

Escuela Politécnica de
Ingeniería de Minas y Energía
UNIVERSIDAD DE CANTABRIA



Trabajo de Fin de Grado

Estudio de viabilidad sobre la incorporación de la Energía Geotérmica en la Escuela de Minas y Energía.

(Feasibility study on the incorporation of Geothermal
Energy in the School of Mines and Energy)

Para acceder al título de:

GRADO EN INGENIERÍA DE LOS RECURSOS ENERGÉTICOS

Autor: Jose Alfredo López Uzquiza

Director: Pablo Bernardo Castro Alonso

Coordinador: Raúl Husillos Rodríguez



Estudio de viabilidad sobre la incorporación de la Energía Geotérmica en la Escuela de Minas y Energía



Agradecimientos.

Empezaré dando las gracias a mi tutor del TFG, Pablo Bernardo Castro Alonso, y al coordinador de proyectos, Raúl Husillos Rodríguez, que con a su seguimiento y orientación han contribuido a la realización de este estudio.

Quiero dar las gracias también a todos los profesores de la Escuela Politécnica de Ingeniería de Minas y Energía, ya que la mayor parte de los conocimientos necesarios para la elaboración de este proyecto me los han dado ellos.

Continúo agradeciendo a mi familia, todo su apoyo en estos años de carrera. Sin su esfuerzo y dedicación nunca hubiera llegado hasta aquí.

Para finalizar daré las gracias tanto a mis amigos de siempre como a los compañeros de clase, algunos de los cuales puedo considerar también amigos.

Gracias a todos.



Estudio de viabilidad sobre la incorporación de la Energía Geotérmica en la Escuela de Minas y Energía

Índice

1.	Introducción.....	5
1.1.	Problemática en el Clima.....	5
1.2.	Problemática energética.....	8
1.3.	Situación actual.....	9
1.4.	Reducir las emisiones asociadas al sector residencial	10
2.	Objetivos.....	14
3.	Estado del arte.....	18
3.1.	Estudio bibliográfico.....	18
3.2.	Estudio científico.....	30
4.	Metodología.....	41
4.1.	Localización.....	41
4.2.	Descripción del medio.....	43
4.3.	Descripción del edificio	51
4.4.	Dimensionado de la instalación	54
4.5.	Aportación a la instalación de calefacción actual	63
4.6.	Resultados.....	65
5.	Resultados.....	69
5.1.	Cálculo de carga térmica	69
5.2.	Elección y justificación de la BCG	75
5.3.	Dimensionado y configuración del sistema de captación geotérmica.....	77
5.4.	Resultados	87
6.	Conclusiones.....	101
6.1.	Energéticas.....	101
6.2.	Económicas.....	101
6.3.	Ambientales.....	101
6.4.	Conclusión final.....	101
7.	Bibliografía.....	104
8.	Referencias.....	108
8.1.	Ilustraciones	108
8.2.	Tablas	109
8.3.	Graficas.....	110



1. Introducción.



Estudio de viabilidad sobre la incorporación de la Energía Geotérmica en la Escuela de Minas y Energía



Contenido

1.	Introducción.....	5
1.1.	Problemática en el Clima.....	5
1.2.	Problemática energética.....	8
1.3.	Situación actual.....	9
1.3.1.	Generación de energía eléctrica.....	9
1.3.2.	Automoción.....	9
1.3.3.	Residencial.....	10
1.4.	Reducir las emisiones asociadas al sector residencial.....	10
1.4.1.	Reducir la demanda energética.....	11
1.4.1.1.	Mejorar la envolvente del edificio.....	11
1.4.1.2.	Mejorar el rendimiento de las instalaciones.....	11
1.4.1.3.	Mejorar los hábitos de los usuarios.....	11
1.4.2.	Instalar energías limpias y renovables.....	11



1. Introducción.

1.1. Problemática en el Clima.

La vida en la Tierra tal y como la conocemos es posible gracias a que se dan en el planeta una serie de condiciones que no aparecen en ningún otro planeta conocido. Entre ellas, una de las más importantes es la temperatura, la cual hace posible la existencia de agua en estado líquido, el cual es indispensable para la vida.

Si la temperatura en nuestro planeta fuese menor, toda nuestra agua quedaría congelada. Si, por el contrario, la temperatura fuese mayor, el agua se evaporaría quedando como consecuencia un planeta totalmente desértico. En ambos casos la vida tal y como la conocemos no sería posible.

Uno de los factores que determinan esta temperatura es la cantidad de radiación solar que alcanza el planeta.

De toda la radiación solar que llega a nuestro planeta, parte de ella es reflejada por la superficie y devuelta al espacio mientras que otra parte es “atrapada” por la atmósfera. En función de la composición de la atmósfera, más o menos radiación quedará atrapada en el interior, lo cual convierte a la atmósfera en un elemento clave para determinar la temperatura de nuestro planeta.

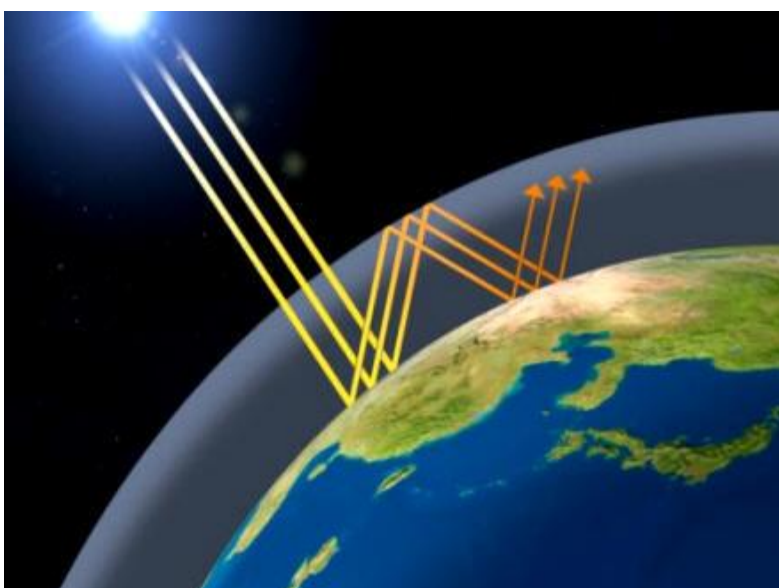


Ilustración 1 Representación de la radiación solar atrapada en la atmósfera
<http://grupo2geoambiental.blogspot.com.es/>

La atmósfera terrestre está compuesta básicamente por Oxígeno (21%) Nitrógeno (78%) y una gran variedad de otros compuestos los cuales no superan el 1% entre todos.

Dentro de este 1% se encuentran compuestos como el dióxido de carbono (0.04%) o el dióxido de nitrógeno ($2 \cdot 10^{-6} \%$), que son precisamente los que impiden que toda la radiación solar reflejada en la superficie vuelva al espacio. Por este motivo a estos compuestos se les conoce como “gases de efecto invernadero”.

Esta cantidad de gases de efecto invernadero en la atmósfera es la que determina cuanta de radiación solar es devuelta al espacio y cuanta queda atrapada en el interior, por lo que a su vez determina la temperatura media global terrestre, que es de unos 15°C.

Esta proporción de gases de efecto invernadero en la atmósfera permaneció constante durante miles de años ya que se producía un equilibrio en el llamado “ciclo del carbono”.

Este ciclo está constituido por cuatro reservorios principales de carbono interconectados por rutas de intercambio. Estas reservas o “almacenes” son la atmósfera, la biosfera terrestre, los océanos y los sedimentos. Los movimientos anuales de carbono entre las distintas reservas ocurren debido a varios procesos químicos, físicos, geológicos y biológicos.

El balance global es el equilibrio entre intercambios (ingresos y pérdidas) de carbono entre los reservorios o entre una ruta del ciclo específica (por ejemplo, atmósfera - biosfera).

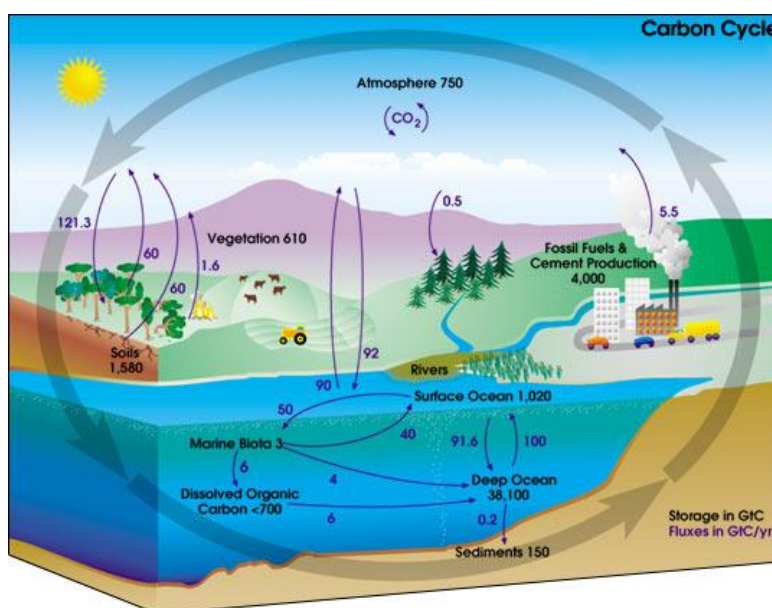


Ilustración 2 Ciclo del carbono <https://es.wikipedia.org>

Con la invención de la máquina de vapor y la posterior llegada de la primera revolución industrial se rompió este equilibrio. Esta revolución trajo consigo la industrialización de muchos países, y sus economías pasaron a depender del consumo de fuentes fósiles como el carbón o el petróleo para su desarrollo, por lo que una gran cantidad de carbono que se encontraba fijo en el interior de la tierra fue añadido a la atmósfera haciendo que la cantidad de carbono total en ésta se haya incrementado a lo largo de los últimos años.

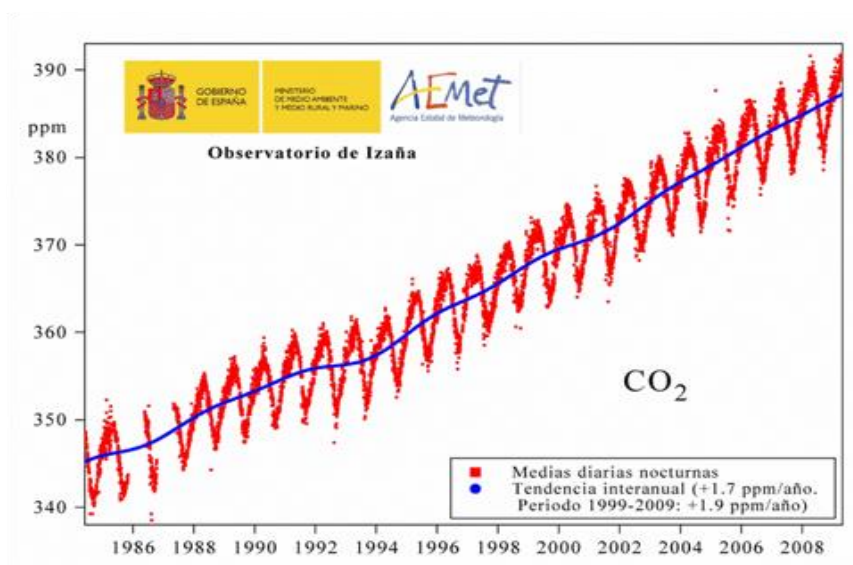


Ilustración 3 Evolución de la concentración de CO₂ en la atmósfera <http://www.interempresas.net/>

Debido a este incremento en la cantidad de CO₂ y otros gases de efecto invernadero en la atmósfera, una mayor cantidad de radiación solar se está quedando atrapada y como consecuencia se está produciendo un aumento en la temperatura global.

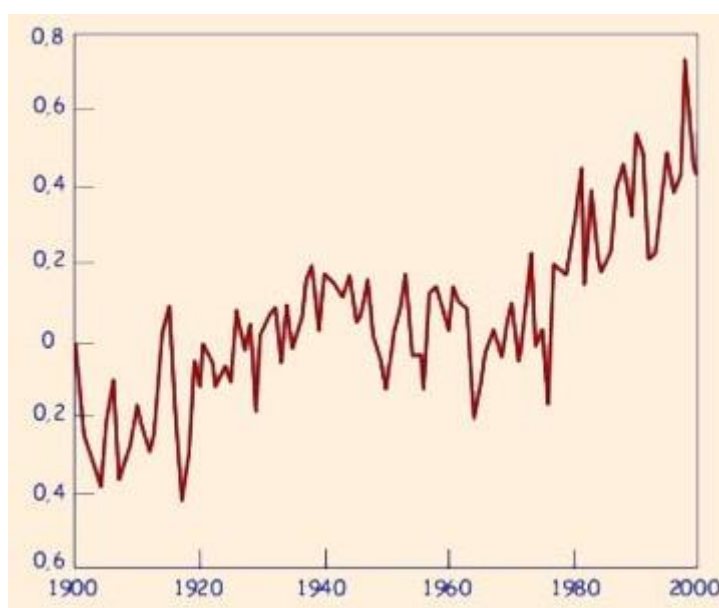


Ilustración 4 Evolución de la temperatura media global <http://www.euskonews.com/>

En respuesta a este problema la Unión Europea y sus países miembros acordaron el Plan Triple 20 que consiste en cumplir para el año 2020 los siguientes objetivos:

- Reducir los niveles de emisión de CO₂ en un 20% con respecto al 1990
- Reducir un 20% el consumo de energía mejorando la eficiencia
- Utilizar al menos un 20% de energías renovables



Estudio de viabilidad sobre la incorporación de la Energía Geotérmica en la Escuela de Minas y Energía

1.2. Problemática energética.

Por otro lado, existe otro problema en España con respecto al uso de fuentes fósiles como recurso energético en el que basar nuestra economía.

Si se hace un repaso a los principales recursos energéticos provenientes de fuentes fósiles (carbón, petróleo y gas natural), se comprobará como el panorama no nada es alentador.

Por un lado, el recurso petróleo es escasísimo en nuestro territorio. Actualmente únicamente se está explotando este recurso en 2 regiones. Una situada en la provincia de Burgos donde la extracción es prácticamente testimonial (200 barriles/día) y otra en las costas de Tarragona donde la producción es mayor (alrededor de 250.000 Tn/año).

Existía la esperanza de encontrar una gran reserva en la zona de las Islas Canarias, más concretamente entre las islas de Lanzarote y Fuerteventura, pero la empresa encargada de realizar la prospección concluyó con que no existía tal reserva.

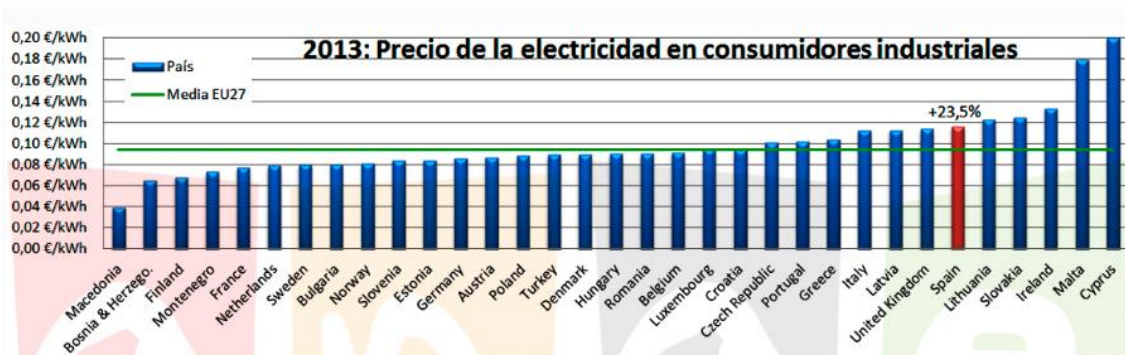
En cuanto al recurso gas, sucede algo parecido. No existen grandes reservas de gas natural en territorio Español que se puedan extraer por técnicas convencionales.

En los últimos años se valoró por parte del Gobierno estatal la búsqueda de este recurso por medio de una técnica conocida como fractura hidráulica o “fracking”, pero esta alternativa sufrió un gran rechazo por parte de la sociedad por lo que quedó en “standby”.

En cuanto al carbón, estamos ante una situación algo diferente ya que sí existe este recurso en nuestro territorio, pero resulta más cara su extracción que la importación de éste desde el extranjero. Para evitar el cierre de minas de carbón en España, hay subvenciones por parte del Estado. A pesar de ello, el carbón “español” no cubre la demanda completa por lo que en ningún caso podríamos prescindir del carbón importado.

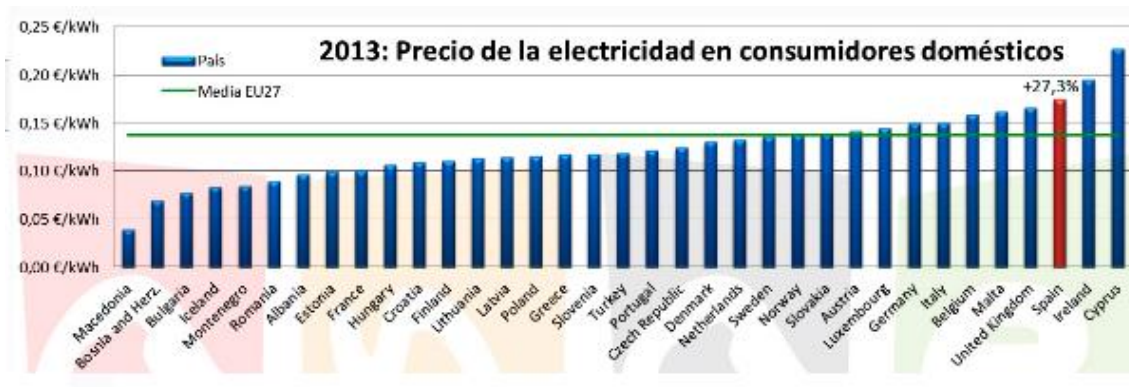
Por todo ello, se puede afirmar que España tiene una gran dependencia de terceros países en cuanto a Recursos Energéticos, muchos de los cuales se encuentran en países poco estables por lo que su precio suele sufrir grandes variaciones.

Esto se traduce en un coste muy elevado de la energía en comparación con otros países, lo que repercute en una menor competitividad de nuestra industria, provocando la deslocalización de parte de ésta e impidiendo la implantación de nuevas plantas.



Gráfica 1 Precio de la electricidad para consumidores industriales <http://www.asociacion-anae.org/>

Por supuesto esto también se traduce en que los hogares tengan que pagar un alto precio por servicios básicos como son la electricidad o la calefacción en cada hogar.



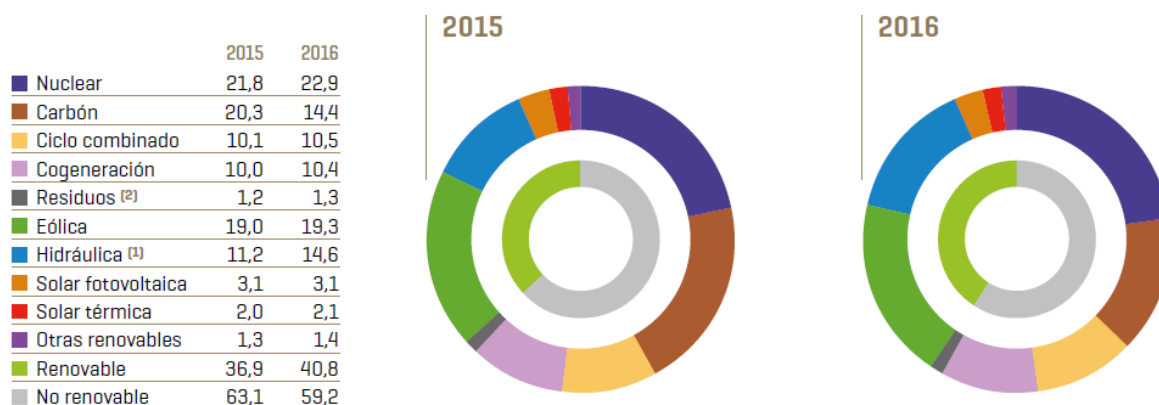
Gráfica 2 Precio de la electricidad para consumidores domésticos <http://www.asociacion-anae.org/>

1.3. Situación actual.

Aunque ya se han hecho avances en cuanto a la reducción en el consumo de recursos energéticos no renovables, si hacemos un repaso a la situación actual de los principales sectores donde se consumen este tipo de recursos, y como consecuencia se producen emisiones de CO₂ y otros gases de efecto invernadero, veremos que aún queda trabajo por hacer.

1.3.1. Generación de energía eléctrica.

Según muestra el siguiente gráfico proporcionado por Red Eléctrica Española, el año pasado un 35,9% la energía eléctrica producida en las centrales españolas provenía de fuentes fósiles.



Gráfica 3 Producción de energía eléctrica según fuentes www.ree.es/

1.3.2. Automoción

Atendiendo al sector de la automoción el panorama es mucho peor ya que según un informe publicado por la Agencia Europea del Medio Ambiente el 99.6% de los vehículos que circulan por carreteras europeas son vehículos con motor de combustión interna que utilizan como fuente de energía productos derivados del petróleo.

Este sector representa en nuestro país un 24% de las emisiones de CO₂, según el informe "Inventario de gases de efecto invernadero de España" publicado por el Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente.



Estudio de viabilidad sobre la incorporación de la Energía Geotérmica en la Escuela de Minas y Energía

Para reducir las emisiones en este apartado existen dos caminos, bien fomentar el uso del transporte público, o bien realizar la transición hacia el vehículo eléctrico.

Desafortunadamente en España, no hay costumbre de usar el transporte público y en cuanto a la transición al vehículo eléctrico está muy por detrás de países del norte de Europa donde este tipo de vehículos representan ya un porcentaje a tener en cuenta.

Con estos datos se puede observar que en este sector quizá sea donde menos se ha hecho en el sentido de reducir las emisiones contaminantes.

1.3.3. Residencial

Por último, en el sector residencial también se consume gran cantidad de energía, y no siempre de manera eficiente. Esta baja eficiencia repercute directamente en un coste económico adicional para los residentes de la vivienda en forma de más gasto en calefacción en invierno o aire acondicionado en verano.

Para poner en conocimiento del usuario de la vivienda esta información, desde el 1 de Julio del 2013 es obligatorio al realizar la venta o alquiler de cualquier vivienda la obtención del llamado “certificado energético”. Este certificado muestra en una escala de la A a la G el nivel de emisiones de CO₂ en función de las dimensiones del edificio. Este nivel de emisiones de CO₂ está directamente relacionado con el recurso energético con el que se está sustentando la vivienda, por lo que este certificado es un buen indicador del panorama energético residencial en España.



Ilustración 5 Las diferentes categorías de la etiqueta energética <http://revista.consumer.es/>

Desafortunadamente, según un informe presentado por el Ministerio de Industria un 84% de los certificados energéticos expedidos a viviendas tienen una calificación entre D y G por lo que se puede concluir que en este sector queda aún trabajo por hacer.

1.4. Reducir las emisiones asociadas al sector residencial

En el caso particular de edificios, ya sean viviendas particulares o edificios públicos, como es el caso de este estudio, para contribuir al cumplimiento de los objetivos se puede actuar de dos maneras:

- Reducir la demanda energética
- Instalar energías renovables



Estudio de viabilidad sobre la incorporación de la Energía Geotérmica en la Escuela de Minas y Energía

1.4.1. Reducir la demanda energética.

Para reducir la demanda energética de un edificio se puede actuar de varias maneras.

1.4.1.1. Mejorar la envolvente del edificio

En primer lugar, para poder reducir la demanda energética, el edificio en cuestión debe ser eficiente energéticamente, es decir, que se aproveche al máximo la energía consumida, reduciendo las pérdidas en todo lo posible. Esto se consigue mejorando la envolvente térmica del edificio por la cual se producen la mayoría de las pérdidas energéticas. Para evitar esto existen una serie de actuaciones como mejorar el aislamiento térmico del edificio, sustitución de carpinterías y vidrios, así como aislar las zonas en las que existan puentes térmicos.

1.4.1.2. Mejorar el rendimiento de las instalaciones.

En el caso de la instalación de climatización, se puede mejorar el rendimiento sustituyendo elementos antiguos por otros más modernos. Para mejorar el rendimiento de la instalación de A.C.S, la mejor actuación es aislar correctamente las tuberías e incorporar válvulas termostáticas en los radiadores. En el caso de la instalación de iluminación la mejora del rendimiento pasa por la sustitución de elementos antiguos por otros más modernos con mejor rendimiento, así como por la incorporación de elementos de domótica.

1.4.1.3. Mejorar los hábitos de los usuarios.

Hay que destacar que gran cantidad de energía es malgastada por los malos hábitos que tenemos al utilizar estas instalaciones. Adecuando la temperatura del termostato a 20º como máximo se produce un gran ahorro energético. También se puede ahorrar energía impidiendo que la temperatura de la vivienda caiga excesivamente en periodos en los que no nos encontremos en ella, ya que el gasto energético para calentarla cuando volvemos es mayor que si la mantenemos a una cierta temperatura.

1.4.2. Instalar energías limpias y renovables.

En el caso de edificios se puede utilizar sistemas como la Energía Solar Térmica, Aerotermia o Geotermia para las instalaciones de calefacción, producción de A.C.S y climatización, así como la instalación de Energía Solar Fotovoltaica para la producción de energía eléctrica. Para la incorporación de cualquiera de estas instalaciones se debe realizar antes el correspondiente estudio de viabilidad tanto energética como técnica y económica.



2. Objetivo.



Estudio de viabilidad sobre la incorporación de la Energía Geotérmica en la Escuela de Minas y Energía



Contenido

2. Objetivos.	14
--------------------	----



Estudio de viabilidad sobre la incorporación de la Energía Geotérmica en la Escuela de Minas y Energía



2. Objetivos.

El objetivo de este estudio es valorar la viabilidad tanto técnica, energética, como económica, de la incorporación de la energía geotérmica en la escuela de Minas y Energía a través de la instalación de una Bomba de Calor Geotérmica, de ahora en adelante “BCG”, para la climatización del edificio.

Este estudio se centrará concretamente en una instalación geotérmica de muy baja entalpía por lo que se dimensionará la instalación para los locales de la escuela donde se utilicen sistemas de calefacción de baja temperatura y posteriormente se estudiará si es posible algún tipo de aprovechamiento de la instalación para el resto del edificio.

Para conseguir este objetivo se dividirá el trabajo en varias partes para un mejor control:

- Estudio de la demanda térmica de los diferentes locales de la escuela tanto en los meses de invierno como en los de verano.
- Elección de una BCG que cubra las necesidades.
- Elección y dimensionado del sistema de captación geotérmico, así como la elección de la mejor configuración posible.
- Estudio de la posible aportación energética de la instalación geotérmica a la instalación de calefacción actual.
- Comparación energética, económica y contaminante entre la situación actual y la hipotética situación con la incorporación de la BCG en la escuela.



3. Estado del Arte.



Estudio de viabilidad sobre la incorporación de la Energía Geotérmica en la Escuela de Minas y Energía

3.	Estado del arte.	18
3.1.	Estudio bibliográfico.	18
3.1.1.	Energía Geotérmica.	18
3.1.1.1.	Generación de energía eléctrica.	18
3.1.1.1.1.	Fluidos Hidrotermales	18
3.1.1.1.1.1.	Método del Vapor seco.	18
3.1.1.1.1.2.	Método “Flash steam”.	19
3.1.1.1.1.3.	Método del ciclo binario.	19
3.1.1.1.2.	Salmuera Geo presurizada.	20
3.1.1.1.3.	Sistemas geotérmicos mejorados o Sistemas de rocas calientes.	21
3.1.1.1.4.	Magma.	21
3.1.1.2.	Calefacción Urbana Directa.	21
3.1.1.3.	BCG.	22
3.1.2.	Bomba de calor.	22
3.1.2.1.	Ciclo de calefacción.	24
3.1.2.2.	Ciclo de Refrigeración.	24
3.1.2.3.	Coefficient of Performance (COP)	25
3.1.3.	Ventajas y desventajas de la BCG.	25
3.1.3.1.	Ventajas.	25
3.1.3.2.	Desventajas.	26
3.1.4.	Fundamentos térmicos del terreno.	26
3.1.4.1.	Evolución de la temperatura con la profundidad.	26
3.1.4.2.	Conductividad térmica (k).	27
3.1.4.3.	Capacidad térmica del terreno (C).	27
3.1.4.4.	Difusividad térmica (α).	27
3.1.5.	Tipos de captadores.	27
3.1.5.1.	Horizontal	28
3.1.5.2.	Vertical	28
3.1.5.3.	Configuración Slinky.	28
3.1.5.4.	Configuración en serie.	29
3.1.5.5.	Configuración en paralelo.	29
3.1.6.	Energía geotérmica en España.	29
3.2.	Estudio científico.	30
3.2.1.	Artículo 1	31



Estudio de viabilidad sobre la incorporación de la Energía Geotérmica en la Escuela de Minas y Energía



3.2.2.	Artículo 2	33
3.2.3.	Artículo 3	34
3.2.4.	Artículo 4	35
3.2.5.	Artículo 5	36
3.2.6.	Conclusiones.....	37



Estudio de viabilidad sobre la incorporación de la Energía Geotérmica en la Escuela de Minas y Energía

3. Estado del arte.

En este trabajo se va a estudiar la viabilidad de la implementación de la energía geotérmica por medio de la incorporación de una bomba de calor en la Escuela de Minas y Energía por lo que antes de realizar dicho estudio es conveniente ponerse en contacto con los temas relacionados.

3.1. Estudio bibliográfico.

3.1.1. Energía Geotérmica.

La energía geotérmica es la energía almacenada en el interior de la tierra en forma de calor. Este calor presente en el terreno puede tener un origen interno, procedente del núcleo terrestre que se encuentra a una temperatura de unos 6500º C y emite calor hacia el exterior, o bien un origen externo, debido a la radiación solar que alcanza la tierra y penetra en el terreno.

Dependiendo de la profundidad del terreno el calor presente tendrá un origen u otro. Hasta los 50 metros de profundidad, el calor presente depende únicamente del intercambio energético con la atmósfera y la presencia o no de aguas subterráneas. A profundidades mayores de 100 metros las condiciones atmosféricas prácticamente no tienen influencia sobre la temperatura del terreno por lo que ésta depende únicamente del calor procedente del núcleo, existiendo normalmente un gradiente de temperatura de 15/30º por cada kilómetro de profundidad. Entre los 50 y los 100 metros se encuentra la zona de transición, donde las dos fuentes de calor tienen presencia por lo que es la zona en la cual es más difícil de predecir su temperatura sin realizar un sondeo y medirla directamente.

Existen diferentes tecnologías para aprovechar este calor, que se pueden clasificar en cuatro grandes grupos, como son la generación de energía eléctrica, la calefacción urbana directa (Direct district heating), la BCG y aplicaciones industriales. Todas ellas utilizan como fuente de energía el terreno, pero cada una requiere una temperatura determinada por lo que extraen el calor a diferentes profundidades.

Aunque este estudio trata únicamente en la posible introducción de la BCG en la Escuela de Minas y Energía, se va a realizar un breve repaso a cada una de las anteriores tecnologías.

3.1.1.1. Generación de energía eléctrica.

Esta aplicación consiste básicamente en hacer girar una turbina de vapor solidaria a un generador eléctrico. Para ello necesita un fluido a alta temperatura, entre 150 y 400º, por lo que es necesario alcanzar grandes profundidades para poder acceder a este recurso.

Existen varias tecnologías para conseguir este vapor utilizando únicamente energía geotérmica siendo la utilización de fluidos hidrotermales la única tecnología “madura” actualmente.

3.1.1.1.1. Fluidos Hidrotermales

En este tipo de aplicaciones el recurso energético se encuentra de forma natural en forma de un fluido en el interior de la tierra. Dependiendo del estado en el que se encuentre este fluido existen diferentes métodos para su aprovechamiento.

3.1.1.1.1.1. Método del Vapor seco.

Si el recurso se encuentra directamente en forma de vapor seco, este puede ser utilizado directamente en una turbina de vapor convencional. Esta tecnología fue la primera en

desarrollarse para la producción de electricidad por medio de la geotermia debido a su simplicidad.

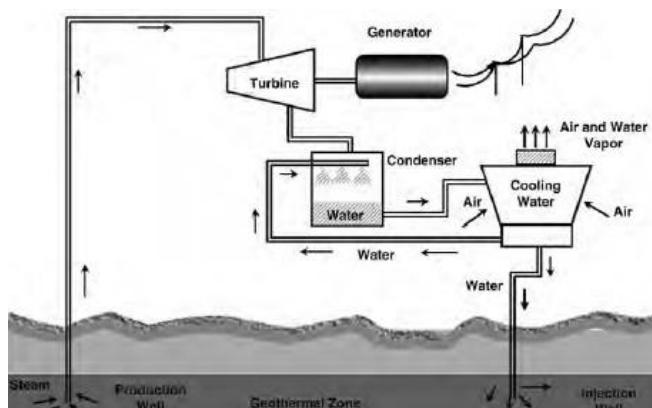


Ilustración 6 Representación del método de vapor seco. Apuntes de la asignatura RENEWABLE AND ALTERNATIVE ENERGIES

3.1.1.1.2. Método "Flash steam".

En este caso el recurso se encuentra en forma de agua líquida a una temperatura cercana a los 200 grados y a alta presión. Esta agua es conducida desde el interior de la tierra hasta un tanque a baja presión. Aquí es rociado y transformado instantáneamente en vapor debido a esta baja presión. Este vapor es conducido hasta una turbina que funciona de manera similar a la tecnología anterior.

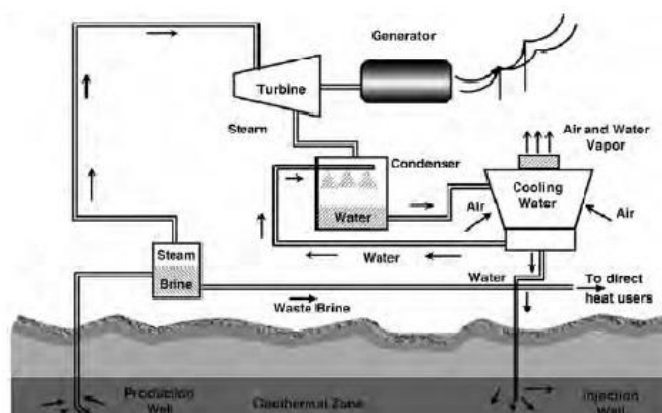


Ilustración 7 Representación del método Flash Steam. Apuntes de la asignatura RENEWABLE AND ALTERNATIVE ENERGIES

3.1.1.1.3. Método del ciclo binario.

Como en la tecnología anterior, en este caso el recurso también se encuentra en forma de agua líquida, pero a menor temperatura. Esta tecnología consiste en que el recurso geotérmico sea el encargado de vaporizar otro fluido de trabajo, generalmente un hidrocarburo. Este segundo fluido vaporizado es el encargado de hacer girar la turbina y por consiguiente el generador.

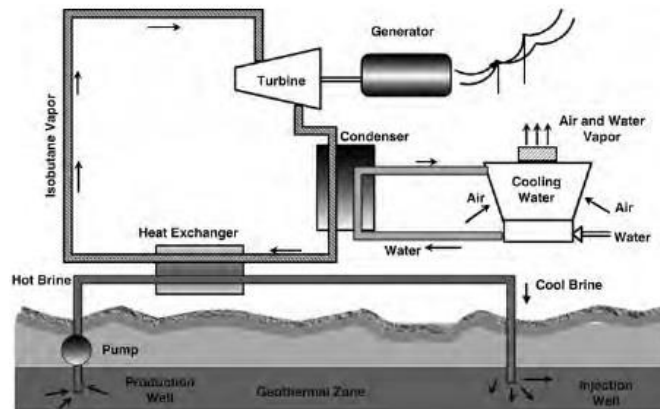


Ilustración 8 Representación del método de ciclo binario. Apuntes de la asignatura RENEWABLE AND ALTERNATIVE ENERGIES

En las 3 variantes de esta tecnología el fluido una vez extraído el calor es devuelto al terreno por medio de otra tubería, evitando así el agotamiento del recurso.

La energía geotérmica para la producción de electricidad tiene una considerable implantación a nivel mundial, contando en 2014 con 12.8 GW instalados y una producción total de 74 millones de kWh. Cabe destacar que esta producción no está repartida homogéneamente entre todos los países, ni siquiera entre los tecnológicamente desarrollados. Esta disparidad se debe a que el recurso geotérmico a alta temperatura necesario solo se encuentra presente en ciertas zonas del planeta. Normalmente este tipo de recurso aparece en zonas geológicamente activas, como son el encuentro entre placas tectónicas donde grandes cantidades de magma se encuentran relativamente cerca de la superficie. Por esta razón en países como España es inviable esta tecnología mientras que en Estados Unidos (3450 MW), Chile o Filipinas (1870MW), todos ellos situados en el llamado “Anillo de fuego”, está muy implantada.

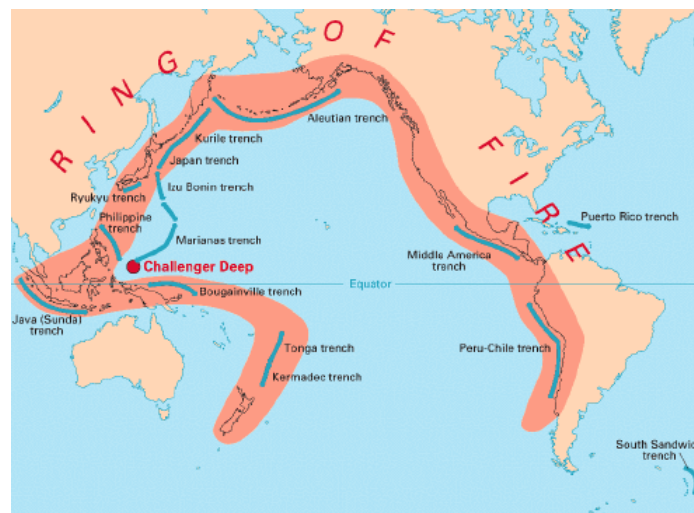


Ilustración 9 Representación del anillo de fuego. Apuntes de la asignatura RENEWABLE AND ALTERNATIVE ENERGIES

3.1.1.1.2. Salmuera Geo presurizada.

Por todo el globo terrestre a profundidades comprendidas entre 3000 y 6000 metros se pueden encontrar grandes masas de salmuera en el que se encuentra disuelto gas metano.



Estudio de viabilidad sobre la incorporación de la Energía Geotérmica en la Escuela de Minas y Energía

Estas reservas se encuentran a una temperatura entre 150 y 200 grados por lo que se puede extraer energía térmica del fluido, energía mecánica debido a la presión, así como energía química presente en el metano. Con la combinación de la energía térmica y mecánica se podría hacer girar una turbina para la producción de energía eléctrica.

El obstáculo de esta tecnología está en que estas sales son extremadamente corrosivas por lo que el desarrollo de esta tecnología está ligado a la aparición de nuevos materiales capaces de aguantar la corrosión y dar viabilidad económica a futuros proyectos.

3.1.1.1.3. Sistemas geotérmicos mejorados o Sistemas de rocas calientes.

Una cantidad importante de calor esta almacenada en rocas en el subsuelo, el cual puede ser aprovechado por medio de la inyección de agua y su posterior extracción en forma de vapor.

Esta tecnología no es económicamente rentable debido a la ausencia de la masa y/o de una roca no permeable, aunque se estima que en para el 2070 podría haber alrededor de 100000 MW instalados.

3.1.1.1.4. Magma.

El magma es una gran cantidad de roca fundida que se encuentra en el interior de la tierra. Al estar a alta temperatura tiene muchísimo potencial como recurso energético. El inconveniente de esta tecnología es que actualmente y con los materiales que contamos, resulta muy complicado extraer toda esa energía. Al igual que en el caso de la Salmuera Geopresurizada el desarrollo de esta tecnología está ligado a la aparición de nuevos materiales.

3.1.1.2. Calefacción Urbana Directa.

Un uso muy extendido de los recursos geotérmicos consiste en la producción de agua caliente sanitario para su uso en baños y cocinas, así como para su utilización en los sistemas de calefacción en edificios. Para esta aplicación es necesario contar con una fuente de calor a una temperatura alrededor de los 80º por lo que solo es posible en zonas donde esta temperatura se alcance relativamente cerca de la superficie para que la instalación sea económicamente viable. La mejor forma de aprovechar este recurso es centralizar el sistema y que una única instalación alimente a varios edificios.

Esta tecnología normalmente consta de tres partes fundamentales:

- Un pozo por el que se extrae el agua caliente a la superficie.
- Un sistema mecánico compuesto de tuberías, intercambiadores de calor para transmitir el calor a donde queramos utilizarle.
- Un pozo de inyección por el cual se devuelve el agua “fría” al subsuelo para evitar el agotamiento del recurso.

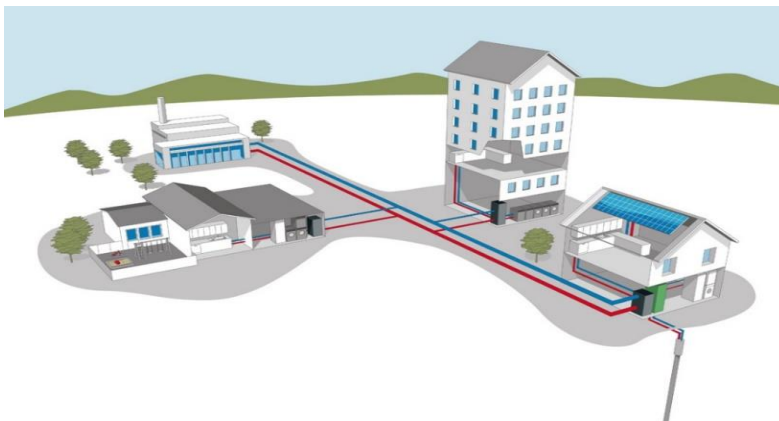


Ilustración 10 Calefacción urbana directa. <http://t-solucion.com/>

Esta tecnología representa en Europa un 35% del total de sistemas geotérmicos que están instalados actualmente, contando con una capacidad de alrededor de 5000 MWth.

Al igual que en el aprovechamiento para la generación de energía eléctrica, este uso de la energía geotérmica también difiere entre países debido a la necesidad del recurso en profundidades cercanas a la superficie. En el caso de Europa la mayor concentración de ese recurso se encuentra en Centroeuropa y en Escandinavia, siendo en los países del sur prácticamente residual.

3.1.1.3. Bomba de Calor Geotérmica.

No siempre es necesario que exista un recurso energético a elevada temperatura para poder ser aprovechado. A unos pocos metros de profundidad en casi cualquier tipo de terreno la temperatura es constante durante todo el año por lo que este calor puede ser utilizado en nuestro beneficio. Con un intercambiador situado en el terreno y otro en el local a climatizar se puede hacer circular un flujo de calor en ambos sentidos dependiendo de si nos interesa calefactar o refrigerar dicho local. Esta tecnología es especialmente útil en el caso de disponer de elementos emisores de baja temperatura como son el suelo radiante o los “fan coils”.

Este estudio se centra precisamente en el uso de esta tecnología por lo que se explicará más detalladamente en apartados sucesivos.

3.1.2. Bomba de calor.

Una bomba de calor es un sistema capaz de extraer calor de un foco (foco frío) y cederlo a otro (foco caliente). Existen varios tipos de bombas de calor en función del tipo de medios que utilicen como focos. Estos medios pueden ser agua, aire o tierra. En el caso de la BCG un foco siempre será el terreno mientras que el otro podrá ser o bien aire o bien agua.

Prácticamente la totalidad de las bombas de calor trabajan con el ciclo de refrigeración por compresión el cual está basado en los cambios de estado del fluido refrigerante. La temperatura de cambio de estado del refrigerante depende de la presión a la que se encuentre éste, por lo cual el objetivo de la bomba de calor es disponer del fluido refrigerante a baja presión y temperatura para poder evaporarlo y que absorba calor del foco a refrigerar.

Para conseguir disponer de un flujo constante de refrigerante a baja temperatura y presión, se utiliza el ciclo de refrigeración por compresión, el cual consta de 4 etapas que ocurren en 4 elementos de la bomba de calor, a saber:

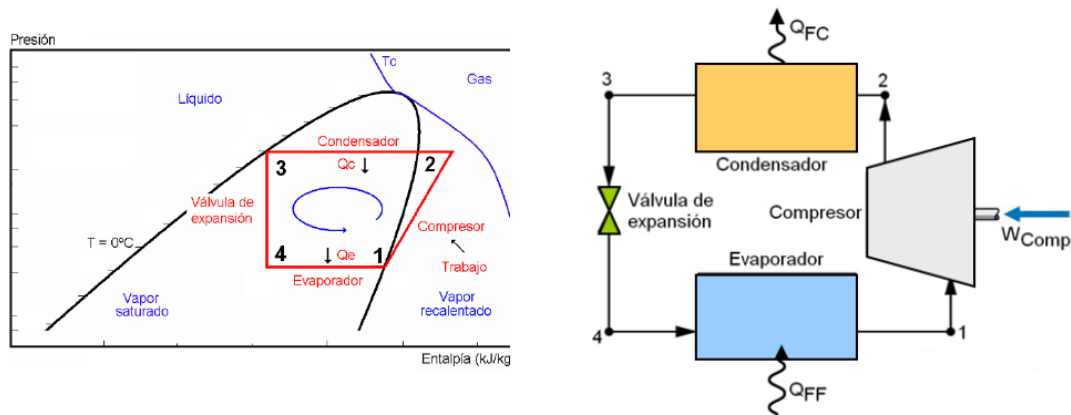


Ilustración 11 Ciclo ideal de refrigeración por compresión, diagrama y elementos. Apuntes de la asignatura "Transformación y Uso Eficiente de la Energía"

- Un evaporador en el cual el fluido de trabajo está a una temperatura inferior a la de la fuente de calor (foco frío) por lo que absorbe calor de éste y se evapora manteniendo su temperatura y su presión constante (4-1), consiguiendo una disminución de la temperatura en dicho foco.
- Un compresor, el cual aumenta la presión (1-2) y por tanto la temperatura del fluido de trabajo.
- Un condensador, en el cual el fluido vaporizado está a mayor temperatura que el foco que le rodea (foco caliente) por lo que cede calor y se condensa (2-3), manteniendo su temperatura y su presión constante.
- Una válvula de expansión en la cual el líquido a alta presión que sale del condensador se expande hasta llegar a la presión del evaporador (3-4), pudiendo así comenzar de nuevo el ciclo.

Este es el ciclo ideal, pero en la práctica, el ciclo de refrigeración real difiere un poco debido al rozamiento o fricción, el cual impide que algunos procesos sean totalmente reversibles. A continuación, se enumeran los problemas que surgen en cada elemento del circuito e impiden un funcionamiento ideal.

Tanto en el evaporador como en el circuito que lo conecta con el compresor, se producen pequeñas caídas de presión y por lo tanto de temperatura, pudiendo llegar a quedar parte del fluido sin evaporar. Para evitar esto se sobrecalienta el fluido consiguiendo garantizar que no entre nada de líquido en el compresor ya que estropearía el equipo.

Algo parecido ocurre en el condensador donde también se producen pérdidas de presión, por lo que en este caso se recurre a la subenfriación del fluido para evitar que llegue a la válvula de expansión fluido sin condensar.

En el caso del compresor y de la válvula de expansión las transformaciones no son completamente isoentálpicas ya que debido a la fricción es inevitable que el fluido incremente su entalpía (temperatura).

Teniendo en cuenta las pequeñas diferencias con el ciclo ideal presentes en los 4 elementos o procesos del sistema nos queda una curva del ciclo de refrigeración como la siguiente:

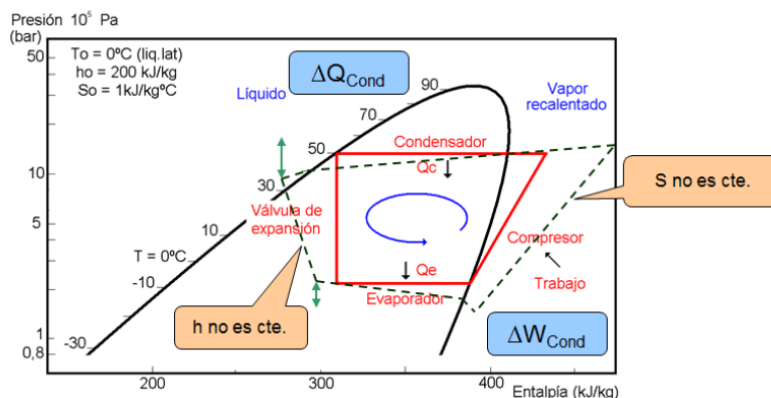


Ilustración 12 Ciclo real de refrigeración por compresión. Apuntes de la asignatura "Transformación y Uso Eficiente de la Energía"

El compresor es el único elemento móvil del sistema y por lo tanto el único que consume energía para su funcionamiento. Este puede ser accionado bien mediante un motor eléctrico o bien mediante un motor térmico que utilice gas como combustible siendo este último el más utilizado.

Para conseguir una reducción de costes se puede utilizar la misma instalación tanto para el suministro de calefacción como para el de refrigeración, utilizando para ello una bomba de calor reversible por medio de la introducción en el circuito de una válvula de cuatro vías. Esta válvula permite cambiar el sentido del fluido consiguiendo intercambiar los focos frío y caliente, utilizando en invierno el ciclo de calefacción y en verano el ciclo de refrigeración.

3.1.2.1. Ciclo de calefacción.

El fluido en forma de vapor llega al compresor el cual aumenta su presión y su temperatura. Este circula hasta el intercambiador situado en el local a calefactar donde se condensa y cede calor al local. Continúa en forma de líquido hasta la válvula de expansión donde pierde presión y temperatura. Para finalizar el ciclo llega hasta un intercambiador situado en el terreno donde absorbe calor y se evapora estando listo para un nuevo ciclo.

3.1.2.2. Ciclo de Refrigeración.

Esta vez el compresor eleva la presión y la temperatura del fluido y a través de la válvula de cuatro vías es conducida hacia el intercambiador situado en el terreno en el cual el fluido cede calor al terreno produciéndose la condensación. El fluido en estado líquido llega a la válvula de expansión donde pierde presión y temperatura. Para terminar el ciclo el fluido llega al intercambiador situado en el interior del local a refrigerar donde este absorbe calor del aire produciéndose la evaporación.

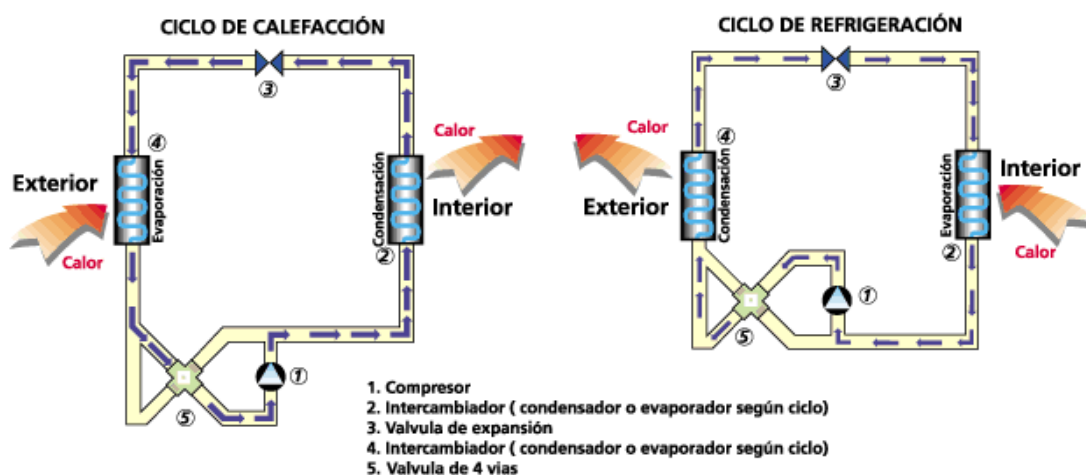


Ilustración 13 Ciclos de calefacción y refrigeración. <http://bombasdec calor.blogspot.com.es/>

3.1.2.3. Coefficient of Performance (COP)

Para medir el rendimiento de este sistema se utiliza un parámetro llamado COP (Coefficient of Performance) que se define como la relación entre el calor utilizable emitido por la bomba de calor y la potencia consumida por el motor. Un sistema reversible trabaja con dos COP estacionales definidos como:

$$COP_{\text{verano}} = \frac{Q_{\text{evaporador}}}{W_{\text{compresor}}}$$

$$COP_{\text{invierno}} = \frac{Q_{\text{condensador}}}{W_{\text{compresor}}}$$

3.1.3. Ventajas y desventajas de la BCG.

La energía geotérmica mediante el uso de la bomba de calor es una alternativa muy buena para la climatización de viviendas y edificios comerciales. Presenta grandes ventajas no solo frente fuentes de energía convencionales si no también frente a otras energías renovables, pero también tiene algunos inconvenientes.

3.1.3.1. Ventajas.

- Al contrario que otros recursos energéticos, la energía geotérmica de baja entalpía se encuentra presente en todo el mundo siempre que se disponga de terreno.
- Para su funcionamiento solo requiere el funcionamiento de un compresor y este puede ser accionado eléctricamente por lo que no es necesario la combustión de hidrocarburos contribuyendo así a la reducción de emisiones de CO₂ a la atmósfera.
- Esta tecnología es muy escalable por lo que puede cubrir necesidades de diferentes magnitudes.
- Con la introducción de un solo equipo se pueden cubrir tanto las necesidades de calefacción en invierno como de refrigeración en verano.
- No necesita un mantenimiento excesivamente caro.
- Al estar los captadores situados a una cierta profundidad, no genera ningún tipo de impacto visual al contrario que los captadores solares o a las bombas de calor aerotérmicas.

3.1.3.2. Desventajas.

- En el caso de que se elija la opción de captadores horizontales, se requiere una considerable extensión de terreno.
- Puede suponer una inversión inicial más fuerte que en el caso de utilizar equipos de calefacción convencionales.
- En el caso de captadores horizontales es importante que no haya árboles o arbustos que impidan que incida la radiación solar sobre el terreno, así como la necesidad retirar la nieve acumulada en el caso de que la hubiera.

3.1.4. Fundamentos térmicos del terreno.

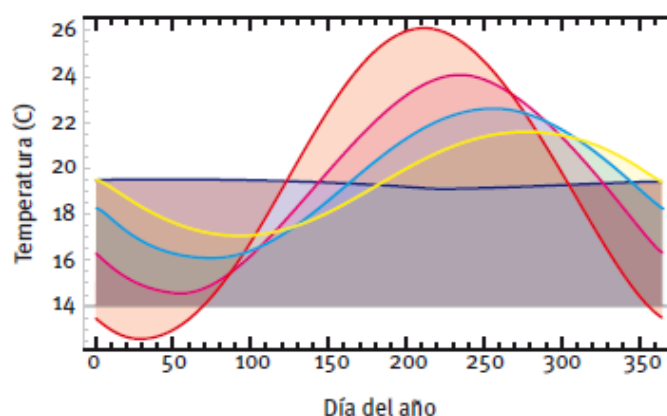
Para el diseño de un sistema de aprovechamiento geotérmico por medio de una bomba de calor, es muy importante poder caracterizar térmicamente el terreno en donde se van a situar los captadores de calor.

3.1.4.1. Evolución de la temperatura con la profundidad.

Como ya se ha comentado anteriormente, a grandes profundidades la temperatura permanece constante a una determinada profundidad y va aumentando a razón de entre 15 y 30 grados por cada kilómetro debido a la transmisión de calor desde el núcleo terrestre.

En cambio, si se trata de profundidades cercanas a la superficie, la temperatura del terreno depende en exclusiva de las condiciones atmosféricas presentes en la superficie, por lo que va variando a lo largo del año hasta una profundidad de unos 10 metros donde permanece constante, la cual se puede aproximar a la temperatura media anual que exista en la superficie.

Cabe destacar que la variación de la temperatura no es instantánea, si no que se produce un retraso en función de la profundidad, como se puede ver en la gráfica donde se enfrentan los 365 días del año y la correspondiente temperatura del terreno a diferentes profundidades.



Gráfica 4 Evolución de la temperatura del terreno en función de la profundidad Guía técnica IDAE Diseño de sistemas de captación geotérmicos

Se observa como la línea roja, que representa la temperatura del terreno a una profundidad inmediatamente bajo a la superficie, oscila lo mismo que la temperatura en el exterior y sin retraso alguno.



Estudio de viabilidad sobre la incorporación de la Energía Geotérmica en la Escuela de Minas y Energía

En cambio, la línea morada, la cual representa la temperatura a 10 metros de profundidad permanece prácticamente constante todo el año.

Donde mejor se aprecia el retardo de la temperatura con respecto al de la superficie en la línea amarilla, donde se puede observar como la máxima y la mínima temperatura están desplazadas unos 50 días de los respectivos picos de temperatura en el exterior.

Estas curvas de temperaturas no son iguales en todos los tipos de terreno, si no que dependen de las características térmicas de cada terreno, como son la conductividad térmica, la capacidad térmica y relación entre ambas, conocida como difusividad térmica.

3.1.4.2. Conductividad térmica (k).

La conductividad térmica es una característica de cada material la cual expresa la capacidad que tiene dicho material para conducir calor. A mayor conductividad, más fácilmente circula el calor a través de dicho material. Se puede expresar en $W/m^{\circ}C$ o en W/mK .

El terreno no es un material homogéneo como puede ser una plancha de acero, por lo que es más complicado saber cuál es su conductividad. Al ser el agua un buen conductor de calor, la conductividad del terreno se incrementará con la presencia de humedad en el terreno.

Existen valores tabulados de la conductividad térmica promedio para cada tipo de terreno en función de si hay presencia de humedad o no, pero estos son solo valores aproximados. Para instalaciones geotérmicas de potencias caloríficas superiores a 100 kWt se recomienda hacer un ensayo térmico de respuesta o TRT (Thermal Response Test) ya que una pequeña variación en la conductividad térmica utilizada en el cálculo con respecto a la real del terreno supone grandes variaciones en la longitud necesaria del intercambiador.

3.1.4.3. Capacidad térmica del terreno (C).

La capacidad térmica expresa la cantidad de calor que es capaz de almacenar un material al incrementarse su temperatura. Como en el caso de la conductividad, este valor depende del tipo de terreno y de la humedad presente en él. Se expresa en $J/m^3^{\circ}C$ o J/m^3k . Existen también valores tabulados de la capacidad térmica para cada tipo de terreno en función del grado de humedad.

3.1.4.4. Difusividad térmica (α).

La difusividad térmica del terreno es la relación entre la conductividad térmica de un terreno y su capacidad. Se expresa en m^2/s .

3.1.5. Tipos de captadores.

Como ya se ha comentado anteriormente, con la utilización de una BCG se consigue llevar calor desde el terreno al local a climatizar o viceversa. Para ello se sitúan en el propio terreno unos tubos o tuberías por los que circula el agua que absorberá o cederá calor.

Dichos tubos pueden estar fabricados en diferentes materiales, todos ellos con buena conductividad térmica para favorecer el intercambio de calor, así como en diferentes diámetros para ser capaces de suministrar diferentes caudales de agua a la bomba de calor.

Existen básicamente tres configuraciones para colocar los captadores en el terreno, horizontalmente, verticalmente o configuración “slinky”, que forma parte de los horizontales, pero por su importancia se le considera una configuración separada.

Generalmente se utilizan sistemas de captación horizontales para instalaciones de baja potencia ya que requieren más terreno que las instalaciones verticales, pero en el caso de que se disponga de suficiente terreno no hay ningún problema en la utilización de captadores horizontales también para grandes instalaciones.

Se pueden clasificar las configuraciones más comunes atendiendo a 2 criterios: tipo de instalación y dirección del fluido calo-portador.

Según tipo de instalación:

3.1.5.1. Horizontal

Los tubos están dispuestos paralelamente a la superficie del terreno. Según el número de tubos de la que conste la instalación puede ser:

- Simple, consta de un único tubo.
- Doble, consta de dos tubos a diferentes profundidades.
- Múltiple, cuenta con tres o más tubos a diferentes profundidades.

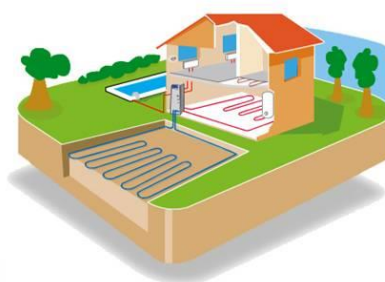


Ilustración 14 Representación de captadores geotérmicos horizontales.
<http://www.geotermiacyl.com/>

3.1.5.2. Vertical

Los tubos están dispuestos verticalmente. Según el tipo de tubería instalada puede ser:

- Configuración en U, por un ramal se introduce el fluido caloportador y se evacua por el otro.
- Configuración Doble U, consta de 4 tubos, por dos de ellos se introduce el fluido y por los dos restantes sale.
- Coaxial, números pares de tubos formando una circunferencia se introducen en una misma perforación.

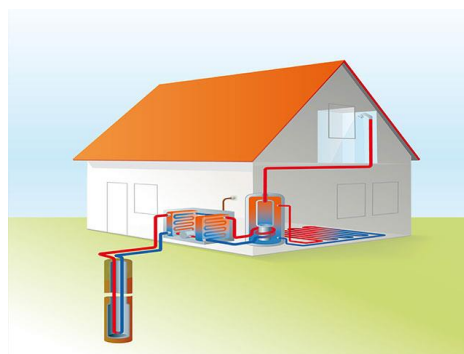


Ilustración 15 Representación de captadores geotérmicos verticales.
<http://www.orueiturgintza.com/>

3.1.5.3. Configuración Slinky.

Es una variante de la configuración horizontal. En ella los tubos están dispuestos de forma que forman bucles o espiras de forma que con cada vuelta el intercambiador avanza cierta distancia, dependiendo esta del radio de la espira. Según su colocación en el terreno pueden ser:

- En zanja vertical.
- En zanja Horizontal.



Ilustración 16 Representación de captadores geotérmicos slinky. Guía técnica IDAE Diseño de sistemas de captación geotérmicos

Según la dirección del fluido:

3.1.5.4. Configuración en serie.

Todo el fluido recorre un único circuito, manteniéndose constante el caudal en todo el recorrido. Tiene la ventaja de que el recorrido del fluido está perfectamente definido, así como la facilidad de purgación en el caso de que exista aire en el interior del tubo. Como desventajas presenta la necesidad de mayor diámetro y por consiguiente mayor precio por metro lineal, así como una caída de presión mayor que en los sistemas en paralelo.

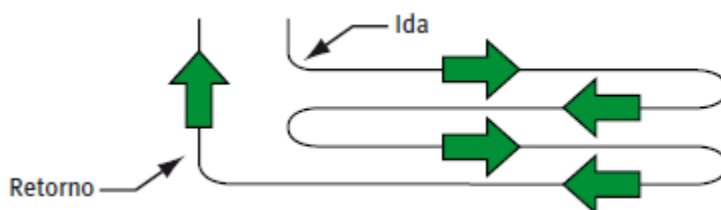


Ilustración 17 Representación de la configuración en serie. Guía técnica IDAE Diseño de sistemas de captación geotérmicos.

3.1.5.5. Configuración en paralelo.

El fluido se divide en diferentes ramales, por los cuales circula una parte del fluido para volver a juntarse antes de entrar en la bomba de calor. Como ventaja presenta un coste de instalación más reducido al no requerir de grandes diámetros de tubo. En cambio, con los sistemas en paralelo hay que tener especial cuidado para poder eliminar el aire que pueda encontrarse en los tubos.

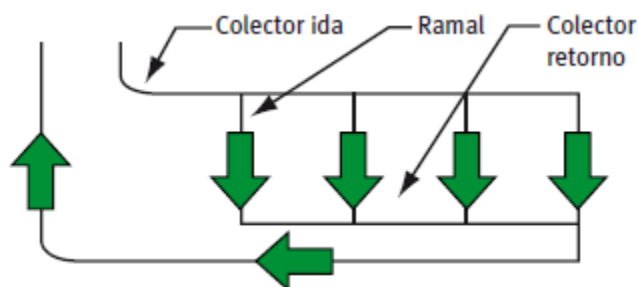


Ilustración 18 Representación de la configuración en paralelo. Guía técnica IDAE Diseño de sistemas de captación geotérmicos.

3.1.6. Energía geotérmica en España.

Como ya se ha comentado anteriormente la energía geotérmica tiene diferentes aplicaciones como son la generación de energía eléctrica cuando existen yacimientos a alta temperatura, para la calefacción directa, o aprovechamiento mediante el uso de la bomba de calor.



Estudio de viabilidad sobre la incorporación de la Energía Geotérmica en la Escuela de Minas y Energía

En España, en los años 70, el gobierno existente por medio del IGME (Instituto Geológico y Minero) elaboró el primer inventario de recursos geotérmicos en territorio español, que ha servido como referencia para posteriores estudios y sondeos.

Este inventario revelaba que las áreas con mayor potencial geotérmico del territorio peninsular se encuentran repartidas en 4 zonas bien diferenciadas:

- Suroeste, provincias de Granada, Almería y Murcia.
- Noroeste, provincias de Tarragona, Barcelona y Gerona.
- Noreste, provincias de Orense, Lugo y Pontevedra.
- Centro, provincia de Madrid.

Sin embargo, la única región donde se encuentra suficiente potencial geotérmico para la producción de electricidad se encuentra en el archipiélago, cuyo origen es volcánico, de las Islas Canarias.

En el resto del territorio español, los recursos geotérmicos existentes son de baja temperatura por lo que sus aplicaciones son casi en exclusiva para la producción de agua caliente sanitario para su uso en balnearios como en el caso de Fitero (Navarra), Archena (Murcia) Montbrió del Camp (Tarragona), Sierra Alhamilla (Almería) y Arnedillo (Rioja).

En las provincias de Orense y Lérida, existen viviendas y colegios que utilizan la geotermia como recurso energético, mientras que en localidades de las provincias de Tarragona, Lugo y Granada los recursos presentes están siendo utilizados en aplicaciones agrícolas.

Desgraciadamente el uso de la energía geotérmica por medio de la incorporación de la bomba de calor no está tan extendido en España como su potencial permitiría. Esto es así debido a que la implantación de un sistema de calefacción está casi siempre ligado a la construcción de una vivienda o edificio nuevo por lo que desde el comienzo de la crisis en el año 2008 se vio reducido casi al mínimo la implantación de bombas de calor geotérmicas.

Cabe destacar que tampoco en la época de auge de la construcción (2000-2007) se implantaron una gran cantidad de BCG, apostándose en mayor medida por otras energías de origen renovable como la solar fotovoltaica o la solar térmica.

Sin embargo, últimamente y con la lenta pero constante recuperación económica del país y la incipiente construcción de nuevas viviendas, hay indicios de que la energía geotérmica por medio del uso de la bomba de calor va a ocupar un espacio importante en las instalaciones de calefacción en los próximos años, como sucede en países como Alemania, Suiza o Austria.

3.2. Estudio científico.

Para realizar el estudio científico del estado del arte nos basaremos en publicaciones relacionadas con el tema que se trata en este trabajo. Para ello se va a analizar estudios, proyecto y documentos publicados anteriormente.

El análisis científico del estado del arte es una parte importante de todo estudio ya que nos ayuda a tomar conciencia de la magnitud del tema estudiado.

Para ello se utilizarán las bases de datos especializadas online Scopus y Web of Science.



Estudio de viabilidad sobre la incorporación de la Energía Geotérmica en la Escuela de Minas y Energía

Scopus es una base de datos bibliográfica de resúmenes y citas de artículos de revistas científicas. Cubre aproximadamente 18.000 títulos de más de 5.000 editores internacionales, incluyendo la cobertura de 16.500 revistas.

Web of Science es un servicio en línea de información científica el cual facilita el acceso a un conjunto de bases de datos en las que aparecen citas de artículos de revistas científicas, libros y otros tipos de material impreso que abarcan todos los campos del conocimiento académico.

Ambas bases de datos, para facilitar la búsqueda, cuentan con un buscador en el que se puede introducir palabras clave relacionadas con el tema a buscar.

En nuestro caso se ha elegido los siguientes términos como palabras clave:

- Energía Geotérmica
- Bomba de calor
- BCG
- Captadores geotérmicos horizontales
- Geothermal energy
- Heat pump
- Geothermal Heat pump
- Geothermal exchanger
- Geothermal energy Cantabria
- Geothermal Heat pump Cantabria

Con la introducción de estas palabras clave se ha obtenido un número de publicaciones que se recogen en la siguiente tabla.

	Scopus	Web of Science
Energía Geotérmica	13	0
Bomba de calor	9	0
BCG	2	0
Captadores geotérmicos horizontales	0	0
Geothermal energy	15501	4834
Heat pump	31043	24154
Geothermal Heat pump	2784	1050
Geothermal exchanger	2143	873
Geothermal energy Cantabria	0	0
Geothermal Heat pump Cantabria	0	0
Geothermal Heat pump Spain	19	15

Tabla 1 Datos recuperados por cada buscador

Analizando el número de resultados obtenidos se observa como existe un gran número de publicaciones en inglés relacionadas con el tema. En cambio, en español existen muy pocas y si incluimos el término “Cantabria” en la búsqueda no existe ninguna publicación en ninguno de los dos buscadores.

3.2.1. Artículo 1

Titulo original



Estudio de viabilidad sobre la incorporación de la Energía Geotérmica en la Escuela de Minas y Energía



Thermal conductivity map of the Avila region (Spain) based on thermal conductivity measurements of different rock and soil samples.

Titulo traducido

Mapa de la conductividad térmica de la región de Ávila (España) basado en medidas de conductividad térmica en diferentes muestras de rocas y suelos.

Palabras clave

“Geothermal heat pumps”, “Low-cost method”, “Map”, “Thermal conductivity”.

Autores

Sáez Blázquez, C. , Farfán Martín, A., Martín Nieto, I., Carrasco García, P., Sánchez Pérez, L.S., González Aguilera, D.

Fecha de publicación

7 de septiembre del 2016

Abstract

A thermal conductivity map constitutes an important basis with regards to the design and performance of geothermal heat pump installations. Although the execution of a Thermal Response Test means an ideal solution as it provides the average value of the thermal conductivity over the length of the borehole drilled for the BHE, in small projects it is not possible to carry out these tests because they involve a huge increase of the total budget of the user. This study describes a systematic methodology to produce a thermal conductivity map of an area geographically placed in the center of Spain, the province of Ávila. As a result, a map of thermal conductivity distribution of local rocks is proposed.

Resumen

Un mapa de conductividad térmica constituye una base importante en cuanto al diseño y rendimiento de las instalaciones de bombas de calor geotérmicas. Aunque la ejecución de una prueba de respuesta térmica significa una solución ideal, ya que proporciona el valor medio de la conductividad térmica en toda la longitud del pozo perforado para la BCG, en pequeños proyectos no es posible llevar a cabo estas pruebas porque implican un enorme aumento del presupuesto total del usuario. Este estudio describe una metodología sistemática para producir un mapa de conductividad térmica de un área geográficamente situada en el centro de España, provincia de Ávila. Como resultado, se propone un mapa de la distribución de conductividad térmica de las rocas locales.



Estudio de viabilidad sobre la incorporación de la Energía Geotérmica en la Escuela de Minas y Energía

3.2.2. Artículo 2

Titulo original

The geothermal potential in Spain.

Titulo traducido

El potencial geotérmico en España.

Palabras clave

“CHP”; “District heating networks”; “Geothermal heat pumps”; “Low enthalpy”; “ORC”; “Spanish geothermal potential”.

Autores

Colmenar-Santos, A. , Folch-Calvo, M. , Rosales-Asensio, E. , Borge-Diez, D.

Fecha de publicación

24 de diciembre del 2015

Abstract

With a potential geothermal generation of 610 GWt, Spain constitutes a promising EU-28 country for geothermal direct heating systems and binary cycle electricity production. Spain has a need to reduce energy consumption in buildings and in the secondary sector in order to comply with the Spanish Energy Plan 2011–2020, which establishes an objective of 50 MWe of electricity generation from geothermal energy and 66 MWt for direct heating use. Geothermal pumps are admissible in low and medium temperature heating schemes, but to achieve these energy savings targets, the most interesting way to generate energy is by using a CHP production from binary cycle plants. An analysis determining the energy consumption for Spanish dwellings shows that with a low-temperature design concept for district heating distribution, an organic Rankine cycle plant of 15 MWt with a geothermal temperature supply of 105 °C and a vector transportation fluid mass of 100 kg/s can cover 3% of the expected targets of electricity from geothermal sources and 15% of that expected for direct heating.

Resumen

Con una generación geotérmica potencial de 610 GWt, España constituye un prometedor país de la UE-28 para los sistemas de calefacción directa geotérmica y la producción de electricidad en ciclo binario. España tiene la necesidad de reducir el consumo energético en edificios y en el sector secundario para cumplir con el Plan Energético 2011-2020, que establece un objetivo de 50 MWe de generación de electricidad a partir de energía geotérmica y 66 MWt para uso directo de calefacción. Las bombas geotérmicas son admisibles en sistemas de calefacción de baja y media temperatura, pero para lograr estos objetivos de ahorro de energía, la forma más interesante de generar energía es utilizando una producción de CHP a partir de plantas de ciclo binario. Un análisis que determina el consumo de energía para viviendas españolas muestra que, con un concepto de diseño de baja temperatura para distribución de calefacción urbana, una planta orgánica de ciclo de Rankine de 15 MWt con un suministro de temperatura geotérmica de 105 ° C y una masa fluida de transporte de 100 kg / S pueden cubrir



Estudio de viabilidad sobre la incorporación de la Energía Geotérmica en la Escuela de Minas y Energía



el 3% de los objetivos previstos de electricidad a partir de fuentes geotérmicas y el 15% de lo esperado para el calentamiento directo.

3.2.3. Artículo 3

Titulo original

Estimation of thermal conductivity of rocks from their mineralogical composition (Asturian Coal Basin, NW Spain) for modelling purposes.

Titulo traducido

Estimación de la conductividad térmica de las rocas a partir de su composición mineralógica (Cuenca del Carbón Asturiano, NW España) con fines de modelización.

Palabras clave

“Geothermal model”; “Mining reservoir”; “Thermal conductivity”

Autores

Andrés, C., Álvarez, R., Ordóñez, A.

Fecha de publicación

25 de enero del 2016

Abstract

The Carboniferous Coal Basin (CCB) in NW Spain has been extensively mined for a long time. At present, abandoned and flooded mines constitute “mining reservoirs” which act as storage facilities containing mine water susceptible to being exploited as a geothermal resource to supply heating and cooling using heatpumps. The development of numerical models capable of predicting the geothermal behaviour of the reservoir after a certain number of years of use can be useful and applicable to this and other sedimentary mining basins. A procedure for predicting in situ thermal conductivity (k) profiles using lithological and mineralogical information for modelling purposes was applied to a mining reservoir in the CCB. First, all the involved geological units were sampled in unaltered outcrops, assuming that weathering have not significantly biased thermal properties. The matrix thermal conductivity of each sample was estimated from the thermal conductivities of the respective mineralogical components, whose proportion were determined by optical microscopy. A final k was acquired considering the effects of porosity, temperature and mineralogical composition of the rock matrix and assuming water as the pore-filling fluid. Finally, the obtained parameters were extended to the deep geological profile, affected by the mining works. Values ranging from $1.42 \text{ W m}^{-1} \text{ K}^{-1}$ (lutite) to $4.89 \text{ W m}^{-1} \text{ K}^{-1}$ (sublitarenite) were found in the studied reservoir (average of $2.86 \text{ W m}^{-1} \text{ K}^{-1}$).

Resumen

La Cuenca del Carbón Carbonífero (CCB) en el noroeste de España ha sido extensamente minada durante mucho tiempo. En la actualidad, las minas abandonadas e inundadas constituyen “embalses mineros” que actúan como depósitos de almacenamiento de agua de mina susceptibles de ser explotados como recurso geotérmico para el suministro de calefacción y refrigeración mediante bombas de calor. El desarrollo de modelos numéricos capaces de



Estudio de viabilidad sobre la incorporación de la Energía Geotérmica en la Escuela de Minas y Energía

predecir el comportamiento geotérmico del embalse después de un cierto número de años de uso puede ser útil y aplicable a esta y otras cuencas de minería sedimentaria. Se aplicó un procedimiento para la predicción de los perfiles de conductividad térmica (k) in situ utilizando información litológica y mineralógica con fines de modelización a un yacimiento minero en el CCB. Primero, todas las unidades geológicas involucradas fueron muestreadas en afloramientos no alterados, asumiendo que la intemperie no tiene propiedades térmicas significativamente sesgadas. La conductividad térmica de la matriz de cada muestra se estimó a partir de las conductividades térmicas de los respectivos componentes mineralógicos, cuya proporción se determinó por microscopía óptica. Un k final fue adquirido teniendo en cuenta los efectos de la porosidad, la temperatura y la composición mineralógica de la matriz de roca y asumir el agua como el fluido de llenado de poros. Finalmente, los parámetros obtenidos se extendieron al perfil geológico profundo, afectado por las obras mineras. En el reservorio estudiado se encontraron valores de $1,42 \text{ W m}^{-1} \text{ K}^{-1}$ (lutita) a $4,89 \text{ W m}^{-1} \text{ K}^{-1}$ (sublitarenita) (promedio de $2,86 \text{ W m}^{-1} \text{ K}^{-1}$).

3.2.4. Artículo 4

Titulo original

Weatherization of 80 houses with geothermal energy through heat pump, Tres Cantos project, Madrid, Spain.

Titulo traducido

Climatización de 80 casas con energía geotérmica a través de bomba de calor, proyecto Tres Cantos, Madrid, España.

Palabras clave

“energy efficiency” ; “geothermal energy” ; “geothermal system”; “pump”; “technological development”

Autores

Sanz, D.M., Pacios, A.M., Barrero, I.A., Amorós, A.O., Mellado, A.S.

Fecha de publicación

Enero del 2016

Abstract

The Tres Cantos project involved the construction of a heating and cooling geothermal system integrated into 80 energyefficient houses in an urbanization located in the town of Tres Cantos, Madrid, Spain. This article aims, on the one hand, to highlight the many applications that geothermal heat pumps have through the analysis of a case study and on the other hand, to encourage this type of systems in order to be replicated in countries like Mexico where barely this technology has been developed so far.

Resumen

El proyecto Tres Cantos consistió en la construcción de un sistema geotérmico de calefacción y refrigeración integrada en 80 viviendas energéticamente eficientes en una urbanización ubicada en la localidad de Tres Cantos, Madrid. Este artículo pretende, por una



Estudio de viabilidad sobre la incorporación de la Energía Geotérmica en la Escuela de Minas y Energía



parte, destacar las múltiples aplicaciones que las bombas de calor geotérmicas tienen a través del análisis de un estudio de caso y por otro lado, fomentar este tipo de sistemas para poder ser reproducidos en países como México donde esta tecnología apenas ha sido desarrollada hasta ahora.

3.2.5. Artículo 5

Titulo original.

Experimental and modeling analysis of a ground source heat pump system.

Titulo traducido.

Análisis experimental y de modelado de un sistema de BCG.

Palabras clave

“Experimental measurements”; “Ground source heat pump systems”; “Numerical modeling analysis”; “Thermal impact on the Ground”

Autores

Montagud, C., Corberán, J.M., Ruiz-Calvo, F.

Fecha de publicación

11 de diciembre del 2012

Abstract

This paper presents the evaluation of the performance of a ground source heat pump system monitored plant providing heating/cooling to an office building located in the Universitat Politècnica de València in Spain. The system was designed using GLHEPRO software and it has been monitored since 2005. Once a ground source heat pump has been designed, it is important to analyze its performance along the years after its construction and check whether the design was appropriate and the simulation predictions were consistent with real experimental measurements. This paper first presents the impact of the GSHP system in the ground thermal response. The simulations obtained in GLHEPRO software will be analyzed and compared to experimental measurements. The second purpose of this work is to compare the performance simulation results of a complete ground source heat pump system model built in TRNSYS, with the experimental measurements which have been registered and collected for one cooling day. Numerical predictions and experimental results are compared and discussed.

Resumen

En este artículo se presenta la evaluación del rendimiento de un sistema de bomba de calor de origen terrestre que monitoriza la instalación de calefacción / refrigeración a un edificio de oficinas ubicado en la “*Universitat Politècnica de València*” de España. El sistema ha sido diseñado con el software GLHEPRO y ha sido monitoreado desde 2005. Una vez que se diseñó una bomba de calor de fuente terrestre, es importante analizar su desempeño a lo largo de los años posteriores a su construcción y comprobar si el diseño era apropiado y las predicciones de simulación fueron consistentes con las mediciones experimentales reales. Este artículo presenta en primer lugar el impacto del sistema GSHP en la respuesta térmica del suelo. Las simulaciones obtenidas en el software GLHEPRO serán analizadas y comparadas con medidas experimentales.



Estudio de viabilidad sobre la incorporación de la Energía Geotérmica en la Escuela de Minas y Energía



El segundo objetivo de este trabajo es comparar los resultados de simulación de rendimiento de un modelo completo de sistema de bomba de calor de origen terrestre construido en TRNSYS, con las mediciones experimentales que se han registrado y recogido durante un día de enfriamiento. Las predicciones numéricas y los resultados experimentales son comparados y discutidos.

3.2.6. Conclusiones

Como conclusión de este análisis científico se puede concluir que, aunque existen muchas publicaciones relacionadas con la geotermia, no hay tantas que traten específicamente sobre la BCG y menos aún que se centren en la viabilidad de la tecnología en Cantabria por lo que este estudio puede aportar una visión del comportamiento de esta tecnología en regiones con condiciones similares a las que existen en esta zona.



4. Metodología.



Estudio de viabilidad sobre la incorporación de la Energía Geotérmica en la Escuela de Minas y Energía

4.	Metodología.....	41
4.1.	Localización.....	41
4.2.	Descripción del medio.....	43
4.2.1.	Terreno.....	43
4.2.1.1.	Dimensiones.....	43
4.2.1.2.	Características térmicas.....	44
4.2.2.	Clima.....	44
4.2.3.	Temperatura.....	45
4.2.4.	Precipitaciones.....	48
4.2.5.	Radiación Solar.....	49
4.2.6.	Viento, humedad relativa y niebla.....	50
4.3.	Descripción del edificio.....	51
4.3.1.	Superficie.....	52
4.3.2.	Instalación de climatización.....	52
4.4.	Dimensionado de la instalación.....	54
4.4.1.	Carga térmica.....	54
4.4.2.	Elección y justificación de la BCG.....	55
4.4.3.	Dimensionado y configuración del sistema de captación geotérmica.....	55
4.4.3.1.	Elección de la configuración a emplear.....	55
4.4.3.2.	Elección de los tubos a emplear.....	55
4.4.3.3.	Dimensionado del intercambiador.....	55
4.4.3.3.1.	Método IGSHPA.....	56
4.4.3.3.2.	Cálculo de las temperaturas de la tierra.....	60
4.4.3.3.3.	Elección de las temperaturas máximas y mínimas medias del fluido del circuito de captación.....	60
4.4.3.3.4.	Cálculo la resistencia térmica de la tubería.....	61
4.4.3.3.5.	Cálculo del factor de utilización.....	61
4.4.3.3.6.	Cálculo de la resistencia térmica del terreno.....	61
4.4.3.3.7.	Cálculo de la longitud del intercambiador enterrado.....	62
4.4.3.4.	Elección de la mejor configuración.....	62
4.5.	Aportación a la instalación de calefacción actual.....	63
4.5.1.	Cálculo de caudal de agua a 45°C.....	63
4.5.2.	Cálculo del consumo actual.....	63
4.5.3.	Cálculo del nuevo factor de utilización.....	64



Estudio de viabilidad sobre la incorporación de la Energía Geotérmica en la Escuela de Minas y Energía



4.5.4.	Cálculo de la nueva longitud del intercambiador enterrado	64
4.5.5.	Elección de la nueva mejor configuración	65
4.6.	Resultados	65



Estudio de viabilidad sobre la incorporación de la Energía Geotérmica en la Escuela de Minas y Energía

4. Metodología.

Una vez puestos al día con los conceptos explicados en el apartado anterior, se va a proceder con el estudio para el caso concreto que nos concierne, es decir, la posible incorporación de una BCG en la Escuela Politécnica de Ingeniería de Minas y Energía.

Para ello se ha comenzado realizando una descripción del emplazamiento de ésta, así como las condiciones climáticas presentes en el lugar.

Seguidamente se ha hecho una descripción de la instalación de climatización actual en la escuela.

A continuación, se ha realizado un estudio de las cargas térmicas de los locales a climatizar por la BCG, así como del resto de locales del edificio para así poder estimar cuando y como se produce el gasto en climatización.

Siguiendo con el estudio, se ha realizado la elección de una bomba de calor que cubra las necesidades propuestas inicialmente, así como el dimensionado y configuración del sistema de captación geotérmica necesario.

Para terminar, se ha hecho una estimación de la posible aportación del sistema geotérmico a la instalación actual de la escuela.

4.1. Localización.

Como ya se ha comentado anteriormente el estudio trata sobre la incorporación de la energía geotérmica por medio de una bomba de calor en la Escuela politécnica de Ingeniería de Minas y Energía.

Ésta se encuentra situada en el nº 254 del Boulevard Ronda Rufino Peón, perteneciente al municipio de Torrelavega, comunidad autónoma de Cantabria situada en el norte de España.



Ilustración 19 Localización de la ciudad de Torrelavega. Google Earth

Se trata de una ciudad industrial y comercial, aunque en los últimos años, como consecuencia de la crisis económica, la actividad industrial se ha visto reducida, pero aún conserva un peso importante. Es la capital de un área de influencia de unos 110.000 habitantes



Estudio de viabilidad sobre la incorporación de la Energía Geotérmica en la Escuela de Minas y Energía

aproximadamente, conocida como comarca del Besaya (debido al río homónimo que transcurre por ella), la cual incluye otros Ayuntamientos como Reocín, Suances o Los Corrales de Buelna. Es el segundo núcleo urbano más relevante de Cantabria por detrás de la capital Santander. La ciudad se sitúa en un valle a unos 8 kilómetros hacia el interior de la costa y a 24,5 kilómetros de la capital autonómica.

Torrelavega es el encuentro natural entre las dos rutas de comercio tradicionales de esta región, una que transcurre paralelo a la costa Cantábrica y que comunica las distintas localidades del norte de España, y otra perpendicular a la primera, que une la zona norte con la meseta. En la actualidad ambas rutas siguen vigentes estando Torrelavega perfectamente comunicada tanto por autovía como por vía férrea.

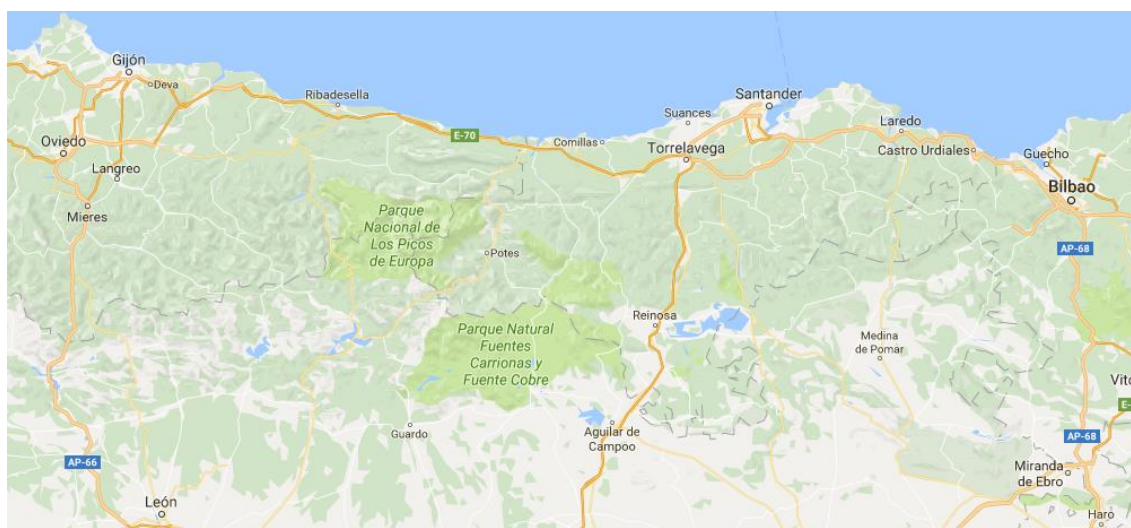


Ilustración 20 Comunicaciones terrestres de Torrelavega. Google Maps

La ciudad ha sufrido un fuerte incremento de población hasta finales del siglo XX, alcanzando un máximo de casi 60.000 habitantes en los primeros años de la década de los 90'. Desde entonces su población ha ido reduciéndose muy paulatinamente contando en el año 2015 con una población total de 53.496 habitantes.

El edificio se encuentra dentro del terreno perteneciente al campus de la Universidad de Cantabria, con latitud 43º 20' 12" N y longitud de 4º 3' 1" W, situado en el huso UTM 30. Las coordenadas del centro de la plaza del campus son:

- Coordenada X: 414.841
- Coordenada Y: 4.798.847

El campus se encuentra a una elevación de 42 metros sobre el nivel del mar.



Ilustración 21 Vista aérea y localización del edificio. Google Earth

4.2. Descripción del medio.

En el caso de la energía geotérmica de baja temperatura, la fuente de energía principal es el calor del terreno, y este depende directamente de las condiciones que existan en el exterior, por lo que para realizar correctamente un estudio de estas características es importante tener en cuenta ambos factores.

4.2.1. Terreno

4.2.1.1. Dimensiones

Adjunto al edificio de la escuela existe un terreno libre donde situar los intercambiadores geotérmicos. Este terreno tiene forma de rectángulo truncado en la esquina noreste debido a la existencia de una glorieta que invade parte del terreno. Cuenta con unas dimensiones de 98m de largo por 37m de ancho. Linda por el Norte y por el Este con la carretera mientras que tanto por el Sur como por el Oeste linda con la Escuela de Fisioterapia y con la plaza del campus respectivamente.

Para evitar que unos captadores sean más largos que otros y evitar futuros problemas en el caso de que se ensanchasen las vías de comunicación existentes, se dispondrá de un terreno libre para los captadores de 75m de largo por 35 m de ancho.



Ilustración 22 Localización del campo de captación. Google Earth

4.2.1.2. Características térmicas

Todo el campus universitario de Torrelavega y por consiguiente el terreno donde van a ir situados los intercambiadores se encuentra sobre un tipo de suelo llamado terraza.

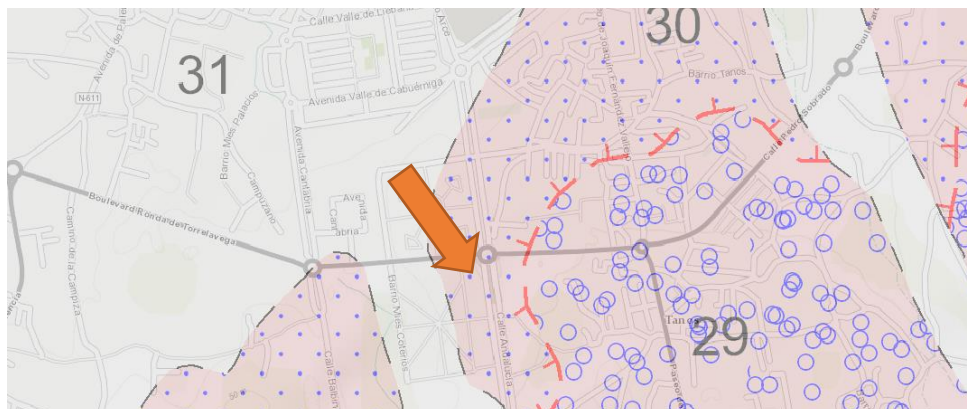


Ilustración 23 Geología de la zona del campo de captación. <http://www.igme.es/>

Las terrazas son terrenos formados por grava, arena arenisca y limos cuyas características térmicas se encuentran recogidas en la siguiente tabla.

Terreno	Conductividad W/mk	Capacidad MJ/m3k	Difusividad m2/s
Grava seca	0,4	1,5	2,66667E-07
Grava húmeda	1,8	2,4	0,00000075
Arena seca	0,4	1,45	2,75862E-07
Arena húmeda	2,4	2,55	9,41176E-07
Arcilla seca	0,5	1,55	3,22581E-07
Arcilla húmeda	1,7	2,5	0,00000068
Limo seca	0,5	1,55	3,22581E-07
Limo húmeda	1,7	2,5	0,00000068
Terraza 70%	1,465	2,195	6,67426E-07

Tabla 2 Características térmicas de diferentes terrenos.

4.2.2. Clima.

En Cantabria pese a su reducido tamaño en comparación con otras Comunidades Autónomas, existen 4 climas bien diferenciados:

- Atlántico costero
- Atlántico de interior
- Mediterráneo de interior
- De montaña



Ilustración 24 Climas en Cantabria. <https://sites.google.com/site/plantrabajocantabria/los-climas-de-cantabria>

Torrelavega al igual que toda la zona norte de Cantabria, y debido a su proximidad al mar, cuenta con un clima atlántico templado. Debido a corrientes marinas que llegan desde el ecuador el Mar Cantábrico está a una temperatura mayor que la que le correspondería por latitud y radiación solar correspondientes. Esto afecta como un factor estabilizador del clima y proporciona a la zona norte de Cantabria unas temperaturas más o menos estables a lo largo de todo el año, imposibilitando inviernos extremadamente fríos, así como veranos extremadamente calurosos.

4.2.3. Temperatura.

Como ya se ha comentado en el apartado anterior, debido a la proximidad del mar que actúa como elemento estabilizador, así como por encontrarse al resguardo de la cordillera cantábrica esta región cuenta con unas temperaturas templadas durante todo el año, existiendo también relativamente poca amplitud térmica entre el día y la noche.

	Tª Max			Tª Min			Tª media
	Media	Mínimo	Máximo	Media	Mínimo	Máximo	Media
enero	13,18	4,4	22,1	5,4	-4,3	13,3	9,29
febrero	13,53	2,7	25	5,28	-2,5	12,6	9,4
marzo	15,8	5,5	27,5	6,6	-2	17,7	11,2
abril	16,86	10,2	27,7	7,96	0,5	13,6	12,41
mayo	18,94	11,6	32	10,76	3,6	16,3	14,85
junio	21,87	15,5	36,6	14,15	7,5	22,6	18,02
julio	23,29	18,7	35,1	15,56	8,4	21	19,43
agosto	24,05	19	35,7	16,05	10,5	22,5	20,05
septiembre	22,46	16,5	36,6	13,76	5,6	20	18,11
octubre	20,56	11,1	33,5	11,72	3	21,5	16,14



Estudio de viabilidad sobre la incorporación de la Energía Geotérmica en la Escuela de Minas y Energía

noviembre	15,56	7,7	26,4	8,31	-1,5	15,7	11,98
diciembre	13,49	4,8	22,6	5,84	-5,7	14	9,67
Total anual	18,33	2,7	36,6	10,14	-5,7	22,6	14,24

Tabla 3 Temperaturas históricas máximas y mínimas en Cantabria. <http://www.meteocantabria.es/>

La tabla anterior muestra la media de temperaturas registradas por la estación meteorología de Ojaiz entre enero del 2000 y diciembre de 2010 situada en Peñacastillo, localidad cercana a Torrelavega y con la cual comparte clima. Se puede apreciar como la variación de temperaturas entre el día y la noche (T^a máx. y T^a mín.) es de unos 9 – 10 grados.

También se observa como la diferencia de temperaturas entre verano e invierno no es excesiva, siendo el mes más frío enero con una media de 9,35º y el más caluroso agosto con una temperatura media de casi 20º, lo que supone una amplitud térmica estacional de unos 10,5 grados.

El número de horas que esté funcionando la bomba de calor vendrá determinada por la temperatura que exista en el exterior durante las horas de apertura del edificio por lo que se necesita hacer una estimación de la temperatura por horas que existe en la zona.

En este sentido, conocemos las temperaturas medias máximas y medias mínimas de todos los meses en esta zona y suponiendo una progresión lineal de la temperatura a lo largo del día se puede estimar la temperatura media para cada hora del día a lo largo de todo el año.

NOVIEMBRE		DICIEMBRE		ENERO		FEBRERO		MARZO		ABRIL	
T^a min	T^a Max	T^a min	T^a Max	T^a min	T^a Max	T^a min	T^a Max	T^a min	T^a Max	T^a min	T^a Max
8,31	15,65	5,84	13,49	5,4	13,18	5,28	13,53	6,6	15,8	7,96	16,86
Hora	T^a	Hora	T^a	Hora	T^a	Hora	T^a	Hora	T^a	Hora	T^a
0:00	10,15	0:00	7,75	0:00	7,35	0:00	7,34	0:00	8,90	0:00	10,19
1:00	9,53	1:00	7,12	1:00	6,70	1:00	6,66	1:00	8,13	1:00	9,44
2:00	8,92	2:00	6,48	2:00	6,05	2:00	5,97	2:00	7,37	2:00	8,70
3:00	8,31	3:00	5,84	3:00	5,40	3:00	5,28	3:00	6,60	3:00	7,96
4:00	8,92	4:00	6,48	4:00	6,05	4:00	5,97	4:00	7,37	4:00	8,70
5:00	9,53	5:00	7,12	5:00	6,70	5:00	6,66	5:00	8,13	5:00	9,44
6:00	10,15	6:00	7,75	6:00	7,35	6:00	7,34	6:00	8,90	6:00	10,19
7:00	10,76	7:00	8,39	7:00	7,99	7:00	8,03	7:00	9,67	7:00	10,93
8:00	11,37	8:00	9,03	8:00	8,64	8:00	8,72	8:00	10,43	8:00	11,67
9:00	11,98	9:00	9,67	9:00	9,29	9:00	9,41	9:00	11,20	9:00	12,41
10:00	12,59	10:00	10,30	10:00	9,94	10:00	10,09	10:00	11,97	10:00	13,15
11:00	13,20	11:00	10,94	11:00	10,59	11:00	10,78	11:00	12,73	11:00	13,89
12:00	13,82	12:00	11,58	12:00	11,24	12:00	11,47	12:00	13,50	12:00	14,64
13:00	14,43	13:00	12,22	13:00	11,88	13:00	12,16	13:00	14,27	13:00	15,38
14:00	15,04	14:00	12,85	14:00	12,53	14:00	12,84	14:00	15,03	14:00	16,12
15:00	15,65	15:00	13,49	15:00	13,18	15:00	13,53	15:00	15,80	15:00	16,86
16:00	15,04	16:00	12,85	16:00	12,53	16:00	12,84	16:00	15,03	16:00	16,12
17:00	14,43	17:00	12,22	17:00	11,88	17:00	12,16	17:00	14,27	17:00	15,38



Estudio de viabilidad sobre la incorporación de la Energía Geotérmica en la Escuela de Minas y Energía

18:00	13,82	18:00	11,58	18:00	11,24	18:00	11,47	18:00	13,50	18:00	14,64
19:00	13,20	19:00	10,94	19:00	10,59	19:00	10,78	19:00	12,73	19:00	13,89
20:00	12,59	20:00	10,30	20:00	9,94	20:00	10,09	20:00	11,97	20:00	13,15
21:00	11,98	21:00	9,67	21:00	9,29	21:00	9,41	21:00	11,20	21:00	12,41
22:00	11,37	22:00	9,03	22:00	8,64	22:00	8,72	22:00	10,43	22:00	11,67
23:00	10,76	23:00	8,39	23:00	7,99	23:00	8,03	23:00	9,67	23:00	10,93
0:00	10,15	0:00	7,75	0:00	7,35	0:00	7,34	0:00	8,90	0:00	10,19

Tabla 4 Temperaturas horarias en Cantabria en los meses de Invierno.

MAYO		JUNIO		JULIO		AGOSTO		SEPTIEMBRE		OCTUBRE	
Tª min	Tª Max	Tª min	Tª Max	Tª min	Tª Max	Tª min	Tª Max	Tª min	Tª Max	Tª min	Tª Max
10,76	18,94	14,15	21,87	15,56	23,29	16,05	24,05	13,76	22,46	11,72	20,56
Hora	Tª	Hora	Tª	Hora	Tª	Hora	Tª	Hora	Tª	Hora	Tª
0:00	12,805	0:00	16,08	0:00	17,49	0:00	18,05	0:00	15,94	0:00	13,93
1:00	12,123	1:00	15,44	1:00	16,85	1:00	17,38	1:00	15,21	1:00	13,19
2:00	11,442	2:00	14,79	2:00	16,20	2:00	16,72	2:00	14,49	2:00	12,46
3:00	10,76	3:00	14,15	3:00	15,56	3:00	16,05	3:00	13,76	3:00	11,72
4:00	11,442	4:00	14,79	4:00	16,20	4:00	16,72	4:00	14,49	4:00	12,46
5:00	12,123	5:00	15,44	5:00	16,85	5:00	17,38	5:00	15,21	5:00	13,19
6:00	12,805	6:00	16,08	6:00	17,49	6:00	18,05	6:00	15,94	6:00	13,93
7:00	13,487	7:00	16,72	7:00	18,14	7:00	18,72	7:00	16,66	7:00	14,67
8:00	14,168	8:00	17,37	8:00	18,78	8:00	19,38	8:00	17,39	8:00	15,40
9:00	14,85	9:00	18,01	9:00	19,43	9:00	20,05	9:00	18,11	9:00	16,14
10:00	15,532	10:00	18,65	10:00	20,07	10:00	20,72	10:00	18,84	10:00	16,88
11:00	16,213	11:00	19,30	11:00	20,71	11:00	21,38	11:00	19,56	11:00	17,61
12:00	16,895	12:00	19,94	12:00	21,36	12:00	22,05	12:00	20,29	12:00	18,35
13:00	17,577	13:00	20,58	13:00	22,00	13:00	22,72	13:00	21,01	13:00	19,09
14:00	18,258	14:00	21,23	14:00	22,65	14:00	23,38	14:00	21,74	14:00	19,82
15:00	18,94	15:00	21,87	15:00	23,29	15:00	24,05	15:00	22,46	15:00	20,56
16:00	18,258	16:00	21,23	16:00	22,65	16:00	23,38	16:00	21,74	16:00	19,82
17:00	17,577	17:00	20,58	17:00	22,00	17:00	22,72	17:00	21,01	17:00	19,09
18:00	16,895	18:00	19,94	18:00	21,36	18:00	22,05	18:00	20,29	18:00	18,35
19:00	16,213	19:00	19,30	19:00	20,71	19:00	21,38	19:00	19,56	19:00	17,61
20:00	15,532	20:00	18,65	20:00	20,07	20:00	20,72	20:00	18,84	20:00	16,88
21:00	14,85	21:00	18,01	21:00	19,43	21:00	20,05	21:00	18,11	21:00	16,14
22:00	14,168	22:00	17,37	22:00	18,78	22:00	19,38	22:00	17,39	22:00	15,40
23:00	13,487	23:00	16,72	23:00	18,14	23:00	18,72	23:00	16,66	23:00	14,67
0:00	12,805	0:00	16,08	0:00	17,49	0:00	18,05	0:00	15,94	0:00	13,93

Tabla 5 Temperaturas horarias en Cantabria en los meses de Verano.

4.2.4. Precipitaciones

La resistencia térmica del suelo depende en gran medida del grado de humedad que exista en un determinado suelo y ésta viene determinada en gran medida por la cantidad de precipitaciones que se produzcan en el lugar, por lo que es importante realizar un análisis pluviométrico del lugar donde irán enterrados los intercambiadores.



Ilustración 25 Precipitaciones en Cantabria. <https://es.wikipedia.org>

Días de Ocurrencia			
	Nieve	Granizo	Lluvia
enero	0,6	1,8	16,3
febrero	0,4	1,9	13,7
marzo	0,1	1,5	14,2
abril	0,0	1,2	15,7
mayo	0,0	0,3	15,3
junio	0,0	0,0	12,2
julio	0,0	0,0	11,4
agosto	0,0	0,0	11,2
septiembre	0,0	0,1	12,6
octubre	0,0	31,0	15,4
noviembre		1,3	17,4
diciembre	0,1	1,2	16,0
Total anual	1,2	40,4	171,3

Tabla 6 Precipitaciones en Cantabria. <http://www.meteocantabria.es/>

La tabla muestra los datos referentes a precipitaciones recogidos por la estación meteorológica de Ojaiz. En ella se puede observar como en la zona norte de Cantabria existe un gran número de días al año con lluvia, tanto en invierno como en verano. Este dato unido a los datos mostrados por la imagen de la pluviometría en Cantabria, nos permite asegurar que en los terrenos contiguos a la escuela existe una cierta humedad en el subsuelo durante todo el año. También se observa como el granizo es bastante escaso mientras que la nieve es casi inexistente en esta zona.

Cabe destacar en este aspecto que esta combinación de lluvia abundante y nieve casi inexistente es especialmente beneficiosa para la geotermia ya que la humedad de la lluvia proporciona una mayor conducción térmica del terreno y la ausencia de nieve permite que una mayor radiación solar llegue al terreno.

4.2.5. Radiación Solar

La radiación solar se puede definir como la cantidad de energía que llega a la tierra procedente del sol en forma de luz y calor. Como ya se ha comentado anteriormente en este estudio, la temperatura de terreno a pocos metros de profundidad depende directamente de las condiciones atmosféricas en el exterior y por lo tanto de la radiación solar.



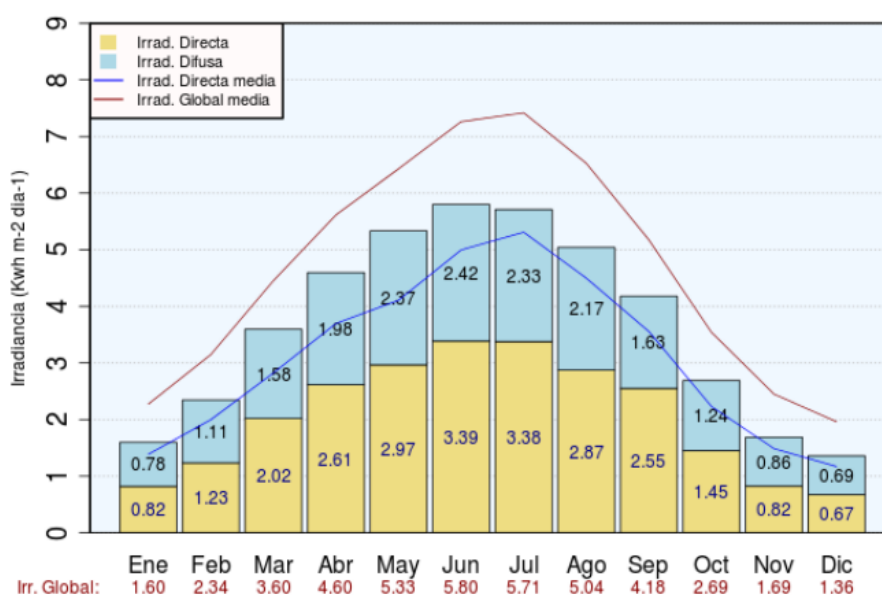
Ilustración 26 Representación de la radiación solar a escala global. <http://www.aprendeconenergia.cl/>

La radiación solar que llega a un punto concreto de la tierra depende fundamentalmente del ángulo con el que los rayos del sol incidan sobre la superficie. Así, se alcanza el máximo en el ecuador donde los rayos inciden perpendicularmente a la superficie, disminuyendo ésta a medida que nos alejamos del ecuador hasta alcanzar el mínimo en los polos.

En Cantabria, como se observa en la siguiente grafica existen unos valores de radiación global media que oscilan entre 2,2 y 7,2 kWh/m²/día. Este valor es mucho más bajo que en otras provincias del sur de España por lo que aplicaciones que necesiten una gran cantidad de radiación solar no suelen ser aconsejables en esta región.



Estudio de viabilidad sobre la incorporación de la Energía Geotérmica en la Escuela de Minas y Energía



Gráfica 5 Radiación solar en Cantabria. <http://docplayer.es/378138-Atlas-de-radiacion-solar-en-espana-utilizando-datos-del-saf-de-clima-de-eumetsat.html>

4.2.6. Viento, humedad relativa y niebla.

Estos tres factores no son determinantes a la hora de diseñar una instalación geotérmica ya que tienen poca incidencia en el terreno por ello los agrupamos en un mismo apartado.

En cuanto al viento cabe destacar que en Cantabria existen 3 tipos de vientos:

- Nordeste, es el más común y trae consigo un descenso de las temperaturas, así como cielos despejados. Bajo condiciones determinadas los vientos del noroeste aparecen en la región de forma repentina y con gran fuerza. Este fenómeno recibe el nombre de galerna.
- Sur, menos frecuente que el anterior. Al chocar grandes masas de aire caliente con la ladera sur de la cordillera cantábrica, este aire asciende por la ladera enfriándose y provocando nevadas en la zona. Una vez superada la cumbre de las montañas, esta masa de aire se precipita por la ladera norte de la cordillera calentándose y alcanzando grandes velocidades por lo que llega hasta la costa con una gran fuerza.
- Norte, una gran masa de aire frío proveniente del norte de Europa llega a la región provocando una gran bajada de las temperaturas, así como nevadas puntuales.

La humedad relativa es la cantidad de vapor de agua presente en el aire en relación a la cantidad teórica máxima que puede contener. En Cantabria existe un clima húmedo en comparación con otras comunidades autónomas siendo frecuentes valores de 80% de humedad relativa.



Ilustración 27 Humedad relativa en España. <http://www.purificadordelaire.es/>

En cuanto a la niebla es bastante habitual que aparezca en las primeras horas del día en meses de otoño e invierno, desapareciendo a lo largo de las horas de la mañana.

4.3. Descripción del edificio

Como ya se ha comentado anteriormente, este estudio hace referencia a la Escuela Politécnica de Ingeniería de Minas y Energía, perteneciente a la Universidad de Cantabria. En la escuela se imparten actualmente tres titulaciones, Grado en Ingeniería de Recursos Energéticos, Grado en Ingeniería de Recursos mineros y Master en Ingeniería de Minas.

El edificio es cuasi simétrico, contando con una torre central cilíndrica de la que parten las dos alas del edificio. El ala este es más ancho debido a que en ella se encuentran los despachos del profesorado. En cambio, en el ala oeste se encuentra el Aula Magna donde se celebran conferencias relacionadas con las titulaciones así, como la ceremonia de fin de grado.



Ilustración 28 Edificio y alrededores. Google Earth.

4.3.1. Superficie

Se trata de un edificio grande, con una superficie total construida de unos 10.200 m² repartidos en 4 plantas más sótano.

	Superficie (m ²)
Sótano	2933
Planta baja	2457
Planta Primera	2246
Planta Segunda	2253
Planta tercera	224
Total	10113

Tabla 7 Superficie del edificio por plantas.

4.3.2. Instalación de climatización

La escuela cuenta con dos instalaciones de climatización y calefacción totalmente diferenciadas.

La primera funciona por medio de 2 calderas de gas convencionales del modelo ROCA CPA-250 con una potencia de 250.000 W cada una. El agua calentada por estas dos calderas es impulsada por dos bombas de 15500l/h hasta un colector general del que parten dos circuitos de calefacción. El primer circuito alimenta los radiadores de la fachada norte de la planta baja mientras que el segundo alimenta los radiadores del resto del edificio exceptuando el aula magna, la biblioteca, y el salón de grados.

Características de la caldera:

- Modelo: ROCA CPA 250
- Potencia útil= 250.000 Kcal/h = 290,7 kW
- Rendimiento= 92,0 %
- Sobrepresión cámara combustión= 25 mm.c.a.
- Pérdida presión circ. agua ($\Delta t = 15^{\circ}\text{C}$) = 190 mm.c.a.



Estudio de viabilidad sobre la incorporación de la Energía Geotérmica en la Escuela de Minas y Energía

- Peso aprox.= 588 kg.
- Cap. Agua = 272 litros
- Presión máxima de trabajo: 5 bar (kg/cm²).
- Temperatura máxima de trabajo: 100°C.
- Combustibles adecuados: Gasóleo y Gas.
- Fluido calefactor: Agua caliente.

Características de los radiadores:

Sótano			Planta Baja			Planta primera			Planta segunda		
W/Ud.	Nº	Pot. Total	W/Ud.	Nº	Pot. Total	W/Ud.	Nº	Pot. Total	W/Ud.	Nº	Pot. Total
2422	5	12110	2288	4	9152	1312	4	5248	1641	4	6564
3180	8	25440	2153	13	27989	1346	10	13460	1749	10	17490
			4040	5	20200	1841	4	7364	2346	4	9384
			1884	4	7536	1211	10	12110	1480	2	2960
			2403	3	7209	1374	1	1374	1545	1	1545
			2060	2	4120	1030	10	10300	1202	10	12020
			1888	3	5664	858	13	11154	1030	13	13390
			1543	7	10801	687	5	3435	858	5	4290
			1201	3	3603	624	1	624	1374	8	10992
			624	2	1248	416	2	832	624	1	624
									416	2	832
Total Planta		37550W	Total Planta		97522W	Total Planta		65901W	Total Planta		73527W

Tabla 8 Características térmicas de los radiadores

Total Escuela	274500 W
Nº radiadores	179
Pot. media/rad	1533,5 W

La biblioteca y el aula magna se climatizan por medio de una bomba de calor CARRIER 50QF024 de tipo aire-aire.

- Potencia Calorífica: 68 kW
- Potencia Frigorífica: 79,1 kW
- Consumo Máximo: 14,52 kW

Existe una zona de la biblioteca en la que existe un sistema de refrigeración por medio de una bomba de calor independiente del modelo DBK/DBO 120AG.

- Capacidad frigorífica: 12.000 W
- Capacidad calorífica: 12.500 W
- Consumo en frío: 4.750 W
- Consumo en calor: 4.400 W

El salón de grados cuenta con una bomba de calor aire-aire individual del modelo DAIKIN RZQ100C7V1B.



Estudio de viabilidad sobre la incorporación de la Energía Geotérmica en la Escuela de Minas y Energía

- Capacidad frigorífica: 10.0 KW
- Capacidad calorífica: 11.2 KW
- Potencia calorífica: 2.66 KW
- Potencia frigorífica: 2.55 KW

Son precisamente estos tres locales para los cuales se dimensionará una BCG que sea capaz de sustituir a los tres equipos actuales.

4.4. Dimensionado de la instalación

4.4.1. Carga térmica

La carga térmica es la cantidad de calor por unidad de tiempo que un edificio intercambia con el exterior. Para poder diseñar cualquier instalación de calefacción, ya sea con aprovechamiento geotérmico o no, es esencial realizar un estudio previo de las cargas térmicas del edificio ya que esta cantidad de energía térmica será la misma que tenga que proporcionar el sistema de calefacción para mantener constante la temperatura.

Para llevar a cabo el estudio hay que tener en cuenta los factores por los cuales se intercambia calor con el exterior. Estos son:

Transmisión por las paredes.

Al encontrarse a diferente temperatura el interior del edificio del exterior el calor tiende a fluir de forma natural de la zona con mayor temperatura a la zona más fría hasta alcanzar el equilibrio térmico. La cantidad de calor por unidad de tiempo se calcula con la ecuación,

$$Q=U.A.\Delta t \text{ donde,}$$

- Q, es la cantidad de calor intercambiado por unidad de tiempo (W).
- U, es coeficiente global de transmisión de calor del muro ($\text{W/m}^2\text{°C}$ o $\text{W/m}^2\text{K}$)
- A, es la superficie por la cual se intercambia calor (m^2).
- Δt , es la diferencia de temperatura a ambos lados de la pared (°C o K).

Ventilación.

El aire a climatizar debe ser renovado constantemente para mantener las condiciones óptimas para ser respirado por las personas que se encuentren en el local por lo que hay que añadir también este factor. Para su cálculo se utiliza la ecuación,

$$Q=m.C_p.\Delta t \text{ donde,}$$

- Q, es la cantidad de calor intercambiado por unidad de tiempo (W).
- m, es el flujo másico de aire a renovar (Kg/s).
- C_p , es el calor específico del aire (J/Kg °C o J/kg K)
- Δt , es la diferencia de temperatura a ambos lados de la pared (°C o K).

Infiltración.

Hay que recordar que las construcciones no son ideales por lo que pueden existir pequeñas infiltraciones de aire. Esto unido a al intercambio que se produce al abrir puertas y



Estudio de viabilidad sobre la incorporación de la Energía Geotérmica en la Escuela de Minas y Energía

ventanas en el uso habitual de un edificio provoca que una mayor cantidad de pérdidas se produzcan. Estas se pueden cuantificar como el 30% de las pérdidas por ventilación.

Carga térmica por inercia térmica.

La Inercia térmica es la propiedad que indica la cantidad de calor que puede conservar un cuerpo y la velocidad con que lo cede o absorbe. Debido a esta propiedad para calentar o refrigerar una estancia hace falta mayor intercambio de calor. Esta carga se suele establecer como el 30% de la suma de las cargas por transmisión, ventilación e infiltración.

Cargas térmicas internas.

Estas cargas son las correspondientes a personas, equipos e iluminación. Todas ellas aportan calor a la estancia, por lo que en invierno ayudan a la instalación de calefacción a alcanzar una determinada temperatura, por lo que se restan de las anteriores mientras que en verano se suman a las anteriores.

4.4.2. Elección y justificación de la BCG

Una vez determinadas las cargas térmicas a cubrir por la bomba se elegirá una que cumpla éstas, tanto en invierno como en verano.

4.4.3. Dimensionado y configuración del sistema de captación geotérmica

Una vez elegidos el modelo de la bomba de calor y el fluido que circulara por el sistema de captación, se puede empezar a diseñar el sistema de captación.

4.4.3.1. Elección de la configuración a emplear

En este apartado se elegirá la configuración a emplear horizontal, vertical o slinky en función de las características del terreno.

4.4.3.2. Elección de los tubos a emplear

Una vez determinado el tipo de configuración a emplear se elegirá un modelo de tubería que sea óptimo para nuestra instalación eligiendo entre diferentes materiales y distintos diámetros.

Para la elección del diámetro hay que tener en cuenta dos factores:

- Debe de ser lo suficientemente grande para producir una pérdida de carga pequeña para así necesitar menor potencia en el bombeo.
- Debe de ser lo suficientemente pequeño para asegurar una velocidad alta y que el fluido trabaje en régimen turbulento. La ecuación de Reynolds asegura el régimen turbulento.

$$Re = \frac{4 \cdot Q}{\pi \cdot \theta \cdot D} > 2.300$$

4.4.3.3. Dimensionado del intercambiador

Existen varios métodos para el diseño de intercambiadores enterrados. En ese estudio se va a seguir el método que utiliza la IGSHA (International Ground Source Heat Pump Association). Este modelo se basa en la teoría de la fuente de calor en forma de una línea infinita



Estudio de viabilidad sobre la incorporación de la Energía Geotérmica en la Escuela de Minas y Energía

(Kelvin Line Source Theory) desarrollado por Ingersoll y Plass. Esta teoría sostiene que un intercambiador de calor que intercambia calor con el terreno se comporta como un foco de calor con un espesor pequeño y una longitud infinita, y por tanto sólo cede calor en el sentido radial.

4.4.3.3.1. Método IGSHPA

Se va a explicar el método IGSHPA para el dimensionado de los captadores tanto en verano como en invierno.

Invierno

A continuación, se muestra una imagen representativa de flujos de calor de la instalación.

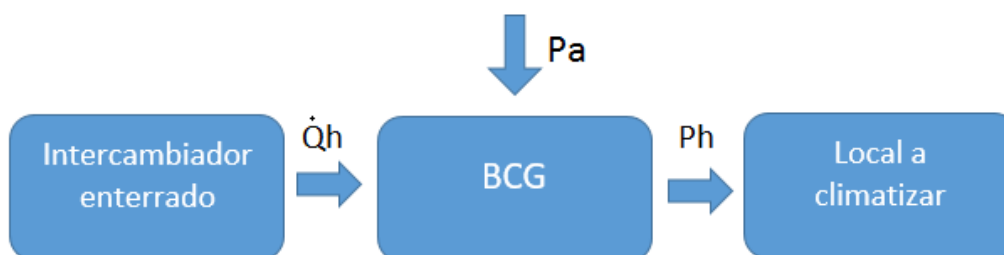


Ilustración 29 Flujo de calor

En ella se observa como el calor total a intercambiar con el terreno es la resta de la potencia calorífica a extraer del local a climatizar menos la potencia absorbida por la bomba de calor.

$$Q_c = P_h - P_a \text{ donde,}$$

- Q_c es la potencia a disipar por el intercambiador de calor enterrado.
- P_a es la potencia absorbida de la red
- P_h es la potencia térmica necesaria para climatizar el local

Si se expresa el flujo de calor por unidad de longitud del intercambiador enterrado tenemos:

$$q_c = Q_c / L_c \text{ donde}$$

- q_c es el calor a ceder por unidad de longitud (W/m)
- Q_c es la potencia a disipar por el intercambiador de calor enterrado (W)
- L_c es la longitud del intercambiador (m)

Ahora se va a estudiar el comportamiento del intercambiador enterrado en régimen permanente.

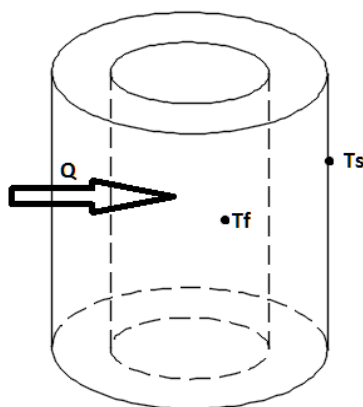


Ilustración 30 Representación del circuito de captación

En el intercambiador se produce una transferencia de calor desde el exterior caliente al fluido frío, según la ecuación:

$$q_c = (T_s - T_f) / RT \text{ donde,}$$

- q_c es el calor a ceder por unidad de longitud (W/m)
- T_f es la temperatura del fluido (°C)
- T_s es la temperatura del suelo (°C)
- RT es la resistencia térmica del conjunto de intercambiador y el terreno (mK/W)

La resistencia térmica del conjunto se puede expresar como:

$$RT = R_t + R_s \cdot F_u \text{ donde}$$

- RT es la resistencia térmica del conjunto de intercambiador y el terreno (mK/W)
- R_t es la resistencia térmica del tubo (mK/W)
- R_s es la resistencia térmica del terreno (mK/W)
- F_u es el factor de utilización

Si se sustituye la primera ecuación en la segunda, lo igualamos a tercera y despejamos L_c tenemos:

$$L_c = \frac{(P_h + P_a) \cdot RT}{T_s - T_f}$$

Si se descompone RT en sus componentes tenemos:

$$L_c = \frac{(P_h + P_a) \cdot R_t + R_s \cdot F_u}{T_s - T_f}$$

Las potencias se pueden expresar en función del COP de la instalación de la forma:

$$P_h + P_a = P_h \cdot \frac{COP - 1}{COP}$$

Sustituyendo en la ecuación general nos queda:

$$L_c = \frac{(P_h \cdot \frac{COP-1}{COP}) \cdot R_t + R_s \cdot F_u}{T_s - T_f}$$

Verano.

A continuación, se muestra una imagen representativa de flujos de calor de la instalación.

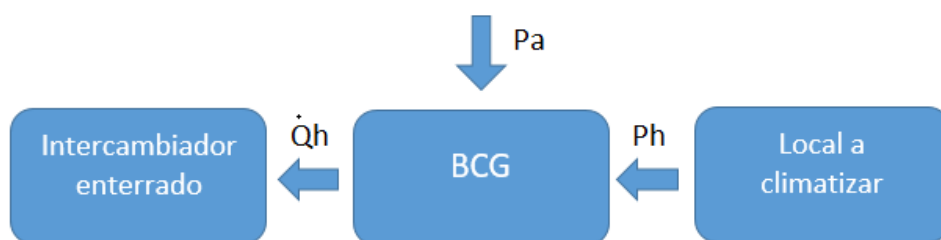


Ilustración 31 Flujo de calor

En ella se observa como el calor total a intercambiar con el terreno es la suma de la potencia calorífica a extraer del local a climatizar más la potencia absorbida por la bomba de calor.

$$Q_c = P_a + P_c \text{ donde,}$$

- Q_c es la potencia a disipar por el intercambiador de calor enterrado.
- P_a es la potencia absorbida de la red
- P_c es la potencia a extraer del local a climatizar

Si se expresa el flujo de calor por unidad de longitud del intercambiador enterrado tenemos:

$$q_c = Q_c / L_c \text{ donde}$$

- q_c es el calor a ceder por unidad de longitud (W/m)
- Q_c es la potencia a disipar por el intercambiador de calor enterrado (W)
- L_c es la longitud del intercambiador (m)

Ahora se va a estudiar el comportamiento del intercambiador enterrado en régimen permanente.

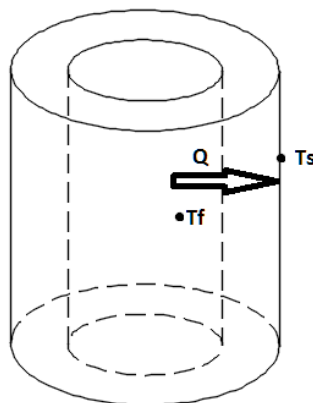


Ilustración 32 Representación del circuito de captación

En el intercambiador se produce una transferencia de calor desde el interior caliente al terreno frío, según la ecuación:

$$q_c = (T_f - T_s) / RT \text{ donde,}$$

- q_c es el calor a ceder por unidad de longitud (W/m)
- T_f es la temperatura del fluido (°C)
- T_s es la temperatura del suelo (°C)
- RT es la resistencia térmica del conjunto de intercambiador y el terreno (mK/W)

La resistencia térmica del conjunto se puede expresar como:

$$RT = R_t + R_s \cdot F_u \text{ donde}$$

- RT es la resistencia térmica del conjunto de intercambiador y el terreno (mK/W)
- R_t es la resistencia térmica del tubo (mK/W)
- R_s es la resistencia térmica del terreno (mK/W)
- F_u es el factor de utilización

Si se sustituye la primera ecuación en la segunda, lo igualamos a tercera y despejamos L_c tenemos:

$$L_c = \frac{(P_a + P_c) \cdot RT}{T_f - T_s}$$

Si se descompone RT en sus componentes tenemos:

$$L_c = \frac{(P_a + P_c) \cdot R_t + R_s \cdot F_u}{T_f - T_s}$$

Las potencias se pueden expresar en función del COP de la instalación de la forma:

$$P_a + P_c = P_c \cdot \frac{COP + 1}{COP}$$

Sustituyendo en la ecuación general nos queda:



$$L_c = \frac{(P_c \cdot \frac{COP+1}{COP}) \cdot R_t + R_s \cdot F_u}{T_f - T_s}$$

Con este método se diseñará el intercambiador para las condiciones de invierno como para las de verano y se elegirá la longitud del intercambiador mayor ya que asegurará el correcto funcionamiento en ambos modos de funcionamiento.

4.4.3.3.2. Cálculo de las temperaturas de la tierra.

Suponiendo un suelo homogéneo y con propiedades térmicas constantes, se puede calcular su temperatura mínima (invierno) y máxima (verano) a cualquier profundidad a partir de la siguiente ecuación:

$$T^a_{min.}(z) = T_m - A_s \cdot e^{(-z \cdot \sqrt{\frac{\pi}{365 \cdot \alpha}})}$$
$$T^a_{máx.}(z) = T_m + A_s \cdot e^{(-z \cdot \sqrt{\frac{\pi}{365 \cdot \alpha}})} \quad \text{donde,}$$

- $T^a_{min.}$ es la temperatura mínima del terreno
- $T^a_{máx.}$ es la temperatura máxima de la tierra
- T_m es la temperatura media anual del lugar
- A_s es la amplitud de la temperatura media anual
- Z es la profundidad
- A es la difusividad térmica del terreno

4.4.3.3.3. Elección de las temperaturas máximas y mínimas medias del fluido del circuito de captación

Las temperaturas de retorno del circuito de captación vienen fijadas dentro de un rango por las características de la bomba de calor.

Con estas temperaturas y las siguientes ecuaciones se puede calcular las temperaturas de impulsión del circuito en los modos frío y calor.

$$T^a_{impulsión\ invierno} = T^a_{retorno} - \frac{P_{calorífica} \cdot \frac{COP-1}{COP}}{C_p \cdot (\frac{Q}{3600})}$$
$$T^a_{impulsión\ verano} = T^a_{retorno} + \frac{P_{frigorífica} \cdot \frac{COP+1}{COP}}{C_p \cdot (\frac{Q}{3600})} \quad \text{donde,}$$

- C_p es el calor específico del fluido
- Q es el caudal

Las temperaturas máximas y mínimas medias del fluido del circuito de captación serán las correspondientes medias aritméticas entre las temperaturas de impulsión y de retorno respectivamente.

4.4.3.3.4. Cálculo de la resistencia térmica de la tubería.

La resistencia térmica de las tuberías del intercambiador enterrado se puede calcular por medio de la siguiente expresión:

$$R_t = \frac{1}{2\pi k_p} \cdot L \ln \frac{D_{ext}}{D_{int}} \text{ donde}$$

- R_t es la resistencia térmica del tubo (mK/W)
- k_p es la conductividad térmica del tubo (W/mK)
- D_{ext} . Es el diámetro exterior del tubo (mm)
- D_{int} . Es el diámetro interior del tubo (mm)

4.4.3.3.5. Cálculo del factor de utilización

El factor de utilización indica el tiempo en tanto por uno que va a estar funcionando la bomba de calor a plena potencia. Al tratarse de una instalación con dos modos de uso (invierno y verano) se tendrán dos factores de utilización correspondientes a cada estación. Se calculará como la división de la energía real que proporciona la BCG entre la máxima que podría suministrar estando en funcionamiento de manera ininterrumpida a su máxima potencia.

4.4.3.3.6. Cálculo de la resistencia térmica del terreno

El cálculo de la resistencia térmica del terreno es una de las partes críticas en el diseño de un intercambiador enterrado ya que ésta no solo depende de la conductividad térmica del terreno, sino también de la configuración elegida. Dependiendo de esta configuración el terreno tendrá una determinada resistencia térmica que a su vez determinará la longitud necesaria.

Para el cálculo de la resistencia térmica del terreno se va a utilizar el método de los tubos imagen, debido a que este método tiene en cuenta la oscilación térmica que se produce en el terreno, ya que este no se encuentra a suficiente profundidad para que la temperatura se considere constante.

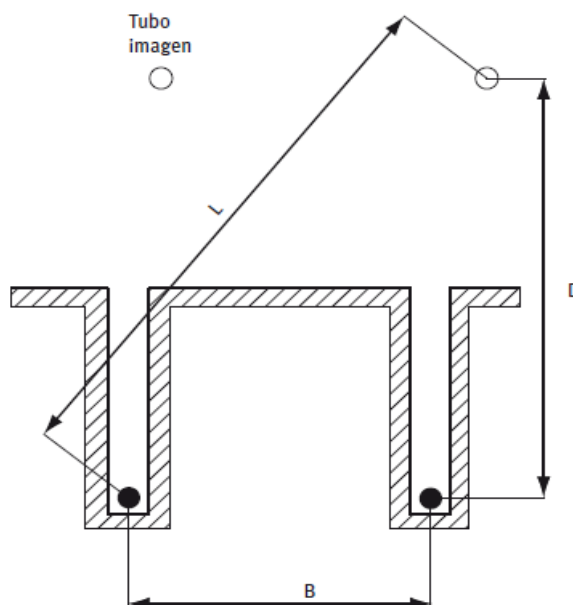


Ilustración 33 Modelo de tubos espejo. Guía técnica IDAE



Estudio de viabilidad sobre la incorporación de la Energía Geotérmica en la Escuela de Minas y Energía

Este método consiste en calcular la resistencia térmica de cada tubo real con respecto a todos los demás, incluyendo los tubos imagen según la ecuación:

$$R_s = \frac{1}{4\pi\lambda} \cdot e^{\frac{-L^2}{4\alpha t}} \text{ donde}$$

- λ es la conductividad térmica del terreno (W/mK)
- L es la distancia entre tubos (m), r en el caso de 1 tubo.
- α es la difusividad térmica del terreno (m^2)
- t es el tiempo de uso del intercambiador geotérmico (s)
- R_s es la resistencia térmica de cada tubo

Una vez calculadas todas las R_s de todos los tubos con respecto a todos los demás, se suman las resistencias térmicas con respecto a los tubos reales y se restan las correspondientes a los tubos imagen.

4.4.3.3.7. Cálculo de la longitud del intercambiador enterrado

Como ya se explicó anteriormente, según el método IGSHA una vez determinados todos los factores anteriores, la longitud de los intercambiadores para verano e invierno se pueden calcular con las ecuaciones:

$$LC.Invierno = \frac{(Ph \cdot \frac{COP-1}{COP}) \cdot (R_t + R_s \cdot Fu)}{T_s - T_f} \quad y \quad LC.Verano = \frac{(Pc \cdot \frac{COP+1}{COP}) \cdot (R_t + R_s \cdot Fu)}{T_f - T_s}$$

4.4.3.4. Elección de la mejor configuración.

El coste de la instalación viene determinado por el movimiento de tierras necesario, así como por la longitud del intercambiador elegido.

El movimiento de tierras necesario depende tanto de la longitud del intercambiador como de la configuración elegida.

Los precios unitarios de los intercambiadores así como del movimiento de tierras están sacados de la web: <http://www.generadordeprecios.info>

- M3 de terreno=5,32€
- M de intercambiador=7.96€

Teniendo en cuenta todo lo anterior se ha elegido como la mejor configuración posible será la que al final tenga un menor coste, que no será necesariamente la que tenga menor longitud del intercambiador.

Hay que destacar que no todas las configuraciones son válidas si no que se tiene que adecuar a las dimensiones del terreno disponible, así como la obligación de elegir un número par de tubos ya que el circuito debe empezar y terminar en el mismo punto.



Estudio de viabilidad sobre la incorporación de la Energía Geotérmica en la Escuela de Minas y Energía

4.5. Aportación a la instalación de calefacción actual

La bomba de calor elegida para la instalación tiene potencia suficiente para cubrir la demanda en el caso de que estén siendo utilizados los 3 locales para la cual ha sido diseñada al mismo tiempo y con unas condiciones exteriores extremas de 0,5º.

Sin embargo, la realidad de la escuela es que tanto el Aula Magna como el Salón de Grados se utilizan en momentos puntuales, siendo la Biblioteca el único local que permanentemente está siendo utilizado.

Por otro lado, como se ha visto en la tabla de temperaturas medias, durante las horas de funcionamiento de la escuela nunca existe en el exterior una temperatura de 0º.

De esta forma nos encontramos con que tenemos una bomba de calor sobredimensionada prácticamente el 100% de su periodo de funcionamiento.

Debido a esta situación, la segunda parte de este estudio se centra en el estudio de la posible aportación energética de la BCG a la instalación actual de calefacción de la escuela en el periodo invernal.

Para ello, primero se calculará el caudal de agua a 45º que es capaz de suministrar la bomba de calor con la potencia sobrante cuando esta está a pleno funcionamiento y únicamente esté calefactando la biblioteca. Se elige una temperatura de 45º debido que es difícil hacer que una BCG de estas características produzca un caudal de agua a mayor temperatura.

A continuación, se analizará el funcionamiento actual de la caldera para tener una idea de cómo y cuándo se consume la energía.

También se calculará el factor de utilización de la bomba de calor en estas condiciones.

Por último, se calculará la nueva longitud del intercambiador enterrado, así como la mejor configuración posible para este nuevo factor de utilización de la misma forma que se calculó para las condiciones anteriores.

4.5.1. Cálculo de caudal de agua a 45ºC

Para calcular el caudal de agua a 45ºC que es capaz de suministrar el BCG funcionando a pleno rendimiento es necesario calcular previamente la potencia sobrante cuando esta únicamente esté calefactando la biblioteca. Para ello basta con restar a la potencia máxima que de la BCG la potencia destinada a la biblioteca.

$$P_{\text{SOBRANTE}} = P_{\text{TOTAL}} - P_{\text{BIBLIOTECA}}$$

Una vez obtenida esta potencia sobrante para calcular el caudal de agua a 45º basta con aplicar la fórmula:

$$P_{\text{SOBRANTE}} = m \cdot C_p \cdot (45 - T_{\text{INICIAL}})$$

4.5.2. Cálculo del consumo actual

Las calderas convencionales con retorno como es nuestro caso tienen 2 regímenes de trabajo:

En el primero calientan toda el agua del sistema una vez al día desde la temperatura inicial, que suele rondar los 10ºC dependiendo del mes del año, hasta la temperatura de



Estudio de viabilidad sobre la incorporación de la Energía Geotérmica en la Escuela de Minas y Energía

impulsión alrededor de los 90º. Para calcular la energía necesaria para este proceso se puede aplicar la ecuación:

$$Q = C_e \cdot m \cdot (T^{\circ} \text{ final} - T^{\circ} \text{ inicial}) \text{ donde}$$

- Q es la energía suministrada por la caldera (J)
- C_e es el calor específico del agua (J/kgK)
- m es la masa de agua a calentar (kg)

Para calcular la energía anual consumida en este régimen basta con multiplicar la energía consumida diaria en este modo por el número de días que esté en funcionamiento anualmente.

$$Q_{\text{año}} = Q \cdot n^{\circ} \text{ días}$$

En el segundo modo de funcionamiento la caldera únicamente recalienta el agua desde la temperatura de retorno hasta la temperatura de impulsión.

Para calcular cuanta temperatura pierde el agua durante su recorrido por la instalación en cada ciclo basta con aplicar la siguiente ecuación:

$$Q = C_e \cdot m \cdot (T^{\circ} \text{ imp.} - T^{\circ} \text{ ret.}) \text{ donde}$$

- Q es la potencia suministrada por los radiadores en condiciones nominales (W)
- C_e es el calor específico del agua (J/kgK)
- M es el caudal másico que circule por los radiadores (kg)
- $T^{\circ} \text{ imp.}$ es la temperatura del agua a la salida de la caldera
- $T^{\circ} \text{ ret.}$ es la temperatura del agua al entrar en la caldera

Una vez alcanzado este régimen, la caldera permanece en él hasta que acaba el día. Hay que destacar que la caldera no está en funcionamiento el 100% del tiempo si no que solo se enciende cada cierto tiempo hasta que se alcanza la temperatura de consigna en la escuela. Esto llevado a la práctica supone que la caldera está en funcionamiento únicamente alrededor de un 20% de las horas del día por lo que el consumo anual de energía en este régimen es:

$$Q = 0,2 \cdot C_e \cdot m \cdot (\Delta T) \cdot T \text{ donde}$$

- Q es el calor suministrado por la caldera al agua (W)
- C_e es el calor específico del agua (J/kgK)
- M es el caudal másico que circula por la caldera (kg/s)
- ΔT es el salto térmico que se produce en la caldera (ºK)
- T es el tiempo que permanece en este régimen anualmente (s)

4.5.3. Cálculo del nuevo factor de utilización

El factor de utilización se calculará igual que en apartado "4.4.3.3.5. Cálculo del factor de utilización"

4.5.4. Cálculo de la nueva longitud del intercambiador enterrado

La nueva longitud se calculará de igual forma que en el apartado "4.4.3.3.7. Cálculo de la longitud del intercambiador enterrado"



Estudio de viabilidad sobre la incorporación de la Energía Geotérmica en la Escuela de Minas y Energía



4.5.5. Elección de la nueva mejor configuración

La elección de la nueva mejor configuración se realizará de igual forma que en el apartado “4.4.3.4. Elección de la mejor configuración.”

4.6. Resultados.

Para finalizar el estudio se hará una comparación entre la situación actual y la hipotética situación con la BCG en funcionamiento, tanto climatizando únicamente los locales con sistemas a baja temperatura como estando funcionando continuamente y precalentando el agua de la caldera cuando sea posible. Dicha comparación se realizará desde tres puntos de vista: Energético, Económico y Ambiental.



5. Resultados.



Estudio de viabilidad sobre la incorporación de la Energía Geotérmica en la Escuela de Minas y Energía

Contenido

5.	Resultados.....	69
5.1.	Cálculo de carga térmica	69
5.1.1.	Biblioteca	69
5.1.2.	Aula Magna	71
5.1.3.	Salón de grados	73
5.2.	Elección y justificación de la BCG	75
5.3.	Dimensionado y configuración del sistema de captación geotérmica.....	77
5.3.1.	Elección de la configuración a emplear.....	77
5.3.2.	Elección de los tubos a emplear	77
5.3.2.1.	Elección de los materiales	77
5.3.2.2.	Elección del diámetro.....	77
5.3.3.	Dimensionado del intercambiador.....	78
5.3.3.1.	Cálculo de las temperaturas de la tierra	78
5.3.3.2.	Elección de las temperaturas máximas y mínimas medias del fluido del circuito de captación	78
5.3.3.3.	Cálculo la resistencia térmica de la tubería.	79
5.3.3.4.	Cálculo del factor de utilización	79
5.3.3.5.	Cálculo de la resistencia térmica del terreno.....	80
5.3.3.6.	Cálculo de la longitud del intercambiador enterrado	81
5.3.3.7.	Elección de la mejor configuración.	81
5.3.4.	Aportación a la instalación de calefacción actual	83
5.3.4.1.	Cálculo de caudal de agua a 45°C	83
5.3.4.2.	Consumo actual.....	83
5.3.4.3.	Cálculo del factor de utilización	85
5.3.4.4.	Cálculo de la longitud del intercambiador enterrado	85
5.3.4.5.	Elección de la mejor configuración	86
5.4.	Resultados	87
5.4.1.	Opción 1	87
5.4.1.1.	Consumo energético	87
5.4.1.2.	Coste.....	90
5.4.1.2.1.	Inversión Inicial.....	90
5.4.1.2.2.	Gasto anual.....	91
5.4.1.3.	Emisiones.....	92
5.4.2.	Opción 2	92



Estudio de viabilidad sobre la incorporación de la Energía Geotérmica en la Escuela de Minas y Energía



5.4.2.1.	Consumo energético	93
5.4.2.2.	Coste.....	95
5.4.2.2.1.	Inversión Inicial.....	95
5.4.2.2.2.	Gasto anual.....	96
5.4.2.3.	Reducción de emisiones.....	97
5.4.3.	Resumen.....	98



5. Resultados.

5.1. Cálculo de carga térmica

Las condiciones extremas de cálculo de las cargas térmicas en invierno y en verano son:

Estación	Tª Exterior	Tª Interior	Tª terreno	Tª locales no climatizados
Invierno	0,5	20	10	8,5
Verano	26	24	20	27,5

Tabla 9 Temperaturas extremas de cálculo.

5.1.1. Biblioteca

La biblioteca de la escuela está situada en el ala este de la planta baja. Tiene dos paredes que lindan con el exterior. El resto de paredes lindan con el pasillo, así como con el laboratorio de electrotecnia, ambos climatizados. Está situada encima de unas aulas sin climatizar ubicadas en el sótano del garaje. Ciertas zonas de la biblioteca se encuentran debajo de unas estancias interiores que no están climatizadas.

Invierno

Transmisión					
Elementos	Área	U	Tint (°C)	Text (°C)	Q
Fachada	148,6676	0,72	20	0,5	2087,293104
Forjado	461,51	0,71	20	10	3276,721
Acristalamiento	13	3,7	20	0,5	937,95
Cubierta	141,89	1,04	20	8,25	1733,8958
Total					8035,86 W

Ventilación	m(kg/s)	cp(J/kgCº)	Tint (°C)	Text (°C)	Q
	0,622474432	1004,67	20	0,5	12194,94 W

Infiltración	3658,48 W
--------------	-----------

Carga térmica Inercia	7166,78 W
-----------------------	-----------

Carga térmica interna			
Personas	nº	Q /unidad	Q
	10	100	1000
Iluminación	m2		
	461,51	15	6922,65
Equipos	nº		
	10	250	2500
Total			10422,65W



Estudio de viabilidad sobre la incorporación de la Energía Geotérmica en la Escuela de Minas y Energía

Total Biblioteca

20633,41 W

Verano

Transmisión					
Elementos	Área	U(W/m ² Cº)	Tª int (ºC)	Tª ext (ºC)	Q(W)
Fachada	148,6676	0,72	24	26	-214,08
Forjado	461,51	0,71	24	20	1310,69
Acristalamiento	13	3,7	24	26	-96,20
Cubierta	141,89	1,04	24	27	-442,70
Total					557,71

Ventilación	m(kg/s)	cp(J/kgCº)	Tª int (ºC)	Tª ext (ºC)	Q(W)
	0,622474432	1004,67	24	26	-1250,76

Infiltración	-375,23
---------------------	----------------

Carga térmica Inercia	-320,48
------------------------------	----------------

Carga térmica interna			
Personas	nº	Q/Unidad	Q
	20	100	2000,00
Iluminación	m ²		
	461,51	15	6922,65
Equipos	nº		
	10	250	2500,00
Total			11422,65

Total Biblioteca

-12811,42



Estudio de viabilidad sobre la incorporación de la Energía Geotérmica en la Escuela de Minas y Energía

5.1.2. Aula Magna

El Aula magna es prácticamente una construcción aparte de la del edificio principal, estando únicamente unida por el acceso a esta desde el interior de la escuela. Por ello está casi completamente rodeada por fachadas que dan al exterior, así como por la cubierta. Se accede a ella desde la planta sótano por lo que está en contacto con el terreno.

Invierno

Transmisión					
Elementos	Área (m ²)	U(W/m ² Cº)	T int (°C)	Text (°C)	Q
Fachada Norte	108,405	0,72	20	0,5	1522,01
Fachada SO	232,7325	0,72	20	0,5	3267,56
Fachada E Aire	138,6	0,72	20	0,5	1945,94
Fachada E					
Terreno	46,2	0,75	20	10	346,50
Partición	245,85	0,54	20	8,25	1559,92
Forjado	469,7	0,618	20	10	2902,75
Cubierta	469,7	0,54	20	0,5	4945,94
Total					16490,62 W

Ventilación	m(kg/s)	cp(J/kgCº)	Tint (°C)	Text (°C)	Q
	1,313202917	1004,67	20	0,5	25727,04 W

Infiltración	7718,11 W
--------------	-----------

Carga térmica Inercia	14980,73 W
-----------------------	------------

Carga térmica interna			
Personas	nº		Q (W)
	40	100	4000,00
Iluminación	m2		
	469,7	15	7045,50
Equipos	nº		
	1	250	250,00
Total			11295,50 W

Total Aula Magna

53621,01 W



Estudio de viabilidad sobre la incorporación de la Energía Geotérmica en la Escuela de Minas y Energía

Verano

Transmisión					
Elementos	Área	U(W/m ² Cº)	Tª int (ºC)	Tª ext (ºC)	Q(W)
Fachada Norte	108,405	0,72	24	26	-156,10
Fachada SO	232,7325	0,72	24	26	-335,13
Fachada E Aire	138,6	0,72	24	26	-199,58
Fachada E					
Terreno	46,2	0,75	24	20	138,60
Partición	245,85	0,54	24	27	-398,28
Forjado	469,7	0,618	24	20	1161,10
Cubierta	469,7	0,54	24	26	-507,28
Total					-296,68

Ventilación	m(kg/s)	cp(J/kgCº)	Tª int (ºC)	Tª ext (ºC)	Q(W)
	1,313202917	1004,67	24	26	-2638,67

Infiltración	-791,60
---------------------	----------------

Carga térmica Inercia	-1118,08
------------------------------	-----------------

Carga térmica interna			
Personas	nº	Q/Unidad	Q
	40	100	4000,00
Iluminación	m2		
	469,7	15	7045,50
Equipos	nº		
	1	250	250,00
Total			11295,50

Total Aula Magna

-16140,53



Estudio de viabilidad sobre la incorporación de la Energía Geotérmica en la Escuela de Minas y Energía

5.1.3. Salón de grados

El salón de grados es un local situado en la fachada norte de la primera planta. Está rodeado completamente de locales climatizados a excepción de la propia fachada. Tanto encima como debajo tiene locales climatizados.

Invierno

Transmisión					
Elementos	Área	U(W/m ² C°)	Tint (°C)	Text (°C)	Q
Acristalamiento	18,507	3,7	20	0,5	1335,28
Fachada Norte	8,1192	0,72	20	0,5	113,99
Total					1449,27 W

Ventilación	m(kg/s)	cp(J/kgC°)	Tint (°C)	Text (°C)	Q
	0,078970939	1004,67	20	0,5	1547,12 W

Infiltración	464,14 W
--------------	----------

Carga térmica Inercia	1038,16 W
-----------------------	-----------

Carga térmica interna			
Personas	nº		Q (W)
	10	100	1000,00
Iluminación	m ²		
	55,06	15	825,90
Equipos	nº		
	1	250	250,00
Total			2075,90 W

Total Salón de Grados

2422,80 W



Estudio de viabilidad sobre la incorporación de la Energía Geotérmica en la Escuela de Minas y Energía

Verano

Transmisión					
Elementos	Área	U(W/m ² Cº)	Tª int (ºC)	Tª ext (ºC)	Q(W)
Acristalamiento	18,507	3,7	24	26	-136,95
Fachada Norte	8,1192	0,72	24	26	-11,69
Total					-148,64

Ventilación	m(kg/s)	cp(J/kgCº)	Tª int (ºC)	Tª ext (ºC)	Q(W)
	0,078970939	1004,67	24	26	-158,68

Infiltración	-47,60
---------------------	---------------

Carga térmica Inercia	-106,48
------------------------------	----------------

Carga térmica interna			
Personas	nº	Q/Unidad	Q
	20	100	2000,00
Iluminación	m2		
	55,06	15	825,90
Equipos	nº		
	1	250	250,00
Total			3075,90

Total Salón de Grados

-3537,30

	Invierno	Verano
Biblioteca	20633,41	-12811,42
Aula Magna	53621,01	-16140,53
Salón de Grados	2422,80	-3537,30
Total	76677,22	-32489,25

Tabla 10 Resumen cargas térmicas.

Por lo tanto, con las condiciones más desfavorables y en el caso de que se utilicen las 3 estancias al mismo tiempo nuestro sistema de climatización debe proporcionar una potencia térmica de 76678 W en invierno y 32490 W en verano.

5.2. Elección y justificación de la BCG

Partiendo de los datos obtenidos en el apartado anterior se ha elegido una bomba de calor de la casa ECOFOREST modelo ecoGEO HP-3 25-100 kW que cuenta con una válvula de 4 vías capaz de invertir el ciclo consiguiendo potencias tanto de calefacción como de refrigeración que oscilan entre 25 y 100kW.



Ilustración 34 Bomba de calor ECOFOREST www.ingeka.com

A continuación, se muestra una tabla con las principales características técnicas del modelo elegido, así como una curva Potencia/Velocidad del compresor en función de la temperatura del fluido del circuito de captación.



Estudio de viabilidad sobre la incorporación de la Energía Geotérmica en la Escuela de Minas y Energía

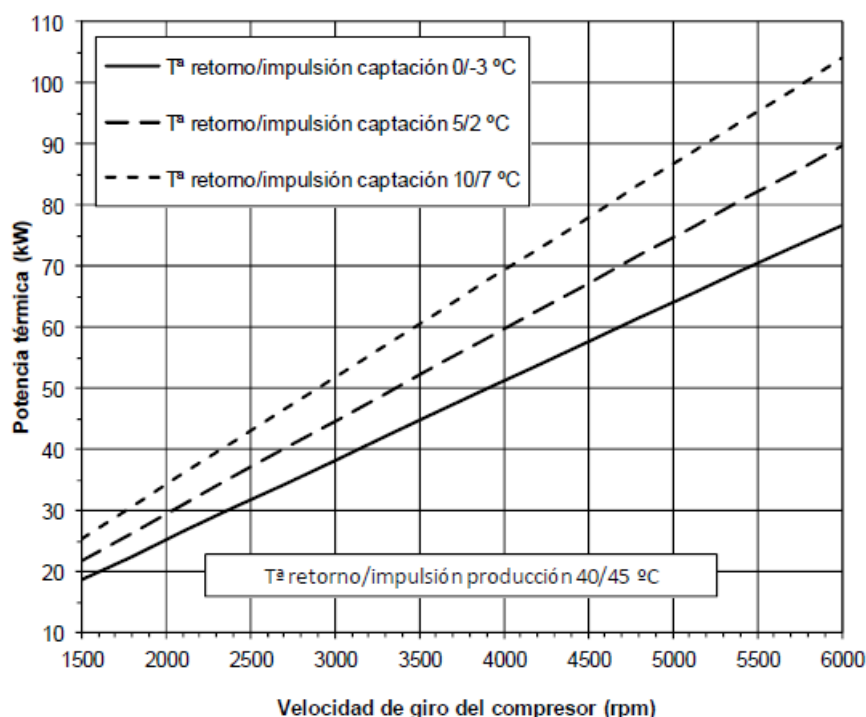
Bombas Geotérmicas ecoGEO HP DATOS TÉCNICOS		Unidad	ecoGEO HP3		
			12-40	15-70	25-100
Aplicación	Calefacción y ACS	-	•	•	•
	Frio activo	-			
Refrigerante	Tipo	-	R410A		
Componentes	Compresor	-	Scroll con Inverter de Danfoss		
	Válvula expansión	-	Electrónica Carel		
	Intercambiadores	-	Placas Alfa Laval		
	Depósito de líquido	-	Incluido, 5 litros		
	Filtro-secador	-	Incluido		
	Visor de líquido	-	Incluido		
Datos eléctricos	400 V / 50 Hz, 3/N/PE~	-	•	•	•
	Protección magnetotérmica	A	25	32	50
Eficiencia	Potencia calorífica ¹	kW	12-40	15-70	25-100
	COP ¹	-	4,6-5	4,6-5	4,6-5
	Consumo eléctrico ¹	kW	3,5-15	4,5-20	6,5-30
	EER ²	-	5,5-6,5	5,5-6,5	5,5-6,5
Circuito frigorífico	Carga refrigerante	kg	10,5	11	14,5
	Presión funcionamiento máxima	bar	42		
	Tipo aceite compresor	-	POE		
	Carga aceite compresor	kg	--		
Circuito climatización	Temperatura máxima/mínima	°C	Calefacción: 55/20 ; Refrigeración: 20/6		
	Presión funcionamiento máxima	bar	3		
	Caudal nominal ($\Delta T=5^{\circ}\text{C}$)	l/h	2000-7000	2500-12000	4300-17200
Circuito captación	Temperatura máxima/mínima	°C	Calefacción: --/-15; Refrigeración 60/--		
	Presión funcionamiento máxima	bar	3		
	Caudal nominal ($\Delta T=3^{\circ}\text{C}$)	l/h	2500-8500	3200-15000	5400-21700
	Anticongelante recomendado ³	-	Propilenglicol/agua -17 $\pm$ 2 °C		
Insonorización	Nivel emisión sonora ⁴	dB	--	--	--
Dimensiones	Alto x ancho x fondo	mm	1000 x 950 x 900		

Tabla 11 Características técnicas de la BCG. Manual de usuario ECOFOREST ECOGEO HP3

En la tabla siguiente se muestran algunas propiedades del fluido recomendado por el fabricante para el circuito de captación.

	Agua	Propilenglicol
Densidad a 20 °C (g/cm ³)	1	0,8630
Punto congelación °C (30% volumen)	0	-12
Punto ebullición °C	100	187
Calor Específico a 15 °C (kJ/Kg.K)	4,187	2,50371
Viscosidad a 0 °C (Pa.s) · 10 ⁻³	1,79	243
Viscosidad a 20 °C (Pa.s) · 10 ⁻³	1,01	60,5
Viscosidad a 40 °C (Pa.s) · 10 ⁻³	0,655	18,0
Conductividad térmica a 20 °C (kW/m.K) · 10 ⁻³	0,60	0,20

Tabla 12 Propiedades del fluido de captación. Guía técnica IDAE



Gráfica 6 Temperaturas del circuito de captación en función de la velocidad del compresor. Manual de usuario ECOFOREST ECOGEO HP3

En la gráfica anterior se observa como para una temperatura de 0/-3 retorno/impulsión del circuito de captación, con el compresor trabajando a plena potencia nos proporciona una potencia térmica de más de 75000 W lo que la hace óptima para nuestra instalación.

5.3. Dimensionado y configuración del sistema de captación geotérmica

5.3.1. Elección de la configuración a emplear

Se elige una configuración horizontal simple, puesto que disponemos de terreno suficiente, y esta es más económica que la configuración vertical ya que no requiere la perforación del terreno.

5.3.2. Elección de los tubos a emplear

5.3.2.1. Elección de los materiales

El polietileno y el polibutileno son los materiales más frecuentes a la hora de diseñar un sistema de captación geotérmico. En este caso se elige el polietileno PE80 ya que dispone de mayor conductividad térmica (0.43W/mK) y se comercializan modelos que aguantan presiones mayores de 3 bares (presión máxima recomendada por el fabricante de la bomba).

5.3.2.2. Elección del diámetro

Nuestro equipo en el caso más desfavorable trabajará a la máxima potencia, por lo que por el circuito de captación circulará un caudal de 21700l/h, por lo que necesitamos un diámetro



Estudio de viabilidad sobre la incorporación de la Energía Geotérmica en la Escuela de Minas y Energía

máximo de 30mm para garantizar régimen turbulento. Este diámetro no se fabrica por lo que se elige el inmediatamente inferior, es decir 27,2mm.

POLIETILENO					
Tipo	Presión (Bar)	Diam Nominal (Pul)	DN=Do Exterior (mm)	Di Interior (mm)	Kp (W/m K)
PE80	6	1"	-	-	0,43
		1 1/4"	-	-	0,43
		1 1/2"	40	35,4	0,43
		2"	50	45,2	0,43
		2 1/2"	63	57,0	0,43
	10	3/4"	20	16,0	0,43
		1"	25	21,0	0,43
		1 1/4"	32	27,2	0,43
		1 1/2"	40	34,0	0,43
		2"	50	42,6	0,43
		2 1/2"	63	53,6	0,43

Tabla 13 Características de los distintos tipos de tubos. Guía técnica IDAE

5.3.3. Dimensionado del intercambiador

5.3.3.1. Cálculo de las temperaturas de la tierra.

Como ya se explicó anteriormente nuestro terreno está formado por una mezcla de graba, arena, arenisca y limos con una humedad alrededor del 70% lo que le proporciona un difusividad de $6,67426 \cdot 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$. La temperatura media anual de la zona es de 14,24 °C y la amplitud térmica de 10,65°C.

Con estos datos se obtienen las siguientes temperaturas máximas y mínimas del terreno:

Profundidad	Tª máx.	Tª min.
0	24,89	3,59
1	21,48	7,00
2	19,16	9,32
3	17,58	10,90
4	16,51	11,97
5	15,78	12,70
6	15,29	13,19
7	14,95	13,53
8	14,72	13,76
9	14,57	13,91
10	14,46	14,02

Tabla 14 Temperaturas de la tierra a diferentes profundidades.

5.3.3.2. Elección de las temperaturas máximas y mínimas medias del fluido del circuito de captación

En nuestro caso como temperaturas de retorno se elige:

- Tª retorno invierno: -1º



Estudio de viabilidad sobre la incorporación de la Energía Geotérmica en la Escuela de Minas y Energía

- T^a retorno verano: 30°

Como vimos en apartado de cargas térmicas en invierno necesitaremos una potencia de 75kW mientras en verano trabajara a una potencia de 32,5 kW.

Nuestra bomba de calor trabaja con un COP en invierno de 5 mientras que en verano al ser menor la demanda frigorífica trabaja por debajo de sus condiciones nominales por lo que el COP se ve reducido hasta un valor de 4.5.

El caudal de cálculo en invierno será el máximo (21700l/h) ya que la bomba puede requerir máxima potencia en ciertos momentos, mientras que en verano en el caso más desfavorable el caudal necesario en el circuito de captación será de 7000l/h.

Con estos datos nos quedan unas temperaturas de impulsión de:

- T^a imp. invierno: -3.37°C
- T^a imp. verano: 33.05°C

Por lo que la temperatura media del fluido en los modos invierno y verano será:

- T^a media invierno: $(-1+(-3.37))/2 = -2.185^\circ\text{C}$
- T^a media verano: $(30+33.05)/2 = 31.52^\circ\text{C}$

5.3.3.3. Cálculo la resistencia térmica de la tubería.

La tubería que elegida tiene las siguientes características térmicas.

POLIETILENO					
Tipo	Presión (Bar)	Diam Nominal (Pul)	DN=Do Exterior (mm)	Di Interior (mm)	Kp (W/m K)
PE80	10	1 1/4"	32	27,2	0,43

Tabla 15 Propiedades del Polietileno PE80

Por lo que aplicando estos valores en la ecuación tenemos una resistencia térmica de 0.06 mK/W.

5.3.3.4. Cálculo del factor de utilización

Las horas que esté activa la bomba de calor vendrán determinadas por la utilización del edificio, así como de la temperatura exterior. La actividad en la escuela empieza a las 9:00 y termina a las 21:00 por lo que la instalación de climatización debe ponerse en marcha una hora antes para que dé tiempo a climatizar las estancias.

Con todo ello y teniendo en cuenta las temperaturas horarias determinadas en el apartado "4.2.3 Temperatura" nos queda un número de horas de funcionamiento y un factor de utilización de:

INVIERNO					VERANO				
T^a	Nº horas	Potencia	F. de carga	Horas ficticias	T^a	Nº horas	Potencia	F. de carga	Horas ficticias
0,5	0	76677,22	1,00	0,00	7,5	0	0,00	0,00	0,00
1,5	0	71997,29	0,96	0,00	8,5	0	0,00	0,00	0,00
2,5	0	67317,35	0,90	0,00	9,5	0	0,00	0,00	0,00



Estudio de viabilidad sobre la incorporación de la Energía Geotérmica en la Escuela de Minas y Energía

3,5	0	62637,42	0,84	0,00	10,5	0	0,00	0,00	0,00
4,5	0	57957,49	0,77	0,00	11,5	0	192,12	0,00	0,00
5,5	0	53277,56	0,71	0,00	12,5	0	422,82	0,01	0,00
6,5	0	48597,63	0,65	0,00	13,5	0	653,52	0,01	0,00
7,5	0	43917,70	0,59	0,00	14,5	44	884,23	0,01	0,52
8,5	51	39237,76	0,52	26,68	15,5	44	1114,93	0,01	0,65
9,5	128	34557,83	0,46	58,98	16,5	132	1345,63	0,02	2,37
10,5	214	29877,90	0,40	85,25	17,5	134	2874,54	0,04	5,14
11,5	322	25312,90	0,34	108,68	18,5	233	4459,74	0,06	13,85
12,5	324	20863,67	0,28	90,13	19,5	277	6044,94	0,08	22,33
13,5	274	16414,44	0,22	59,97	20,5	247	7630,13	0,10	25,13
14,5	134	11965,21	0,16	21,38	21,5	263	11429,56	0,15	40,08
15,5	179	7515,98	0,10	17,94	22,5	227	16109,49	0,21	48,76
16,5	66	4105,26	0,05	3,61	23,5	71	20789,43	0,28	19,68
17,5	0	1010,53	0,01	0,00	24,5	20	25469,36	0,34	6,79
18,5	0	0,00	0,00	0,00	25,5	0	30149,29	0,40	0,00
Total	1692			472,6158109	Total	1692			185,2966852
Factor de utilización				0,10904841	Factor de utilización				0,042754196

Tabla 16 Factor de utilización tanto en Invierno como en Verano.

5.3.3.5. Cálculo de la resistencia térmica del terreno

Para el cálculo de la resistencia térmica del terreno se ha fijado que los tubos irán enterrados a una altura de 2 metros ya que a esta altura las temperaturas máximas y mínimas del terreno empiezan a estancarse y no merece la pena el coste de la excavación.

En nuestra instalación existen unos valores de:

- $\lambda = 1.465$
- $\alpha = 6,67426 \cdot 10^{-7}$
- $t = 1692 \text{ h}$

A continuación, se muestran diferentes valores de R_s para diferentes distancias entre tubos, así como para diferentes números de tubos.

Nº tubos	L=0,3m	L=0,4m	L=0,5m	L=0,6m	L=0,7m
1	0,0347	0,0347	0,0347	0,0347	0,0347
2	0,0692	0,0690	0,0688	0,0686	0,0683
3	0,1033	0,1027	0,1019	0,1010	0,1000
4	0,1368	0,1353	0,1335	0,1313	0,1289
5	0,1696	0,1667	0,1632	0,1591	0,1546
6	0,2015	0,1966	0,1908	0,1842	0,1771
7	0,2323	0,2248	0,2161	0,2065	0,1964
8	0,2620	0,2513	0,2390	0,2260	0,2128
9	0,2904	0,2759	0,2596	0,2429	0,2265
10	0,3175	0,2986	0,2781	0,2576	0,2381
11	0,3433	0,3194	0,2944	0,2702	0,2478



Estudio de viabilidad sobre la incorporación de la Energía Geotérmica en la Escuela de Minas y Energía

12	0,3676	0,3385	0,3089	0,2811	0,2561
13	0,3905	0,3558	0,3217	0,2905	0,2631
14	0,4121	0,3716	0,3330	0,2986	0,2692
15	0,4322	0,3859	0,3430	0,3058	0,2745
16	0,4511	0,3989	0,3518	0,3120	0,2791
17	0,4687	0,4106	0,3597	0,3176	0,2831
18	0,4850	0,4212	0,3668	0,3225	0,2868
19	0,5002	0,4309	0,3731	0,3269	0,2900
20	0,5143	0,4396	0,3788	0,3309	0,2929

Tabla 17 Valores de resistencia térmica del terreno para diferentes configuraciones.

5.3.3.6. Cálculo de la longitud del intercambiador enterrado

La longitud del intercambiador es directamente proporcional tanto a la potencia térmica necesaria a suministrar o evacuar, así como al factor de utilización en cada uno de los modos de funcionamiento. Tanto la potencia como el factor de utilización son mayores en invierno por lo que a partir de aquí se realizarán los cálculos con las condiciones de invierno ya que cumpliendo éstas, cumplirán sobradamente las de verano.

Dist. Entre tubos	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7
Nº tubos	L(m)	L(m)	L(m)	L(m)	L(m)
1	383,55	383,55	383,55	383,55	383,55
2	453,78	453,47	453,07	452,59	452,02
3	523,22	521,99	520,43	518,57	516,41
4	591,48	588,48	584,72	580,30	575,28
5	658,22	652,38	645,20	636,92	627,77
6	723,12	713,23	701,34	687,95	673,55
7	785,90	770,69	752,83	733,25	712,83
8	846,32	824,51	799,54	772,97	746,11
9	904,20	874,55	841,54	807,48	774,14
10	959,38	920,77	879,04	837,31	797,69
11	1011,78	963,23	912,33	863,01	817,53
12	1061,33	1002,05	941,80	885,16	834,33
13	1108,02	1037,40	967,83	904,31	848,66
14	1151,87	1069,51	990,83	920,93	861,01
15	1192,95	1098,62	1011,17	935,44	871,72
16	1231,32	1124,98	1029,23	948,19	881,11
17	1267,10	1148,86	1045,29	959,46	889,39
18	1300,40	1170,50	1059,66	969,49	896,76
19	1331,36	1190,13	1072,55	978,47	903,35
20	1360,11	1207,98	1084,18	986,55	909,28

Tabla 18 Valores de longitud del intercambiador para distintas configuraciones.

5.3.3.7. Elección de la mejor configuración.



Estudio de viabilidad sobre la incorporación de la Energía Geotérmica en la Escuela de Minas y Energía

En la siguiente tabla se muestran los diferentes costes que supondría la instalación de los captadores en función de la configuración elegida.

Intercambiador			Terreno			Coste
	Nº tubos	L	Ancho	Largo	Superficie	
L=0,3m	2	352,26	0,60	175,83	105,50	3.926,26 €
	4	390,72	1,20	97,23	116,68	4.351,18 €
	6	427,49	1,80	70,75	127,35	4.757,22 €
	8	461,90	2,40	57,21	137,31	5.137,00 €
	10	493,48	3,00	48,81	146,43	5.485,20 €
	12	521,96	3,60	42,95	154,61	5.798,79 €
	14	547,25	4,20	38,53	161,84	6.076,88 €
	16	569,44	4,80	35,03	168,13	6.320,42 €
	18	588,74	5,40	32,14	173,56	6.531,67 €
	20	605,42	6,00	29,70	178,20	6.713,77 €
L=0,4m	2	352,17	0,80	175,68	140,55	4.298,49 €
	4	389,88	1,60	96,87	154,99	4.752,15 €
	6	424,73	2,40	70,12	168,29	5.170,85 €
	8	455,81	3,20	56,28	180,08	5.543,56 €
	10	482,70	4,00	47,55	190,20	5.865,07 €
	12	505,40	4,80	41,38	198,64	6.135,48 €
	14	524,24	5,60	36,70	205,54	6.358,77 €
	16	539,74	6,40	32,98	211,10	6.541,16 €
	18	552,45	7,20	29,94	215,54	6.689,58 €
	20	562,92	8,00	27,39	219,09	6.810,61 €
L=0,5m	2	352,06	1,00	175,53	175,53	4.669,78 €
	4	388,83	2,00	96,46	192,92	5.147,28 €
	6	421,41	3,00	69,40	208,20	5.569,04 €
	8	448,83	4,00	55,23	220,92	5.922,48 €
	10	471,04	5,00	46,20	231,02	6.206,61 €
	12	488,57	6,00	39,80	238,79	6.428,67 €
	14	502,27	7,00	34,95	244,63	6.599,82 €
	16	512,99	8,00	31,12	249,00	6.731,55 €
	18	521,49	9,00	28,03	252,25	6.833,75 €
	20	528,34	10,00	25,47	254,67	6.914,03 €
L=0,6m	2	351,92	1,20	175,36	210,43	5.040,07 €
	4	387,60	2,40	96,00	230,40	5.536,22 €
	6	417,67	3,60	68,61	247,00	5.952,02 €
	8	441,41	4,80	54,13	259,81	6.277,18 €
	10	459,38	6,00	44,86	269,15	6.519,53 €
	12	472,75	7,20	38,30	275,73	6.695,86 €
	14	482,74	8,40	33,37	280,29	6.823,78 €
	16	490,36	9,60	29,52	283,41	6.917,62 €
	18	496,31	10,80	26,44	285,54	6.987,61 €



Estudio de viabilidad sobre la incorporación de la Energía Geotérmica en la Escuela de Minas y Energía

	20	501,07	12,00	23,91	286,96	7.040,62 €
L=0,7m	2	351,76	1,40	175,18	245,25	5.409,28 €
	4	386,20	2,80	95,50	267,40	5.918,72 €
	6	413,64	4,20	67,77	284,65	6.320,61 €
	8	433,91	5,60	53,01	296,88	6.611,91 €
	10	448,32	7,00	43,57	305,00	6.812,92 €
	12	458,55	8,40	36,93	310,21	6.949,68 €
	14	466,00	9,80	31,99	313,46	7.043,60 €
	16	471,62	11,20	28,16	315,43	7.109,22 €
	18	475,99	12,60	25,12	316,53	7.155,69 €
	20	479,49	14,00	22,64	317,02	7.188,69 €

Tabla 19 Dimensiones del campo de captación y coste de la instalación para diferentes configuraciones

Se observa como la configuración más barata que cumpla las condiciones es la que consta de 6 tubos separados 30cm lo que supone una longitud del intercambiador de 427m y una zanja en el terreno de 70,75 metros de largo por 1,80 m de largo.

5.3.4. Aportación a la instalación de calefacción actual

5.3.4.1. Cálculo de caudal de agua a 45°C

La siguiente tabla muestra los datos de la potencia disponible sobrante en función de la temperatura exterior cuando la bomba de calor esté funcionando solo para calefactar la biblioteca, así como el caudal de agua del que se podría disponer a 45º aprovechando la potencia restante.

Tª	Nº horas/año	Potencia Biblioteca (W)	Potencia Sobrante (W)	Caudal de agua a 45°C (l/s)
7,5	0	11151,95	63848,05	0,4073
8,5	51	9797,45	65202,55	0,4274
9,5	128	8442,96	66557,04	0,4485
10,5	214	7088,46	67911,54	0,4709
11,5	322	5733,97	69266,03	0,4947
12,5	324	4379,47	70620,53	0,5198
13,5	274	3024,98	71975,02	0,5466
14,5	134	1670,48	73329,52	0,5752
15,5	179	315,99	74684,01	0,6057
16,5	66	0,00	75000,00	0,6296
17,5	0	0,00	75000,00	0,6525
18,5	0	0,00	75000,00	0,6771

Tabla 20 Caudal de agua caliente para diferentes temperaturas exteriores

5.3.4.2. Consumo actual

La instalación actual de la escuela, como ya se describió anteriormente, cuenta con 2 calderas de 290,7kW cada una. Estas calderas funcionan en paralelo, impulsando cada una un caudal de 15500l/h o 8.61 kg/s. Cada una de ellas tiene una capacidad de 272 litros por lo que la instalación completa tiene una capacidad de 544 litros.



Estudio de viabilidad sobre la incorporación de la Energía Geotérmica en la Escuela de Minas y Energía

Régimen 1

La energía consumida en este proceso será:

$$Q=4180.544.(90-10) = 1.819.10^8 \text{ J/día}$$

La caldera está en funcionamiento de lunes a viernes desde el 1 de noviembre hasta el 30 de abril, además de los fines de semana de enero, lo que supone un total de 141 días al año.

$$Q_{\text{año}} = 1.819.10^8 * 141 = 2,56479.10^{10} \text{ J/año}$$

Régimen 2

Como se vio en el apartado “4.3.2 Instalación de climatización” los radiadores de la escuela cuentan con una potencia total de 274500 W mientras que el caudal másico que circula por los radiadores es de 3.5 kg/s por lo se tiene una temperatura de retorno a la caldera de:

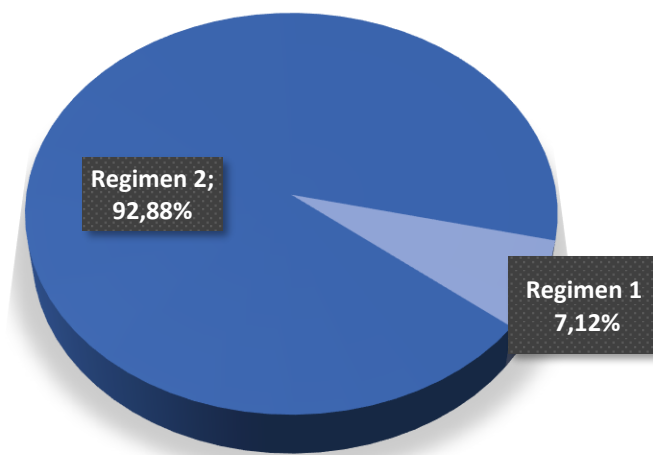
$$274500=4180.3,5.(90.- T^{\text{a}} \text{ ret.})$$

$$T^{\text{a}} \text{ ret}=71.24^{\circ}\text{C}$$

Por lo tanto en este régimen de funcionamiento a la caldera únicamente tendrá que calentar el agua desde 71.24º hasta 90º, es decir 18.76º, por lo que el consumo de energía en este régimen es:

$$Q=0,2.4180.3,5.(18,76).141.12.3600= 3.34.10^{11} \text{ J/año}$$

Energía anual



Gráfica 7 Energía consumida por la caldera en cada régimen

Haciendo una comparación entre la energía consumida por el sistema de calefacción en los dos regímenes de funcionamiento se observa como en primer régimen únicamente se consume el 7,12% de la energía mientras que el 92.88% restante se consume en el segundo régimen.



Estudio de viabilidad sobre la incorporación de la Energía Geotérmica en la Escuela de Minas y Energía

5.3.4.3. Cálculo del factor de utilización

En este caso la bomba de calor estará trabajando al 100% de carga durante 12 horas al día.

INVIERNO				
Tª	Nº horas	Potencia	F. de carga	Horas ficticias
0,5	0	75000,00	1,00	0,00
1,5	0	75000,00	1,00	0,00
2,5	0	75000,00	1,00	0,00
3,5	0	75000,00	1,00	0,00
4,5	0	75000,00	1,00	0,00
5,5	0	75000,00	1,00	0,00
6,5	0	75000,00	1,00	0,00
7,5	0	75000,00	1,00	0,00
8,5	51	75000,00	1,00	51,00
9,5	128	75000,00	1,00	128,00
10,5	214	75000,00	1,00	214,00
11,5	322	75000,00	1,00	322,00
12,5	324	75000,00	1,00	324,00
13,5	274	75000,00	1,00	274,00
14,5	134	75000,00	1,00	134,00
15,5	179	75000,00	1,00	179,00
16,5	66	75000,00	1,00	66,00
17,5	0	75000,00	1,00	0,00
18,5	0	75000,00	1,00	0,00
Total	1692			1692
Factor de utilización				0,390401477

Tabla 21 Cálculo del nuevo factor de utilización

5.3.4.4. Cálculo de la longitud del intercambiador enterrado

Dist. Entre tubos	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7
Nº tubos	L(m)	L(m)	L(m)	L(m)	L(m)
1	383,55	383,55	383,55	383,55	383,55
2	453,78	453,47	453,07	452,59	452,02
3	523,22	521,99	520,43	518,57	516,41
4	591,48	588,48	584,72	580,30	575,28
5	658,22	652,38	645,20	636,92	627,77
6	723,12	713,23	701,34	687,95	673,55
7	785,90	770,69	752,83	733,25	712,83
8	846,32	824,51	799,54	772,97	746,11
9	904,20	874,55	841,54	807,48	774,14
10	959,38	920,77	879,04	837,31	797,69
11	1011,78	963,23	912,33	863,01	817,53



Estudio de viabilidad sobre la incorporación de la Energía Geotérmica en la Escuela de Minas y Energía

12	1061,33	1002,05	941,80	885,16	834,33
13	1108,02	1037,40	967,83	904,31	848,66
14	1151,87	1069,51	990,83	920,93	861,01
15	1192,95	1098,62	1011,17	935,44	871,72
16	1231,32	1124,98	1029,23	948,19	881,11
17	1267,10	1148,86	1045,29	959,46	889,39
18	1300,40	1170,50	1059,66	969,49	896,76
19	1331,36	1190,13	1072,55	978,47	903,35
20	1360,11	1207,98	1084,18	986,55	909,28

Tabla 22 Valores de resistencia térmica del terreno para diferentes configuraciones

5.3.4.5. Elección de la mejor configuración

Intercambiador			Terreno			Coste
Nº tubos	L	Ancho	Largo	Superficie		
L=0,3m	2	453,78	0,60	226,59	135,95	5.058,66 €
	4	591,48	1,20	147,42	176,90	6.590,47 €
	6	723,12	1,80	120,02	216,04	8.054,67 €
	8	846,32	2,40	105,27	252,64	9.424,78 €
	10	959,38	3,00	95,40	286,19	10.681,80 €
	12	1061,33	3,60	87,89	316,42	11.814,86 €
	14	1151,87	4,20	81,72	343,22	12.820,80 €
	16	1231,32	4,80	76,39	366,70	13.702,94 €
	18	1300,40	5,40	71,68	387,06	14.469,47 €
	20	1360,11	6,00	67,44	404,61	15.131,58 €
L=0,4m	2	453,47	0,80	226,33	181,07	5.536,18 €
	4	588,48	1,60	146,52	234,43	7.178,63 €
	6	713,23	2,40	118,21	283,69	8.695,83 €
	8	824,51	3,20	102,36	327,56	10.048,34 €
	10	920,77	4,00	91,36	365,43	11.217,48 €
	12	1002,05	4,80	82,77	397,30	12.203,56 €
	14	1069,51	5,60	75,65	423,64	13.020,89 €
	16	1124,98	6,40	69,56	445,19	13.691,73 €
	18	1170,50	7,20	64,27	462,76	14.240,89 €
	20	1207,98	8,00	59,64	477,11	14.691,97 €
L=0,5m	2	453,07	1,00	226,03	226,03	6.011,45 €
	4	584,72	2,00	145,43	290,86	7.749,17 €
	6	701,34	3,00	116,06	348,17	9.287,24 €
	8	799,54	4,00	99,07	396,27	10.580,62 €
	10	879,04	5,00	87,00	435,02	11.625,72 €
	12	941,80	6,00	77,57	465,40	12.448,53 €
	14	990,83	7,00	69,84	488,91	13.089,00 €
	16	1029,23	8,00	63,39	507,11	13.588,31 €
	18	1059,66	9,00	57,93	521,33	13.981,81 €
	20	1084,18	10,00	53,26	532,59	14.296,81 €



Estudio de viabilidad sobre la incorporación de la Energía Geotérmica en la Escuela de Minas y Energía

L=0,6m	2	452,59	1,20	225,69	270,83	6.484,22 €
	4	580,30	2,40	144,17	346,02	8.300,80 €
	6	687,95	3,60	113,66	409,17	9.829,65 €
	8	772,97	4,80	95,57	458,74	11.033,81 €
	10	837,31	6,00	82,65	495,90	11.941,38 €
	12	885,16	7,20	72,66	523,18	12.612,47 €
	14	920,93	8,40	64,67	543,20	13.110,19 €
	16	948,19	9,60	58,14	558,11	13.485,87 €
	18	969,49	10,80	52,73	569,45	13.776,10 €
	20	986,55	12,00	48,19	578,25	14.005,50 €
L=0,7m	2	452,02	1,40	225,31	315,43	6.954,24 €
	4	575,28	2,80	142,77	399,76	8.832,70 €
	6	673,55	4,20	111,09	466,59	10.325,97 €
	8	746,11	5,60	92,04	515,42	11.423,15 €
	10	797,69	7,00	78,51	549,56	12.196,95 €
	12	834,33	8,40	68,24	573,25	12.740,60 €
	14	861,01	9,80	60,20	589,96	13.130,83 €
	16	881,11	11,20	53,76	602,08	13.419,72 €
	18	896,76	12,60	48,50	611,07	13.639,98 €
	20	909,28	14,00	44,13	617,87	13.812,04 €

Tabla 23 Dimensiones del campo de captación y coste de la instalación para diferentes configuraciones.

Se observa como la configuración más barata que cumpla las condiciones es la que consta de 12 tubos separados 60cm lo que supone una longitud del intercambiador de 885.16m y una zanja en el terreno de 72.66 metros de largo por 7.2 m de largo.

5.4. Resultados

En este apartado se va a cuantificar en términos económicos, energéticos y ambientales lo que supondría la introducción del sistema geotérmico en la Escuela.

Para ello se va a dividir el trabajo en 2 apartados, en el primero estudiaremos los que supondría la instalación del equipo geotérmico dedicado exclusivamente a climatizar los locales para el cual ha sido dimensionado, mientras que en la segunda parte analizaremos el impacto que supondría tenerle a pleno rendimiento durante el periodo en que permanezca la escuela abierta.

5.4.1. Opción 1

En este caso la bomba de calor estará en funcionamiento únicamente cuando la biblioteca, el Aula Magna y el Salón de Grados necesiten ser climatizados.

5.4.1.1. Consumo energético

A pesar de que la instalación se ha dimensionado para cubrir la demanda térmica en condiciones extremas, la realidad es que estas temperaturas son puntuales en esta zona.

A continuación, se muestra la demanda térmica actual de los 3 locales tanto en invierno como en verano para diferentes temperaturas exteriores, así como el consumo energético necesario en función del número de horas que existe esa temperatura para cubrir esta demanda.



Estudio de viabilidad sobre la incorporación de la Energía Geotérmica en la Escuela de Minas y Energía

Invierno									
Tª	Biblioteca (W)	Nº horas	Energía (kWh)	Aula Magna (W)	Nº horas	Energía (kWh)	Salón de grados (W)	Nº horas	Energía (kWh)
0,5	20633,41	0,00	0,00	53621,01	0,00	0,00	2422,80	0,00	0,00
1,5	19278,92	0,00	0,00	50526,28	0,00	0,00	2192,09	0,00	0,00
2,5	17924,42	0,00	0,00	47431,54	0,00	0,00	1961,39	0,00	0,00
3,5	16569,93	0,00	0,00	44336,81	0,00	0,00	1730,69	0,00	0,00
4,5	15215,43	0,00	0,00	41242,07	0,00	0,00	1499,99	0,00	0,00
5,5	13860,94	0,00	0,00	38147,34	0,00	0,00	1269,28	0,00	0,00
6,5	12506,44	0,00	0,00	35052,60	0,00	0,00	1038,58	0,00	0,00
7,5	11151,95	0,00	0,00	31957,87	0,00	0,00	807,88	0,00	0,00
8,5	9797,45	51,00	499,67	28863,14	2,55	73,60	577,18	2,55	1,47
9,5	8442,96	128,00	1080,70	25768,40	6,40	164,92	346,48	6,40	2,22
10,5	7088,46	214,00	1516,93	22673,67	10,70	242,61	115,77	10,70	1,24
11,5	5733,97	322,00	1846,34	19578,93	16,10	315,22	0,00	16,10	0,00
12,5	4379,47	324,00	1418,95	16484,20	16,20	267,04	0,00	16,20	0,00
13,5	3024,98	274,00	828,84	13389,47	13,70	183,44	0,00	13,70	0,00
14,5	1670,48	134,00	223,84	10294,73	6,70	68,97	0,00	6,70	0,00
15,5	315,99	179,00	56,56	7200,00	8,95	64,44	0,00	8,95	0,00
16,5	0,00	66,00	0,00	4105,26	3,30	13,55	0,00	3,30	0,00
17,5	0,00	0,00	0,00	1010,53	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
18,5	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
19,5	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
		Total	7471,83		Total	1393,79		Total	4,92801

Tabla 24 Carga térmica, horas de funcionamiento y energía necesaria para cada aula para distintas temperaturas exteriores.



Estudio de viabilidad sobre la incorporación de la Energía Geotérmica en la Escuela de Minas y Energía

Verano									
Tª	Biblioteca (W)	Nº horas	Energía (kWh)	Aula Magna (W)	Nº horas	Energía (kWh)	Salón de grados (W)	Nº horas	Energía (kWh)
30,5	-18906,64	0,00	0,00	-30066,84	0,00	0,00	-4575,47	0,00	0,00
29,5	-17552,15	0,00	0,00	-26972,10	0,00	0,00	-4344,76	0,00	0,00
28,5	-16197,65	0,00	0,00	-23877,37	0,00	0,00	-4114,06	0,00	0,00
27,5	-14843,16	0,00	0,00	-20782,64	0,00	0,00	-3883,36	0,00	0,00
26,5	-13488,66	0,00	0,00	-17687,90	0,00	0,00	-3652,66	0,00	0,00
25,5	-12134,17	0,00	0,00	-14593,17	0,00	0,00	-3421,95	0,00	0,00
24,5	-10779,67	0,00	0,00	-11498,43	0,00	0,00	-3191,25	0,00	0,00
23,5	-9425,18	0,00	0,00	-8403,70	0,00	0,00	-2960,55	0,00	0,00
22,5	-8070,68	51,00	-411,60	-5308,96	2,55	-13,54	-2729,85	2,55	-6,96
21,5	-6716,19	128,00	-859,67	-2214,23	6,40	-14,17	-2499,14	6,40	-15,99
20,5	-5361,69	214,00	-1147,40	0,00	10,70	0,00	-2268,44	10,70	-24,27
19,5	-4007,20	322,00	-1290,32	0,00	16,10	0,00	-2037,74	16,10	-32,81
18,5	-2652,70	324,00	-859,48	0,00	16,20	0,00	-1807,04	16,20	-29,27
17,5	-1298,21	274,00	-355,71	0,00	13,70	0,00	-1576,33	13,70	-21,60
16,5	0,00	134,00	0,00	0,00	6,70	0,00	-1345,63	6,70	-9,02
15,5	0,00	179,00	0,00	0,00	8,95	0,00	-1114,93	8,95	-9,98
14,5	0,00	66,00	0,00	0,00	3,30	0,00	-884,23	3,30	-2,92
13,5	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-653,52	0,00	0,00
12,5	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-422,82	0,00	0,00
11,5	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-192,12	0,00	0,00
		Total	-4924,18		Total	-27,70893		Total	-152,82

En la siguiente tabla se muestra una comparación entre los consumos energéticos de cada sistema en la situación actual, así como con la hipotética incorporación de la BCG. Como se comentó anteriormente, la refrigeración de la biblioteca está dividida en dos sistemas de refrigeración diferentes en los meses de verano por lo que en la siguiente tabla se divide el aporte energético de la siguiente manera:

$$4924.18 \text{ kWh} \left\{ \begin{array}{l} 2954,51 \text{ kWh} \rightarrow \text{Bomba de calor CARRIER 50QF024} \\ 1969,67 \text{ kWh} \rightarrow \text{Bomba de calor DBK/DBO 120AG} \end{array} \right.$$



Estudio de viabilidad sobre la incorporación de la Energía Geotérmica en la Escuela de Minas y Energía

	Local	Demanda térmica (kWh)	Equipo	COP	Energía consumida	Equipo	COP	Energía consumida
Invierno	Biblioteca	7471,83	Bomba de calor CARRIER 50QF024	4,68	1596,55	ECOFORST modelo ecoGEO HP-3 25-100 kW	5	1494,37
	Aula Magna	1393,79	Bomba de calor CARRIER 50QF024	4,68	297,82	ECOFORST modelo ecoGEO HP-3 25-100 kW	5	278,76
	Salón de grados	4,93	Bomba de calor DAIKIN RZQ100C7V1B.	4,21	1,17	ECOFORST modelo ecoGEO HP-3 25-100 kW	5	0,99
Verano	Biblioteca	2954,51	Bomba de calor CARRIER 50QF024	5,44	543,11	ECOFORST modelo ecoGEO HP-3 25-100 kW	4,5	656,56
		1969,67	Bomba de calor DBK/DBO 120AG	2,84	693,55	ECOFORST modelo ecoGEO HP-3 25-100 kW	4,5	437,71
	Aula Magna	27,71	Bomba de calor CARRIER 50QF024	5,44	5,09	ECOFORST modelo ecoGEO HP-3 25-100 kW	4,5	6,16
	Salón de grados	152,81	Bomba de calor DAIKIN RZQ100C7V1B.	3,92	38,98	ECOFORST modelo ecoGEO HP-3 25-100 kW	4,5	33,96
			Total		3176,27kWh	Total		2908,49 kWh

Tabla 26 Demanda térmica a cubrir en cada estancia y energía consumida por cada máquina.

5.4.1.2. Coste

En este apartado estudiaremos en términos económicos lo que supondría la instalación de esta tecnología.

5.4.1.2.1. Inversión Inicial

La inversión inicial necesaria para la introducción de esta tecnología viene determinada por el precio del equipo de bomba de calor, así como por el coste del movimiento de tierras necesario y las tuberías del campo de captación geotérmica.

En la siguiente tabla se muestran los precios de los distintos elementos.



Estudio de viabilidad sobre la incorporación de la Energía Geotérmica en la Escuela de Minas y Energía

Elemento	Precio unitario	Nº elementos	Total
Bomba de Calor ECOFOREST ecoGEO HP-3 25-100 kW	24900	1	24.900,00 €
Bomba circuladora Stratos40-5551	2300	1	2.300,00 €
Tubo de polietileno de alta densidad (PE 80),	7,96	427,5	3.402,90 €
m3 de terreno	5,32	254,7	1.355,00 €
Total			31.957,90 €

Tabla 27 Costes iniciales de la instalación

5.4.1.2.2. Gasto anual

El compresor de la bomba de calor CARRIER 50QF024 funciona con gas natural como combustible mientras que todas las demás son accionadas con un motor eléctrico.

- Precio kWh Gas Natural: 0.0557€
- Precio kWh eléctrico: 0.10€

	Equipo	Energía consumida	Coste (€)	Equipo	Energía consumida	Coste (€)
Invierno	Bomba de calor CARRIER 50QF024	1596,55	88,93	ECOFOREST modelo ecoGEO HP-3 25-100 kW	1494,37	149,44
	Bomba de calor CARRIER 50QF024	297,82	16,59	ECOFOREST modelo ecoGEO HP-3 25-100 kW	278,76	27,88
	Bomba de calor DAIKIN RZQ100C7V1B	1,17	0,12	ECOFOREST modelo ecoGEO HP-3 25-100 kW	0,99	0,10
Verano	Bomba de calor CARRIER 50QF024	543,11	30,25	ECOFOREST modelo ecoGEO HP-3 25-100 kW	656,56	65,66
	Bomba de calor DBK/DBO 120AG	693,55	69,35	ECOFOREST modelo ecoGEO HP-3 25-100 kW	437,71	43,77
	Bomba de calor CARRIER 50QF024	5,09	0,28	ECOFOREST modelo ecoGEO HP-3 25-100 kW	6,16	0,62



Estudio de viabilidad sobre la incorporación de la Energía Geotérmica en la Escuela de Minas y Energía

	Bomba de calor DAIKIN RZQ100C7V1B.	38,98	3,90	ECOFORST modelo ecoGEO HP-3 25-100 kW	33,96	3,40
		Total	209,42 €		Total	290,85 €

Tabla 28 Gasto anual en energía en la situación actual y con la instalación geotérmica.

5.4.1.3. Emisiones

En este apartado calculamos las emisiones anuales de CO₂ emitidas a la atmósfera por los equipos actuales, así como por el equipo geotérmico.

	Equipo	Energía consumida	Emisiones (kg CO2)	Equipo	Energía consumida	Emisiones (kg CO2)
Invierno	Bomba de calor CARRIER 50QF024	1596,55	321,86	ECOFORST modelo ecoGEO HP-3 25-100 kW	1494,37	0,00
	Bomba de calor CARRIER 50QF024	297,82	60,04	ECOFORST modelo ecoGEO HP-3 25-100 kW	278,76	0,00
	Bomba de calor DAIKIN RZQ100C7V1B.	1,17	0,00	ECOFORST modelo ecoGEO HP-3 25-100 kW	0,99	0,00
Verano	Bomba de calor CARRIER 50QF024	543,11	109,49	ECOFORST modelo ecoGEO HP-3 25-100 kW	656,56	0,00
	Bomba de calor DBK/DBO 120AG	693,55	0,00	ECOFORST modelo ecoGEO HP-3 25-100 kW	437,71	0,00
	Bomba de calor CARRIER 50QF024	5,09	1,03	ECOFORST modelo ecoGEO HP-3 25-100 kW	6,16	0,00
	Bomba de calor DAIKIN RZQ100C7V1B.	38,98	0,00	ECOFORST modelo ecoGEO HP-3 25-100 kW	33,96	0,00
		Total	492,42 kg		Total	0,00 kg

Tabla 29 Emisiones de CO2 anuales en la situación actual y con la instalación geotérmica.

5.4.2. Opción 2

En esta segunda opción se va a analizar los mismos parámetros que en el caso anterior, pero en el supuesto de tener la bomba de calor funcionando a plena carga durante todo el periodo de apertura de la escuela.

Como vimos en el apartado “5.3.4.1. Cálculo de caudal de agua a 45°C “debido a que la biblioteca es el único local de los anteriores que permanece constantemente climatizado, con el



Estudio de viabilidad sobre la incorporación de la Energía Geotérmica en la Escuela de Minas y Energía

funcionamiento a plena carga de la BCG tenemos un caudal medio de agua a 45°C de 0.50l/s o 1800l/h con el que se puede precalentar el agua que entra a la caldera.

5.4.2.1. Consumo energético

En la siguiente tabla se observa la demanda térmica del resto de locales de la escuela en función de la temperatura que exista en el exterior, así como el número de horas que exista esa temperatura y la energía demandada en cada franja de temperatura.

Tª	Nº horas	Demanda Térmica (W)	Energía (kWh)
0,5	0,00	419406,64	0,00
1,5	0,00	395873,87	0,00
2,5	0,00	372341,11	0,00
3,5	0,00	348808,34	0,00
4,5	0,00	325275,57	0,00
5,5	0,00	301742,80	0,00
6,5	0,00	278210,04	0,00
7,5	0,00	254677,27	0,00
8,5	51,00	231144,50	11788,37
9,5	128,00	207611,73	26574,30
10,5	214,00	184078,97	39392,90
11,5	322,00	160546,20	51695,88
12,5	324,00	137013,43	44392,35
13,5	274,00	113480,66	31093,70
14,5	134,00	89947,89	12053,02
15,5	179,00	66415,13	11888,31
16,5	66,00	42882,36	2830,24
17,5	0,00	19349,59	0,00
18,5	0,00	0,00	0,00
19,5	0,00	0,00	0,00
Total			231709,059

Tabla 30 Demanda térmica, horas de funcionamiento y energía necesaria del resto de locales de la escuela para diferentes temperaturas exteriores.

La caldera actual tiene un rendimiento de 0,92 por lo que la energía consumida por la caldera es:

$$\text{Energía}_{\text{CALDERA}} = 231709,059 / 0,92 = 251857,67 \text{ kWh}$$

Como vimos en el apartado “5.3.4.2. Consumo actual” 92,88% de la energía consumida por la caldera se utiliza para calentar el agua de retorno desde una temperatura de unos 72°C hasta 90°C. En este modo de funcionamiento no se puede aportar calor al sistema ya que el agua calentado por la BCG solo alcanza los 45°C.

En cambio, en el calentamiento inicial del agua sí que se puede precalentar el agua que llega a la caldera. El calentamiento inicial de la caldera supone el 7.12% de la energía consumida por la caldera, es decir:



Estudio de viabilidad sobre la incorporación de la Energía Geotérmica en la Escuela de Minas y Energía

$$\text{Energía}_{10-90}=251857,67.0,0712=17932,26 \text{ kWh}$$

Estos 17932 kWh se utilizan para calentar el agua desde 10º hasta 90º por lo que si se puede suministrar el agua a 45º tenemos únicamente un gasto de energía en este modo de:

$$\text{Energía}_{45-90}=\frac{17932.(90-45)}{(90-10)}=10086 \text{ kWh}$$

Lo que supone un aporte de energía por parte de la boba de calor geotérmica de 7845kWh.

Con todo esto tenemos un consumo de energía total de:

	Local	Demanda térmica (kWh)	Equipo	COP	Energía consumida	Equipo	COP	Energía consumida
Invierno	Biblioteca	7471,83	Bomba de calor CARRIER 50QF024	4,68	1596,55	ECOFORST modelo ecoGEO HP-3 25-100 kW	5	1494,37
	Aula Magna	1393,79	Bomba de calor CARRIER 50QF024	4,68	297,82	ECOFORST modelo ecoGEO HP-3 25-100 kW	5	278,76
	Salón de grados	4,93	Bomba de calor DAIKIN RZQ100C7V1B.	4,21	1,17	ECOFORST modelo ecoGEO HP-3 25-100 kW	5	0,99
	Resto Escuela	231709,0594	ROCA CPA-250	0,92	251857,673	ROCA CPA-250	0,92	244012,67
						ECOFORST modelo ecoGEO HP-3 25-100 kW	5	1569
	Flujo agua caliente	-	-	-	-	ECOFORST modelo ecoGEO HP-3 25-100 kW	5	22036,88973
Verano	Biblioteca	2954,51	Bomba de calor CARRIER 50QF024	5,44	543,11	ECOFORST modelo ecoGEO HP-3 25-100 kW	4,5	656,56
		1969,67	Bomba de calor DBK/DBO 120AG	2,84	693,55	ECOFORST modelo ecoGEO HP-3 25-100 kW	4,5	473,71
	Aula Magna	27,71	Bomba de calor CARRIER 50QF024	5,44	5,09	ECOFORST modelo ecoGEO HP-3 25-100 kW	4,5	6,16
	Salón de grados	152,8176422	Bomba de calor DAIKIN RZQ100C7V1B.	3,92	38,98	ECOFORST modelo ecoGEO HP-3 25-100 kW	4,5	33,96
			Total		255033,94 kWh	Total		270527,05 kWh



Estudio de viabilidad sobre la incorporación de la Energía Geotérmica en la Escuela de Minas y Energía

Tabla 31 Demanda térmica a cubrir en cada estancia y energía consumida por cada máquina

5.4.2.2. Coste

En este apartado estudiaremos en términos económicos lo que supondría la instalación de esta tecnología teniendo en cuenta que el campo de captación es mayor que en la opción 1.

5.4.2.2.1. Inversión Inicial

Elemento	Precio unitario	Nº elementos	Total
Bomba de Calor ECOFOREST ecoGEO HP-3 25-100 kW	24900	1	24.900,00 €
Bomba circuladora Stratos40-5551	2300	1	2.300,00 €
Tubo de polietileno de alta densidad (PE 80),	7,96	885,16	7.045,87 €
m3 de terreno	5,32	1046,36	5.566,64 €
Total			39.812,51 €

Tabla 32 Costes iniciales de la instalación



Estudio de viabilidad sobre la incorporación de la Energía Geotérmica en la Escuela de Minas y Energía

5.4.2.2.2. Gasto anual

	Equipo	Energía consumida	Coste	Equipo	Energía consumida	Coste
Invierno	Bomba de calor CARRIER 50QF024	1596,55	88,93	ECOFOREST modelo ecoGEO HP-3 25-100 kW	1494,37	149,44
	Bomba de calor CARRIER 50QF024	297,82	16,59	ECOFOREST modelo ecoGEO HP-3 25-100 kW	278,76	27,88
	Bomba de calor DAIKIN RZQ100C7V1B.	1,17	0,12	ECOFOREST modelo ecoGEO HP-3 25-100 kW	0,99	0,10
	ROCA CPA-250	251857,67	14028,47	ROCA CPA-250	244012,67	13591,51
				ECOFOREST modelo ecoGEO HP-3 25-100 kW	1569,00	156,90
	-	-	-	ECOFOREST modelo ecoGEO HP-3 25-100 kW	22036,89	2203,69
Verano	Bomba de calor CARRIER 50QF024	543,11	30,25	ECOFOREST modelo ecoGEO HP-3 25-100 kW	656,56	65,66
	Bomba de calor DBK/DBO 120AG	693,55	69,35	ECOFOREST modelo ecoGEO HP-3 25-100 kW	437,71	43,77
	Bomba de calor CARRIER 50QF024	5,09	0,28	ECOFOREST modelo ecoGEO HP-3 25-100 kW	6,16	0,62
	Bomba de calor DAIKIN RZQ100C7V1B.	38,98	3,90	ECOFOREST modelo ecoGEO HP-3 25-100 kW	33,96	3,40
	Total		14237,89 €	Total		16242,94 €

Tabla 33 Gasto anual en energía en la situación actual y con la instalación geotérmica.



Estudio de viabilidad sobre la incorporación de la Energía Geotérmica en la Escuela de Minas y Energía

5.4.2.3. Reducción de emisiones

	Equipo	Energía consumida	Emisiones (kg CO2)	Equipo	Energía consumida	Emisiones (kg CO2)
Invierno	Bomba de calor CARRIER 50QF024	1596,55	321,86	ECOFOREST modelo ecoGEO HP-3 25-100 kW	1494,37	0,00
	Bomba de calor CARRIER 50QF024	297,82	60,04	ECOFOREST modelo ecoGEO HP-3 25-100 kW	278,76	0,00
	Bomba de calor DAIKIN RZQ100C7V1B.	1,17	0,00	ECOFOREST modelo ecoGEO HP-3 25-100 kW	0,99	0,00
	ROCA CPA-250	251857,67	50774,51	ROCA CPA-250	244012,67	49192,95
				ECOFOREST modelo ecoGEO HP-3 25-100 kW	1569,00	0,00
	-	-	-	ECOFOREST modelo ecoGEO HP-3 25-100 kW	22036,89	0,00
Verano	Bomba de calor CARRIER 50QF024	543,11	109,49	ECOFOREST modelo ecoGEO HP-3 25-100 kW	656,56	0,00
	Bomba de calor DBK/DBO 120AG	693,55	0,00	ECOFOREST modelo ecoGEO HP-3 25-100 kW	437,71	0,00
	Bomba de calor CARRIER 50QF024	5,09	1,03	ECOFOREST modelo ecoGEO HP-3 25-100 kW	6,16	0,00
	Bomba de calor DAIKIN RZQ100C7V1B.	38,98	0,00	ECOFOREST modelo ecoGEO HP-3 25-100 kW	33,96	0,00
	Total		51266,93 kg	Total		49192,95 kg

Tabla 34 Emisiones de CO2 anuales en la situación actual y con la instalación geotérmica.

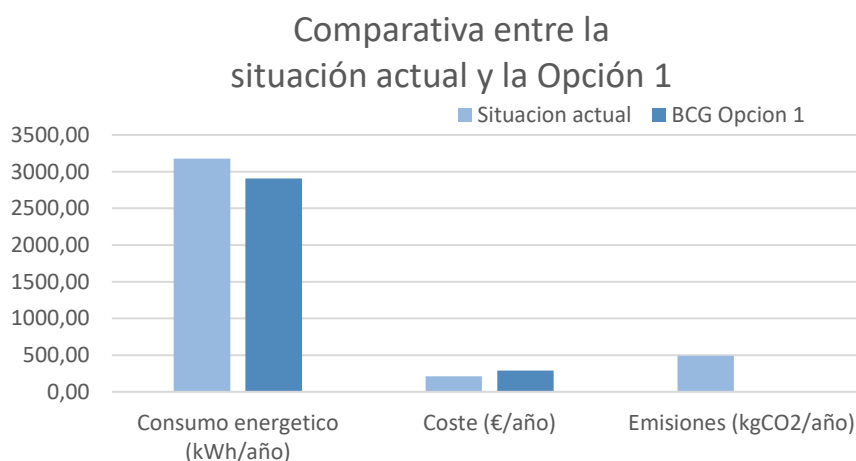


Estudio de viabilidad sobre la incorporación de la Energía Geotérmica en la Escuela de Minas y Energía

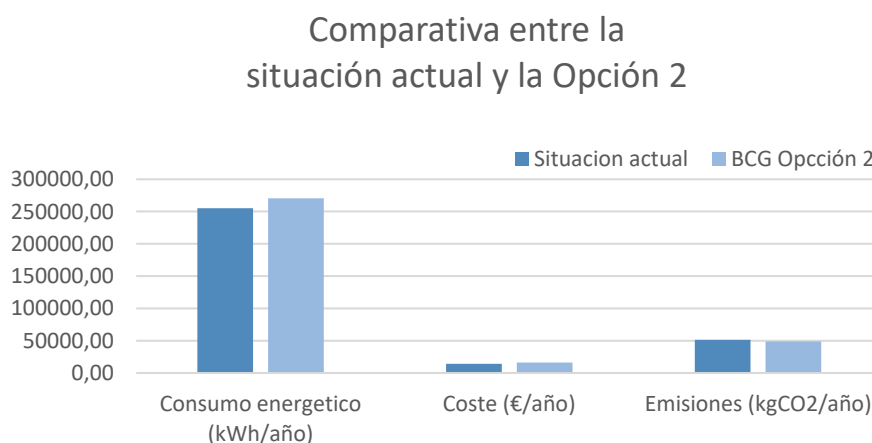
5.4.3. Resumen

	Opción 1			Opción 2		
	Consumo energético (kWh/año)	Coste (€/año)	Emisiones (kgCO2/año)	Consumo energético (kWh/año)	Coste (€/año)	Emisiones (kgCO2/año)
Situación actual	3176,27	209,42	492,42	255033,94	14237,89	51266,93
Bomba de calor	2908,48	290,85	0	270527,05	16242,94	49192,95
Ahorro	267,77	-81,42	492,42	-15493,11	--2005,05	2073,97

Tabla 35 Resumen Energético, económico y ambiental.



Gráfica 8 Comparación energética, económica y ambiental entre la situación actual y la Opción 1



Gráfica 9 Comparación energética, económica y ambiental entre la situación actual y la Opción 2



6. Conclusiones.



Estudio de viabilidad sobre la incorporación de la Energía Geotérmica en la Escuela de Minas y Energía



Contenido

6.	Conclusiones.....	101
6.1.	Energéticas.....	101
6.2.	Económicas.....	101
6.3.	Ambientales.	101
6.4.	Conclusión final.	101



Estudio de viabilidad sobre la incorporación de la Energía Geotérmica en la Escuela de Minas y Energía

6. Conclusiones.

Una vez realizados todos los cálculos pertinentes, en este capítulo se sacará la conclusión final, es decir, si es viable o no la incorporación de una BCG en la Escuela Politécnica de Ingeniería de Minas y Energía. Para ellos analizaremos los resultados obtenidos en el capítulo anterior.

6.1. Energéticas.

Desde el punto de vista energético la Opción 1 es la más aconsejable ya que reduce el consumo energético anual en 267kW mientras que en la Opción 2 se incrementa 15493kW.

6.2. Económicas.

Desde el punto de vista económico tanto la Opción 1 como la Opción 2 suponen una fuerte inversión inicial. En este sentido una opción válida es abordar esta instalación en el marco de renovación de equipos por averías u obsolescencia.

Actualmente, aparte del desembolso inicial ambas opciones suponen un mayor gasto anual para la administración de la escuela que la situación actual.

En el caso de la Opción 1 esto parece contradictorio puesto que tiene un menor consumo energético. La razón de este mayor coste anual de la energía es que el precio del kWh eléctrico es mayor que el del kWh de Gas Natural. En el futuro si el precio de la electricidad se reduce, esta instalación podría entrar en el terreno de la rentabilidad económica.

En cuanto a la opción 2 la única manera de hacer rentable la inversión en un determinado periodo de tiempo, sería monetizando el caudal sobrante de aproximadamente 0,5 litros de agua a 45°C que nos proporciona la BCG trabajando en este modo de funcionamiento.

6.3. Ambientales.

Desde el punto de vista de las emisiones contaminantes a la atmósfera, ambas opciones son buenas ya que ambas sustituyen a equipos que actualmente funcionan con la combustión de combustibles fósiles.

En este aspecto, destaca la Opción 2 ya que aparte de suprimir completamente las emisiones de la bomba de calor actual reduce también las emisiones de la caldera.

6.4. Conclusión final.

Como resultado del análisis de estos 3 parámetros se puede ver como la parte económica es la única desfavorable por lo que se puede terminar afirmando que:

Únicamente se aconseja la incorporación de una BCG en la escuela en el caso de que exista la necesidad de renovar los equipos actuales debido a la avería u obsolescencia de éstos.



7. Bibliografía.



Estudio de viabilidad sobre la incorporación de la Energía Geotérmica en la Escuela de Minas y Energía



Contenido

7. Bibliografía.	105
-----------------------	-----



Estudio de viabilidad sobre la incorporación de la Energía Geotérmica en la Escuela de Minas y Energía

7. Bibliografía.

Para la realización de este trabajo se han consultado información de las siguientes fuentes:

Páginas webs:

- <http://tiposdeenergia.info/tipos-de-energia/>
- <https://es.wikipedia.org/>
- https://www.vaillant.es/usuarios/te-ayudamos-a-elegir/tecnologias-disponibles/bombas-de-calor/geotermia/index.es_es.html
- <http://ecoforest.es/es/categoria/geotermia>
- <http://geotermiaonline.com/todo-lo-que-hay-que-saber-sobre-geotermia-para-despejar-dudas/>
- <http://www.ingeka.es/>
- <http://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn255.html>
- <http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/4183/fichero/2.-+anexo+cálculo%252F5.-+cálculo++cargas+termicas.pdf>
- http://www.ingenierosindustriales.com/wp-content/uploads/2009/04/cálculo_carga_termica.pdf
- <http://erenovable.com/ventajas-e-inconvenientes-de-la-energia-geotermica/>

Artículos:

- <http://www.ecoticias.com/energias-renovables/129113/energias-renovables-180-politica-energetica-nuevo-gobierno-imprescindibles>
- <http://www.muyinteresante.es/innovacion/articulo/la-energia-geotermica-de-espana-podria-generar-5-veces-su-capacidad-electrica-actual-661402499291>
- <https://twenergy.com/a/la-energia-geotermica-en-espana-416>

Guías:

- <http://publireportajes.lavanguardia.es/idaa/pdf/Guia-Tecnica-IDAa.Diseno-de-sistemas-de-bomba-de-calor-geotermica.pdf>

Informes:

- http://www.ree.es/sites/default/files/downloadable/inf_sis_elec_ree_2015.pdf
- http://www.ree.es/sites/default/files/downloadable/avance_informe_sistema_electrico_2015_v2.pdf

Libros:

- *Conduction of Heat in Solids* (H. S. Carslaw y J. C. Jaeger)

Apuntes:

- Apuntes de la asignatura “Transformación y Uso Eficiente de la Energía” (G606)
- Apuntes de la asignatura “Energías Renovables y Alternativas” (G1693)

Otros proyectos, estudios o Trabajos de fin de grado:

- <http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/4890/fichero/3.Modelado+matem%C3%A1tico+y+dimensionado+de+captadores.pdf>



Estudio de viabilidad sobre la incorporación de la Energía Geotérmica en la Escuela de Minas y Energía



- ESTUDIO DE LA EFICIENCIA ENERGÉTICA DEL EDIFICIO DE LA ESCUELA DE INGENIERÍA DE MINAS Y ENERGÍA DE TORRELAVEGA
<https://repositorio.unican.es/xmlui/handle/10902/6621>
- Estudio de viabilidad de la incorporación de energía solar térmica por tubos de vacío en la Escuela Politécnica de Ingeniería de Minas y Energía
<https://repositorio.unican.es/xmlui/handle/10902/7922>
- PROYECTO DE CONTRUCCION DE LA ESCUELA UNIVERSITARIA TECNICA MINERA DE TORRELAVEGA
Proporcionado por el Servicio de Infraestructura de la Universidad de Cantabria



8. Referencias.



Estudio de viabilidad sobre la incorporación de la Energía Geotérmica en la Escuela de Minas y Energía



Contenido

8.	Referencias.....	108
8.1.	Ilustraciones	108
8.2.	Tablas	109
8.3.	Gráficas.....	110



8. Referencias.

8.1. Ilustraciones

<i>Ilustración 1 Representación de la radiación solar atrapada en la atmósfera</i>	
<i>http://grupo2geoambiental.blogspot.com.es/</i>	<i>5</i>
<i>Ilustración 2 Ciclo del carbono https://es.wikipedia.org</i>	<i>6</i>
<i>Ilustración 3 Evolución de la concentración de CO2 en la atmósfera http://www.interempresas.net/</i>	<i>7</i>
<i>Ilustración 4 Evolución de la temperatura media global http://www.euskonews.com/</i>	<i>7</i>
<i>Ilustración 5 Las diferentes categorías de la etiqueta energética http://revista.consumer.es/</i>	<i>10</i>
<i>Ilustración 6 Representación del método de vapor seco. Apuntes de la asignatura RENEWABLE AND ALTERNATIVE ENERGIES</i>	<i>19</i>
<i>Ilustración 7 Representación del método Flash Steam. Apuntes de la asignatura RENEWABLE AND ALTERNATIVE ENERGIES</i>	<i>19</i>
<i>Ilustración 8 Representación del método de ciclo binario. Apuntes de la asignatura RENEWABLE AND ALTERNATIVE ENERGIES</i>	<i>20</i>
<i>Ilustración 9 Representación del anillo de fuego. Apuntes de la asignatura RENEWABLE AND ALTERNATIVE ENERGIES</i>	<i>20</i>
<i>Ilustración 10 Calefacción urbana directa. http://t-solucion.com/</i>	<i>22</i>
<i>Ilustración 11 Ciclo ideal de refrigeración por compresión, diagrama y elementos. Apuntes de la asignatura "Transformación y Uso Eficiente de la Energía"</i>	<i>23</i>
<i>Ilustración 12 Ciclo real de refrigeración por compresión. Apuntes de la asignatura "Transformación y Uso Eficiente de la Energía"</i>	<i>24</i>
<i>Ilustración 13 Ciclos de calefacción y refrigeración. http://bombasdecalor.blogspot.com.es/</i>	<i>25</i>
<i>Ilustración 14 Representación de captadores geotérmicos horizontales. http://www.geothermiacyl.com/</i>	<i>28</i>
<i>Ilustración 15 Representación de captadores geotérmicos verticales. http://www.orueiturgintza.com/</i>	<i>28</i>
<i>Ilustración 16 Representación de captadores geotérmicos slinky. Guía técnica IDAE Diseño de sistemas de captación geotérmicos</i>	<i>28</i>
<i>Ilustración 17 Representación de la configuración en serie. Guía técnica IDAE Diseño de sistemas de captación geotérmicos.</i>	<i>29</i>
<i>Ilustración 18 Representación de la configuración en paralelo. Guía técnica IDAE Diseño de sistemas de captación geotérmicos.</i>	<i>29</i>
<i>Ilustración 19 Localización de la ciudad de Torrelavega. Google Earth</i>	<i>41</i>
<i>Ilustración 20 Comunicaciones terrestres de Torrelavega. Google Maps</i>	<i>42</i>
<i>Ilustración 21 Vista aérea y localización del edificio. Google Earth</i>	<i>43</i>
<i>Ilustración 22 Localización del campo de captación. Google Earth</i>	<i>43</i>
<i>Ilustración 23 Geología de la zona del campo de captación. http://www.igme.es/</i>	<i>44</i>
<i>Ilustración 24 Climas en Cantabria. https://sites.google.com/site/plantrabajocantabria/los-climas-de-cantabria</i>	<i>45</i>
<i>Ilustración 25 Precipitaciones en Cantabria. https://es.wikipedia.org</i>	<i>48</i>
<i>Ilustración 26 Representación de la radiación solar a escala global. http://www.aprendeconenergia.cl/</i>	<i>49</i>
<i>Ilustración 27 Humedad relativa en España. http://www.purificadordelaire.es/</i>	<i>51</i>
<i>Ilustración 28 Edificio y alrededores. Google Earth</i>	<i>52</i>
<i>Ilustración 29 Flujo de calor</i>	<i>56</i>
<i>Ilustración 30 Representación del circuito de captación</i>	<i>57</i>
<i>Ilustración 31 Flujo de calor</i>	<i>58</i>
<i>Ilustración 32 Representación del circuito de captación</i>	<i>59</i>
<i>Ilustración 33 Modelo de tubos espejo. Guía técnica IDAE</i>	<i>61</i>
<i>Ilustración 34 Bomba de calor ECOFOREST www.ingeka.com</i>	<i>75</i>



8.2. Tablas

Tabla 1 Datos recuperados por cada buscador	31
Tabla 2 Características térmicas de diferentes terrenos.	44
Tabla 3 Temperaturas históricas máximas y mínimas en Cantabria. http://www.meteocantabria.es/	46
Tabla 4 Temperaturas horarias en Cantabria en los meses de Invierno.....	47
Tabla 5 Temperaturas horarias en Cantabria en los meses de Verano.	47
Tabla 6 Precipitaciones en Cantabria. http://www.meteocantabria.es/	48
Tabla 7 Superficie del edificio por plantas.	52
Tabla 8 Características térmicas de los radiadores	53
Tabla 9 Temperaturas extremas de cálculo.....	69
Tabla 10 Resumen cargas térmicas.	74
Tabla 11 Características técnicas de la BCG. Manual de usuario ECOFOREST ECOGEO HP3	76
Tabla 12 Propiedades del fluido de captación. Guía técnica IDAE.....	76
Tabla 13 Características de los distintos tipos de tubos. Guía técnica IDAE.....	78
Tabla 14 Temperaturas de la tierra a diferentes profundidades.....	78
Tabla 15 Propiedades del Polietileno PE80.....	79
Tabla 16 Factor de utilización tanto en Invierno como en Verano.	80
Tabla 17 Valores de resistencia térmica del terreno para diferentes configuraciones.....	81
Tabla 18 Valores de longitud del intercambiador para distintas configuraciones.	81
Tabla 19 Dimensiones del campo de captación y coste de la instalación para diferentes configuraciones	83
Tabla 20 Caudal de agua caliente para diferentes temperaturas exteriores	83
Tabla 21 Cálculo del nuevo factor de utilización	85
Tabla 22 Valores de resistencia térmica del terreno para diferentes configuraciones.....	86
Tabla 23 Dimensiones del campo de captación y coste de la instalación para diferentes configuraciones.	87
Tabla 24 Carga térmica, horas de funcionamiento y energía necesaria para cada aula para distintas temperaturas exteriores.	88
Tabla 25 Carga térmica, horas de funcionamiento y energía necesaria para cada aula para distintas temperaturas exteriores.	88
Tabla 26 Demanda térmica a cubrir en cada estancia y energía consumida por cada máquina.....	90
Tabla 27 Costes iniciales de la instalación	91
Tabla 28 Gasto anual en energía en la situación actual y con la instalación geotérmica.	92
Tabla 29 Emisiones de CO2 anuales en la situación actual y con la instalación geotérmica.	92
Tabla 30 Demanda térmica, horas de funcionamiento y energía necesaria del resto de locales de la escuela para diferentes temperaturas exteriores.....	93
Tabla 31 Demanda térmica a cubrir en cada estancia y energía consumida por cada máquina	95
Tabla 32 Costes iniciales de la instalación	95
Tabla 33 Gasto anual en energía en la situación actual y con la instalación geotérmica.	96
Tabla 34 Emisiones de CO2 anuales en la situación actual y con la instalación geotérmica.	97
Tabla 35 Resumen Energético, económico y ambiental.	98



8.3. Gráficas

Gráfica 1 Precio de la electricidad para consumidores industriales http://www.asociacion-anae.org/	8
Gráfica 2 Precio de la electricidad para consumidores domésticos http://www.asociacion-anae.org/	9
Gráfica 3 Producción de energía eléctrica según fuentes www.ree.es/	9
Gráfica 4 Evolución de la temperatura del terreno en función de la profundidad Guía técnica IDAE Diseño de sistemas de captación geotérmicos	26
Gráfica 5 Radiación solar en Cantabria. http://docplayer.es/378138-Atlas-de-radiacion-solar-en-espana-utilizando-datos-del-saf-de-clima-de-eumetsat.html	50
Gráfica 6 Temperaturas del circuito de captación en función de la velocidad del compresor. Manual de usuario ECOFOREST ECOGEO HP3	77
Gráfica 7 Energía consumida por la caldera en cada régimen	84
Gráfica 8 Comparación energética, económica y ambiental entre la situación actual y la Opción 1.....	98
Gráfica 9 Comparación energética, económica y ambiental entre la situación actual y la Opción 2.....	98