEXO II. Relación de costes año a año entre la Energía geotérmica y la utilización de gas

	COSTE ANUAL E. GEOTERMIA	COSTE ANUAL GAS OIL	COSTE ANUAL GAS	COSTE ANUAL REFRIGER.	COSTE ACUM. E. GEOTERMIA	COSTE ACUM. GAS OIL + ELECTR.	COSTE ACUM. GAS + ELECTR.	AHORRO ACUMULADO COMPARADO CON GASOIL
Año0	130.000,00	50.000,00	50.000,00	0,00	130.000,00	50.000,00	50.000,00	-80.000,00
Año1	8.612,20	23.995,41	16.796,79	0,00	138.612,20	73.995,41	66.796,79	-64.616,79
Año2	8.827,50	25.075,20	17.552,64	0,00	147.439,70	99.070,61	84.349,43	-48.369,09
Año3	9.048,19	26.203,59	18.342,51	0,00	156.487,89	125.274,20	102.691,94	-31.213,69
Año4	9.274,40	27.382,75	19.167,92	0,00	165.762,29	152.656,95	121.859,86	-13.105,34
Año5	9.506,26	28.614,97	20.030,48	0,00	175.268,54	181.271,92	141.890,35	6.003,38
Año6	9.743,91	29.902,65	20.931,85	0,00	185.012,46	211.174,57	162.822,20	26.162,11
Año7	9.987,51	31.248,27	21.873,79	0,00	194.999,97	242.422,83	184.695,98	47.422,87
Año8	10.237,20	32.654,44	22.858,11	0,00	205.237,16	275.077,27	207.554,09	69.840,11
Año9	10.493,13	34.123,89	23.886,72	0,00	215.730,29	309.201,16	231.440,81	93.470,87
Año10	10.755,46	35.659,46	24.961,62	0,00	226.485,75	344.860,62	256.402,43	118.374,87
Año11	11.024,34	37.264,14	26.084,90	0,00	237.510,09	382.124,76	282.487,33	144.614,67
Año12	11.299,95	38.941,02	27.258,72	0,00	248.810,04	421.065,78	309.746,05	172.255,74
Año13	11.582,45	40.693,37	28.485,36	0,00	260.392,49	461.759,15	338.231,41	201.366,66
Año14	11.872,01	42.524,57	29.767,20	0,00	272.264,50	504.283,72	367.998,61	232.019,22
Año15	12.168,81	44.438,18	31.106,72	0,00	284.433,31	548.721,90	399.105,33	264.288,59
Año16	12.473,03	46.437,90	32.506,53	0,00	296.906,34	595.159,80	431.611,86	298.253,45
Año17	12.784,86	48.527,60	33.969,32	0,00	309.691,20	643.687,40	465.581,18	333.996,20
Año18	13.104,48	50.711,34	35.497,94	0,00	322.795,68	694.398,74	501.079,12	371.603,06
Año19	13.432,09	52.993,35	37.095,35	0,00	336.227,77	747.392,09	538.174,47	411.164,32
Año20	13.767,89	55.378,05	38.764,64	0,00	349.995,66	802.770,15	576.939,10	452.774,48