

## **ENERGÍA GEOTÉRMICA DE BAJA ENTALPÍA EN SUELOS LOÉSSICOS: CÁLCULO y DISEÑO PARA CASO DE ESTUDIO.**

**Magalí E. Carro Pérez<sup>1</sup>, Agustina Peiretti<sup>2</sup>, Franco M. Francisca<sup>3</sup>.**

Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales (FCEFyN) - Grupo de Investigación en Medios Porosos y Flujos Subterráneos (IMPAS) - Instituto de Estudios Avanzados en Ingeniería y Tecnología (IDIT) Universidad Nacional de Córdoba (UNC) - Vélez Sarsfield 1611 CP 5017, Córdoba, Argentina  
– Tel. + 54 0351 – 5353800 (int. 18) - e-mail: [mcarroperez@unc.edu.ar](mailto:mcarroperez@unc.edu.ar)

*Recibido 13/08/18, aceptado 26/09/18*

**RESUMEN:** El objetivo de este trabajo es poner de manifiesto la utilización de la energía geotérmica de baja entalpía como una opción económica y ecológicamente amigable para la colaboración en la climatización de ambientes. Se realizan los cálculos y diseño en base a las características térmicas de los parámetros intervinientes, tanto del suelo y clima local como de los materiales de la envolvente de la construcción. Se determina, mediante balances térmicos realizados sobre un software libre BT6 creado por Dilasoft, el análisis energético y económico que produce la aplicación del sistema de geotermia de baja entalpía. Los resultados obtenidos son satisfactorios, ya que la implementación de este tipo de sistema presenta una solución económica y energéticamente eficiente.

**Palabras clave:** cálculo, geotermia somera, loess, diseño, instalación.

### **INTRODUCCION**

El crecimiento de la población en las últimas décadas deriva, entre otras cosas, en un mayor consumo de energía. Esto trae como consecuencia el agotamiento de recursos naturales y un fuerte impacto sobre el medio ambiente. Para poder disminuir este efecto, es importante conocer y realizar un uso eficiente de la energía, la búsqueda de nuevas alternativas para su obtención y plantear el desarrollo de nuevas tecnologías y fuentes energéticas que sean de origen renovables. Resultan importantes dos aspectos, el primero relacionado en satisfacer las necesidades de generación de energía de fuentes renovables y el segundo es lograr disminuir el uso de energía de forma irracional, esto último puede conseguirse con la aplicación de políticas que logren una concientización en los usuarios y cambios en sus hábitos de consumo de la energía disponible. Si se analiza la situación de Argentina, la cual se destaca por su diversidad de recursos energéticos, sus principales fuentes de energía provienen de la utilización de combustibles fósiles. En la última década, Argentina aumentó la emisión de gases de efecto invernadero debido a la utilización de fuentes de energía eléctrica que provienen de recursos no renovables, así como también debido al uso irracional que se produce de la misma. La ley 26.190, Régimen de Fomento Nacional para el uso de Fuentes Renovables de Energía destinada a la Producción de Energía Eléctrica, prevé que para el año 2025 el país deberá contar con un 20% de fuentes de energías de origen renovables (Cárdenas, 2013).

<sup>1</sup> Profesora Titular de la Facultad de Ciencias Exactas Físicas y Naturales (FCEFyN), Universidad Nacional de Córdoba (UNC) e Investigadora Asistente CONICET - Instituto de Estudios Avanzados en Ingeniería y Tecnología (IDIT, UNC-CONICET)

<sup>2</sup> Profesional Independiente – Graduada de la FCEFyN UNC – Ex Becaria IMPAS

<sup>3</sup> Profesor Titular de la Facultad de Ciencias Exactas Físicas y Naturales (FCEFyN), Universidad Nacional de Córdoba (UNC) e Investigador Independiente CONICET - Instituto de Estudios Avanzados en Ingeniería y Tecnología (IDIT, UNC-CONICET).

Si consideramos la matriz energética de nuestro país basada en datos del año 2015 (Figura 1). Se observa que más del 80% de las fuentes de energía son no renovables, dependientes de hidrocarburos en su mayoría, del 20% restante existe solo un 11% que abarca todas las energías de fuentes renovables. Dentro de las energías renovables se pueden nombrar: eólica, hidroeléctrica y solar, son las más reconocidas y sobre las cuales se han realizados estudios y proyectos de gran envergadura. También existe una gran variedad de energías menos conocidas que están ganando importancia en el medio, se puede nombrar entre ellas: biomasa, energía mareomotriz, entre otras, y por último, la de nuestro estudio, la energía geotérmica.

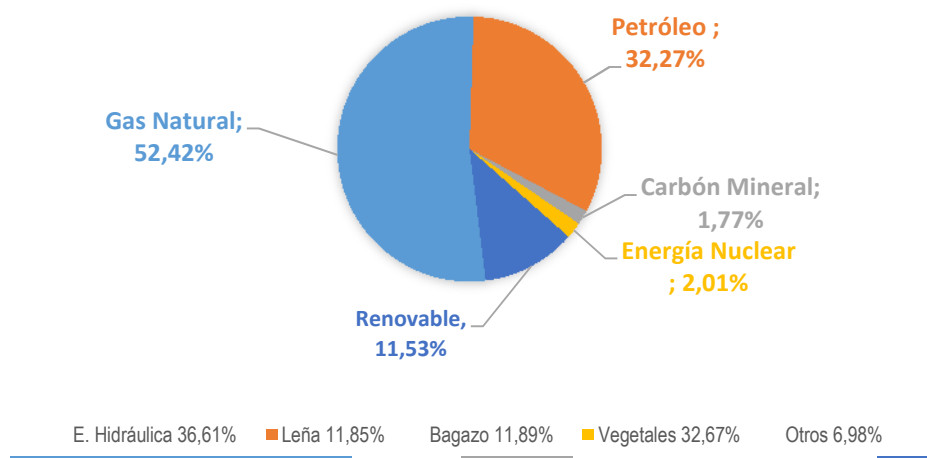


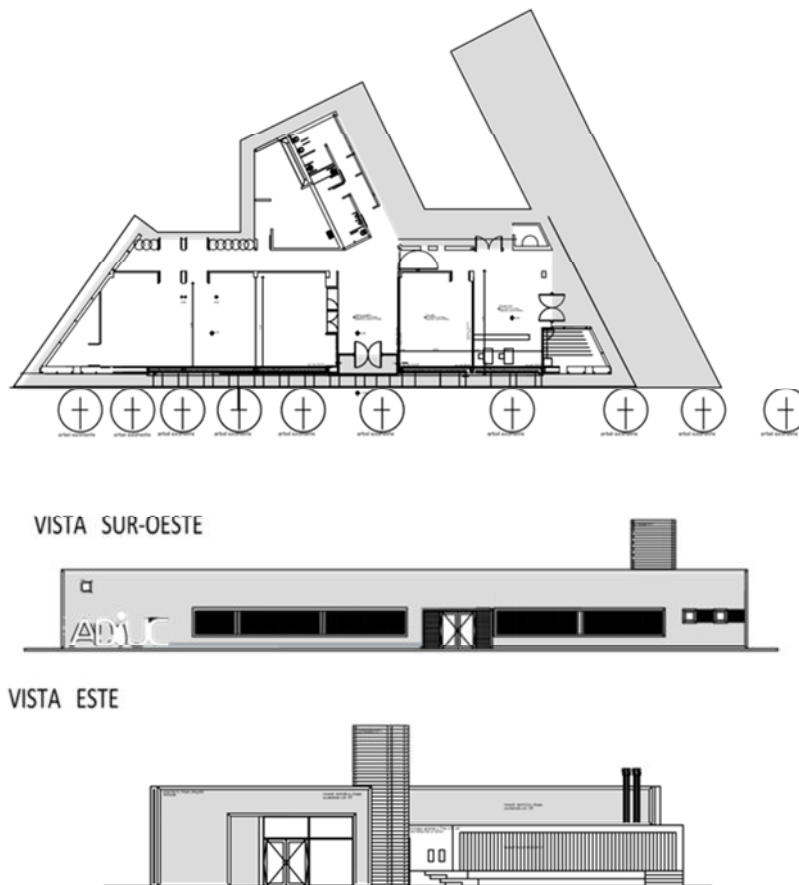
Figura 1: Matriz energética Argentina (datos del año 2015)

La energía geotérmica tiene su fuente en el calor almacenado en el subsuelo de la tierra por lo que se considera como una energía renovable. La diferencia de temperaturas entre el interior de la tierra y la superficie, forman un gradiente térmico, el cual genera una flujo de energía en forma de calor desde el interior hasta la superficie. Este tipo de energía se puede clasificar en función de las temperaturas: temperatura alta  $T^a > 150^{\circ}\text{C}$ , son yacimientos de aguas confinadas a altas temperaturas en terrenos con actividad magmática reciente o residual que actúa de foco de calor, se localizan entre los 1500 y 3000 metros de profundidad; temperatura media  $150^{\circ}\text{C} > T^a > 90^{\circ}\text{C}$ , son yacimientos con unas temperaturas entre los 90 y  $150^{\circ}\text{C}$  que se sitúan en cuencas sedimentarias, se localizan entre los 1000 y 3000 metros, las fracturas del terreno pueden hacer que ascienda agua caliente hasta la superficie dando lugar a los clásicos manantiales termales; baja temperatura  $90^{\circ}\text{C} > T^a > 25^{\circ}\text{C}$  y muy baja temperatura (o baja entalpía)  $25^{\circ}\text{C} > T^a$ . Las dos clasificaciones anteriores son yacimientos que se sitúan a niveles cerca de la superficie, estos aprovechan la diferencia de temperatura entre el suelo y la superficie. Con lo mencionado anteriormente se puede concluir que la geotermia incluye desde aprovechamientos geotermiales con agua hasta otros de baja entalpía que utilizan la diferencia de temperatura entre la superficie y el subsuelo. La energía geotérmica de baja entalpía puede ser aprovechada en cualquier lugar sobre la superficie del planeta. Este tipo de energía se basa en que el subsuelo tiene la capacidad de almacenar calor y mantener su temperatura casi constante a lo largo del año. Para poder aprovechar la energía geotérmica de baja entalpía generalmente se utilizan intercambiadores de calor, los cuales pueden ser tierra-agua o tierra-aire. Ambos funcionan de igual manera, sólo que cambia el fluido (Carrasco y Márquez, 2015; Iannelli y Gil, 2012;).

## EDIFICIO EN ESTUDIO

El inmueble evaluado es el edificio de la Asociación de Docentes e Investigadores Universitarios de Córdoba (ADIUC), ubicado en Ciudad Universitaria en la esquina de Haya de la Torre y Nores Martínez en un predio de 4.500 metros cuadrados cedido por la Universidad Nacional de Córdoba (UNC). El predio se encuentra ubicado en la Zona Bioambiental III Templada Cálida, sub zona III a Templada Cálida Seca con amplitudes térmicas mayores que  $14^{\circ}\text{C}$  según la norma IRAM 11603. Las coordenadas de su posición geográfica son  $31^{\circ} 26' 24''$  Latitud Sur y  $64^{\circ} 11' 00''$  Latitud Oeste con una elevación de 438 m sobre el nivel del mar. El edificio, posee un salón de usos múltiples con una

superficie de 165 m<sup>2</sup>, una altura interior de 3.65 m y un volumen de 602 m<sup>3</sup>. El salón en estudio forma parte de esta construcción que cuenta además con otro taller, de menores dimensiones, una recepción, espacios de circulación, office, asador, depósito y áreas de transición. El edificio se caracteriza por ser utilizado por una amplia variedad de público en horarios diurnos para reuniones y asambleas. El edificio en estudio tiene una superficie cubierta de 165 m<sup>2</sup> y una altura exterior de 4.35 m y 3.65 m interior. La envolvente perimetral está definida por carpintería metálica, no portante, y en su interior las divisiones están realizadas con materiales livianos del tipo durlock. La envolvente se encuentra materializada por una chapa exterior acanalada con cámara de aire de 0.34 cm de espesor, seguido por una aislación de lana de vidrio continua (no dividida en los montantes) revestida en su interior con una placa de durlock, estableciendo en su conjunto un cerramiento vertical con 0.45 cm de espesor. Este edificio fue objeto de estudio de los autores con otros propósitos y sus resultados se publicaron en Costantini et al., 2016.



*Figura 2: Planta y fachadas de edificio en estudio.*

### **Balance térmico**

Para entender el comportamiento térmico de un recinto se deben determinar las ganancias y pérdidas de calor que son generadas bajo ciertas condiciones. El balance térmico es un método que permite determinar las cargas térmicas de un local. Con estas se puede conocer la demanda de sistemas artificiales, es decir, la cantidad de calor que hay que suministrar o quitar del ambiente, para poder compensar las pérdidas o ganancias. El término ganancias hace referencia a todos los elementos o actividades que aporten calor al ambiente por ejemplo: los motores, el calor emitido por los ocupantes, entre otros; además de ganancias por conducción a través de superficies acristaladas. En cambio, cuando se refiere a pérdidas, se hace referencia a las fugas de aire caliente, voluntarias o involuntarias, a través de muros y techos, pérdidas por flujo de aire indeseado por rendijas de aberturas y por renovaciones de aire. Por todo lo expuesto anteriormente se debe realizar un balance térmico en verano y otro en invierno. La determinación de cargas térmicas se puede definir a través de diferentes condiciones:

Condiciones exteriores: En este punto se deben reunir las temperaturas (verano-invierno), valores máximos y mínimos correspondientes a valores estadísticos de cada zona en particular. Esta tarea se encuentra resumida en la norma IRAM 11603 (IRAM; 1996) que establece las condiciones climáticas diferenciadas en zonas del todo el país. La ciudad de Córdoba, donde se encuentra situado el edificio en estudio, tiene un clima caracterizado por ser templado subtropical húmedo con invierno seco también conocido como pampeano, la misma tiene muchas diferencia entre sus estaciones, los veranos son húmedos, con días calurosos y noches templadas. Los vientos del este y del oeste son raros, de corta duración y poca intensidad. En primavera soplan con fuerza creciente principalmente del norte y el noreste. En el verano frecuentemente se producen tormentas eléctricas con viento y granizo. Según la norma IRAM 11603, en enero, mes más cálido del verano, la máxima media es de 30,7°C y la mínima media de 17,1°C con una humedad del 61%, en julio, mes más frío, la temperatura máxima media es de 19,5°C y 5,8°C de mínima con una humedad del 60%. Aún en invierno pueden ser frecuentes días algo cálidos.

Condiciones interiores: Las condiciones de temperatura y humedad en el interior de un local dependen de varios factores: la actividad, a mayor actividad, mayor desprendimiento de calor; temperatura radiante media de los cerramientos; velocidad del aire que debe tener un valor entre 1 m/s y 0,1 m/s para evitar molestias en los habitantes y permitir una renovación constante del aire.

Ganancias y pérdidas de calor sensible por cerramientos opacos (muros): El calor sensible es el que intercambia un cuerpo a la vez que su temperatura cambia. Las transferencias de calor en un muro ocurren por conducción. El régimen estable se suele utilizar en balances para invierno, mientras que en verano se suele considerar el régimen variable debido a la importante influencia de la radiación durante el día en los cerramientos.

Ganancias y pérdidas de calor sensible por cerramientos translúcidos (vidrios): En este caso ocurren transferencias de calor por medio de dos fenómenos: 1-Conducción, del mismo modo que ocurre en los muros- 2- Radiación. En el caso de la conducción, tendremos tanto ganancias como pérdidas, y su determinación se realiza de la misma forma que con los cerramientos opacos. La radiación sólo produce ganancias.

Cargas de calor latente: El calor latente es aquel que intercambia un sistema para el cambio de fase y no para un aumento de la temperatura. Realizar este análisis es importante en verano ya que el contenido de humedad tiende a ser mayor del recomendable. Por ello, es preciso secar el aire, o sea, disminuir el contenido de humedad, esto se obtiene enfriando el aire por debajo del punto de rocío (punto donde se produce la condensación del vapor de agua). Este calor se conoce como calor latente.

Ganancias de calor sensible y latente por cargas internas: Tanto el calor sensible como latente se obtienen de las personas (el metabolismo del cuerpo elimina calor, en función de la actividad que se esté realizando, así como también por medio de la transpiración) o de artefactos del local (dependen de su fuente de alimentación, el calor latente lo podemos determinar si conocemos la cantidad de energía consumida). La iluminación solo genera un aumento de temperatura.

Ganancias y pérdidas de calor sensible y latente debido al ingreso de aire exterior: El aire exterior que ingresa al local ya sea de manera voluntaria o involuntaria, debe considerarse como una carga para el equipo de climatización, porque el aire que ingresa tiene la misma temperatura y humedad del exterior, ya que debe llevarlo de las condiciones exteriores a las necesarias en el interior.

El aire ingresante se puede dividir en dos tipos:

- 1- Aire exterior de infiltración.
- 2- Aire exterior de renovación higiénica.

Una vez obtenidos los caudales de aire se deben estimar los ingresos de calor sensible y latente que se producen en función de coeficientes de calor volumétricos y diferencias de temperaturas.

El clima en el que se encuentra el edificio es clave para proyectar el diseño del mismo. La norma IRAM 11603 (IRAM; 1996): “Acondicionamiento térmico de edificios. Clasificación bioambiental de la República Argentina” establece una zonificación de nuestro país en zona bioambientales, esta clasificación se realiza teniendo en cuenta los índices de confort de la Temperatura Efectiva Corregida (TEC) y otros indicadores para las zonas cálidas, para el caso de las zonas frías se clasifican en función de los Grados-Días para las necesidades de calefacción.

Para cada una de ellas, se dan pautas generales para el diseño, la evaluación de las orientaciones favorables y el cumplimiento del asoleamiento mínimo de los edificios destinados a vivienda.

La ciudad de Córdoba se encuentra en la zona bioambiental III: Templada Cálida, Subzona IIIa con amplitudes térmicas mayores a los 14°C según norma IRAM 11603 (IRAM, 1996). Además, la norma

nos provee las temperaturas de diseño, las cuales para la ciudad de Córdoba corresponde para el mes de enero, TDMM<sub>Max</sub> (temperatura de diseño media máxima) de 30,7°C y la TDMM<sub>Min</sub> (temperatura de diseño media mínima) 17,1°C y para el mes de julio. TDMM<sub>Max</sub> es de 19,5°C y 5,8 °C como TDMM<sub>Min</sub>. Además, determina las condiciones de confort para meses de verano y de invierno.

Con los parámetros y materiales constructivos conocidos, se realiza el cálculo de los balances térmicos considerando todas las condiciones anteriormente mencionadas. El balance térmico se realizó mediante el programa computacional denominado BT6 de Dilasoft. El programa utiliza el método de cálculo según las funciones de transferencia de calor y es posible realizar los cálculos térmicos para calefacción y refrigeración de los recintos

Los resultados obtenidos son:

EN VERANO: 37592 frigorías/hora

EN INVIERNO: 27824 kcal/hora

Conocido los valores del balance térmico, se busca como objetivo utilizar el método de tubos enterrados para lograr una disminución en el consumo de energía, ya que se logra una disminución de la temperatura al aplicar el método.

## **CÁLCULO Y APLICACIÓN DEL MÉTODO PARA GEOTERMIA DE BAJA ENTALPÍA**

El método considerado para este estudio fue el de tubos provenzales o canadienses el cual consiste en enterrar un tubo a una profundidad suficiente (entre 2 metros y 5 metros) donde la temperatura del suelo no se ve afectada por el clima exterior y hacer pasar aire por los tubos. Este fluido de intercambio, al entrar en contacto con las paredes del tubo que se encuentran a la misma temperatura del subsuelo, siendo esta temperatura menor o mayor que la exterior, logran el enfriamiento o calentamiento del mismo y luego se hace circular el aire tratado hacia el interior del edificio. El subsuelo actúa como intercambiador de calor.

Existen varias configuraciones que pueden ser utilizadas al momento de implementar el sistema de intercambiador de calor aire-suelo, dentro de los que destacamos:

- *Anillo*: consiste en rodear el edificio con la tubería enterrada, es apta para construcciones pequeñas y con poca demanda.
- *Rejilla*: se realiza una red de tuberías enterradas, se realiza para construcciones grandes y cuando se dispone de espacio suficiente.
- *Verticales*: consiste en aplicar una tubería enterrada de forma vertical, se utiliza generalmente para grandes construcciones pero cuando no existe espacio suficiente para utilizar alguna de las opciones mencionadas anteriormente.

Todas las configuraciones mencionadas tienen los siguientes componentes:

- Punto de captación de aire: es el punto donde ingresa aire al sistema, debe ubicarse a una altura adecuada, para evitar que se tome aire contaminado.
- Intercambiador de calor: es el elemento en el que se produce la transferencia de calor debido a la diferencia de temperaturas entre el aire y el tubo.
- Elemento de circulación del aire: es el encargado de hacer circular el aire dentro del tubo. Este componente es opcional, pero en caso de ser utilizado, el mismo puede ser mecánico (como un extractor de baño) o pasivo (como ser una chimenea solar).
- Punto de drenaje: los tubos deben tener una pendiente mínima entre 2% y 5% , para poder recolectar el agua que se genera por condensación dentro del tubo, debido a las variaciones de humedad del suelo. Este elemento se encuentra al final del tubo y puede consistir en un recinto con un lecho de gravas donde el agua filtre al suelo o en el caso de estructuras de mayor escala, se realiza un acceso al mismo y se extrae el agua con la ayuda de bombas mecánicas.
- Filtros: se colocan inmediatamente luego del punto de captación de aire y su función es garantizar que el aire que ingresa sea puro.

Si se habla del rendimiento de este tipo de sistemas, es importante destacar que son mucho más eficientes en condiciones de verano que para el caso de invierno, esto se debe a que en condiciones invernales el aire no aporta todo el calor necesario para la climatización, pero sí ofrece un precalentado

del aire, lo cual se traduce en un ahorro energético ya que el salto térmico que debe aportar el sistema externo es menor (Cabezas, 2013).

### Dimensionado

En la literatura se encuentran varios modelos de cálculos para intercambiadores de calor tierra-aire. Tzafiris y otros (1992) estudiaron varios modelos. Los autores clasificaron los algoritmos en dos grupos: el primero calcula la transferencia de calor desde el aire de circulación a la tubería y luego calcula la transferencia de calor de la tubería al suelo. Los datos de entrada necesarios son: las características geométricas del sistema, las características térmicas de la tubería y del suelo, la temperatura del suelo durante el funcionamiento del sistema (Paepe y Janssens, 2002).

La resolución de la mayoría de los métodos citados es compleja y su resolución se hace por medio de herramientas matemáticas. En la mayoría de los casos, los intercambiadores de calor tierra-aire son sólo un componente en un sistema de edificios enteros. Los diseñadores no tienen mucha libertad de elección para determinar el tamaño y la disposición del intercambiador de calor. Están limitadas por las restricciones de espacio y las condiciones económicas de los límites. Necesitan una manera simplificada de predecir el rendimiento general del intercambiador de calor. Su principal objetivo es poder seleccionar un tamaño razonable del diámetro, longitud de la tubería y número de tubos. En este trabajo se optó por el Método de la efectividad NTU, se basa en la determinación de dos números adimensionales  $\epsilon$  (eficiencia) y NTU (número de unidades de transferencia), los cuales se relacionan por medio de las ecuaciones 1 y 2; en este caso aplicado a un intercambiador de calor aire-suelo desarrollado por Paepe y Janssens. Este método permite obtener las temperaturas del aire a la salida del sistema, conociendo la temperatura de entrada del aire y su velocidad, además de establecer antes del cálculo, las dimensiones y longitud de los caños. La temperatura de salida se determina a través del cálculo de la ecuación (3):

$$\epsilon = 1 - e^{-NTU} \quad (1)$$

$$NTU = \frac{UA}{m_{air}c_{p,air}} \quad (2)$$

$$T_{air,out} = T_{wall} + (T_{air,in} - T_{wall})e^{-\left(\frac{hA}{m_{air}c_{p,air}}\right)} \quad (3)$$

Dónde:  $m_{air}$ : el caudal másico de aire

$c_{p,air}$ : Capacidad térmica del aire

$UA$ : Conductividad térmica total

$h$ : el coeficiente de convección del aire dentro del tubo

$A$ : Sección transversal del tubo

$T$  = temperatura de salida del aire, de la pared y de entrada del aire.

Para poder aplicar el método de diseño del sistema de intercambiador de calor tierra-aire, es preciso conocer determinadas propiedades tanto del suelo como del material de los tubos los cuales se expresan en la Tabla 1.

PARÁMETROS	Unidades	AIRE	SUELO LOCAL	TUBO
Conductividad térmica ( $\lambda$ )	W/Km	0,025	0,80	0,16
Densidad ( $\rho$ )	Kg/m <sup>3</sup>	1,1458		
Capacidad térmica	J/KgK	1007		
Viscosidad dinámica ( $\mu$ )	Kg/m.s	0,00001875		
Viscosidad cinemática ( $\nu$ )	m <sup>2</sup> /s	1,6364E-05		
Difusividad térmica ( $\alpha$ )	m <sup>2</sup> /s	0,00002167		

Tabla 1: Parámetros intervinientes, para el caso de estudio.

Se aplicó el método de cálculo de NTU, asumiendo una configuración de tubos enterrados que se extienden en el terreno disponible del edificio, la cual será construida con tubos de PVC de diámetro

exterior de 0,22 m, longitudes variables, un extractor de aire con una velocidad de 5m/s. Se asume una temperatura del suelo de 17°C en verano y 18°C en invierno. Se han realizados varias investigaciones y se puede concluir que a partir de los 2 metros de profundidad la temperatura permanece constante, próximo a los valores mencionados, dependiendo del lugar del planeta que se considere. La temperatura de ingreso de aire es variable y depende de la estación que se esté considerando. Los resultados obtenidos se presentan en la Tabla 2.

Siendo:

$\Phi_e$ : Diámetro exterior del tubo.

L: Longitud del tubo.

A: Área transversal del tubo.

V: Velocidad del aire.

Q: caudal del aire.

UA: valor donde intervienen las resistencias térmicas de los materiales, que a su vez dependen de las conductividades térmicas de los mismos.

$\phi_e$ (m)	L (m)	Área (m <sup>2</sup> )	V (m/s)	$\dot{m}_{air}$ (kg/seg)	UA (W/K)	$\epsilon$ (adim)	T <sub>air,in</sub> (°C)	T <sub>suelo</sub> (°C)	T <sub>air,out</sub> (°C)
0,22	5	0,04	5	0,22	7,17	0,03	30,7	17	30,3
0,22	10	0,04	5	0,22	14,35	0,06	30,7	17	29,8
0,22	20	0,04	5	0,22	28,70	0,12	30,7	17	29,0
0,22	30	0,04	5	0,22	43,05	0,18	30,7	17	28,3
0,22	40	0,04	5	0,22	57,40	0,23	30,7	17	27,6
0,22	50	0,04	5	0,22	71,75	0,28	30,7	17	26,9
0,22	60	0,04	5	0,22	86,10	0,32	30,7	17	26,3
0,22	70	0,04	5	0,22	100,45	0,37	30,7	17	25,7
0,22	80	0,04	5	0,22	114,80	0,41	30,7	17	25,1
0,22	90	0,04	5	0,22	129,15	0,44	30,7	17	24,6
0,22	100	0,04	5	0,22	143,50	0,48	30,7	17	24,1
0,22	110	0,04	5	0,22	157,85	0,51	30,7	17	23,7
0,22	120	0,04	5	0,22	172,20	0,54	30,7	17	23,3
0,22	130	0,04	5	0,22	186,55	0,57	30,7	17	22,9
0,22	140	0,04	5	0,22	200,90	0,60	30,7	17	22,5
0,22	150	0,04	5	0,22	215,25	0,62	30,7	17	22,1

Tabla 2: Resultados obtenidos de la aplicación del método, en condiciones verano.

Si se considera la variación de la longitud del tubo y se mantiene constante la temperatura del aire a la entrada del tubo, asumiendo una temperatura igual a la media máxima de verano y de invierno, para las condiciones del suelo loésico (conductividad del suelo local de 0.80 W/mK por Narsilio et al.,2015), se podrá observar como varía la longitud de la instalación en función de la temperatura del aire a la salida del tubo (Figura 2 y Figura 3).

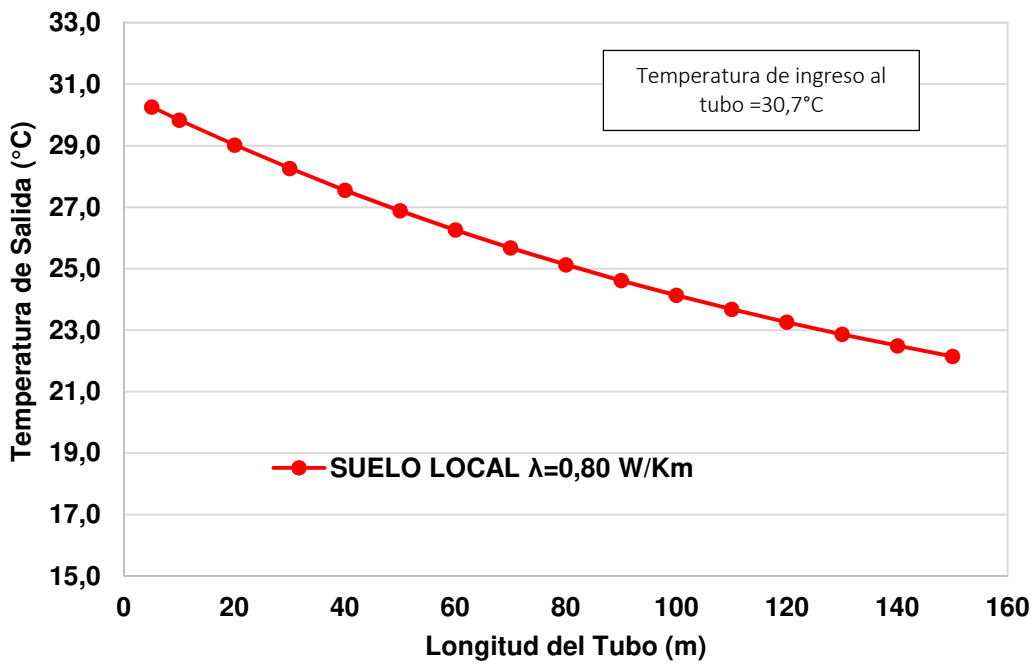


Figura 3: Temperatura vs. Longitud del Tubo en condiciones de verano (temperatura de ingreso constante)

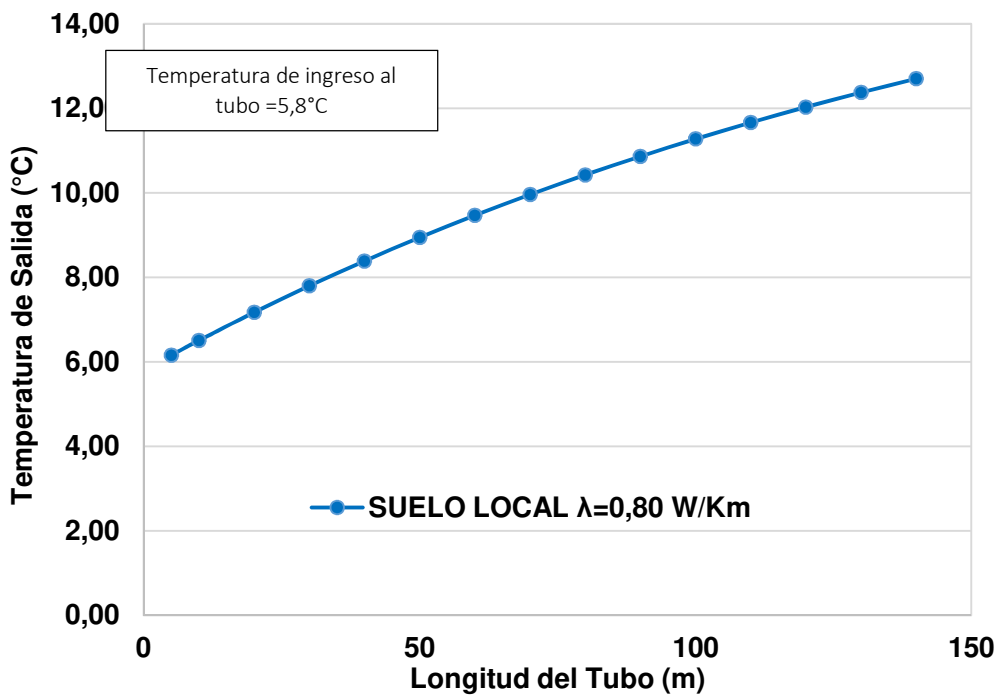


Figura 4: Temperatura vs. Longitud del Tubo en condiciones de invierno (temperatura de ingreso constante)

En las figuras 3 y 4, se puede observar, que para lograr una mayor disminución de temperatura en verano o mayor aumento en invierno, se necesita una longitud mayor considerando siempre la misma velocidad, esto se debe a que al estar el aire más tiempo en contacto con el tubo, que se encuentra a la misma temperatura del suelo, se genera un intercambio de calor mejor. A mayor longitud del conducto existe mayor transferencia de calor y el rendimiento del sistema aumenta. Dicha longitud no se puede prolongar indefinidamente, para mejorar el rendimiento, debido a que la temperatura de salida presenta un comportamiento asintótico con respecto a la longitud del conducto. Ello permite definir una longitud máxima a partir de la cual cualquier aumento influye despreciablemente en la temperatura de salida del aire, por lo que se hace poco conveniente económicamente.



Para este caso de estudio, se adoptó una longitud de tubos de 90 metros, este valor se determinó considerando tanto las condiciones de invierno como de verano, para poder aprovechar al máximo el sistema aplicado, teniendo en cuenta el limitante, en este caso, el terreno disponible para la colocación de los tubos. Por otro lado, si se tomará en consideración la velocidad del aire dentro del tubo y se desea observar cómo varía la longitud del tubo en función de la misma, el gráfico final es el que se presentan en la Figura 5. Si se analiza esta figura, mientras menor sea la velocidad, menor será la longitud necesaria del tubo para poder obtener una temperatura de, por ejemplo, 25°C a la salida del mismo, esto se debe a que el aire se encuentra más tiempo en contacto con las paredes del tubo y permiten un mayor intercambio de calor.

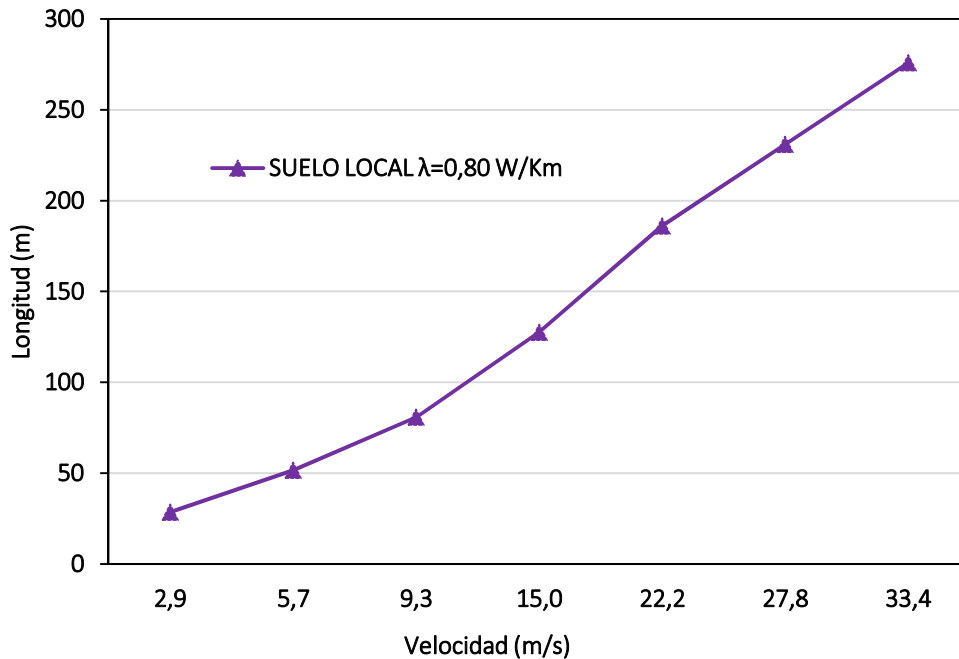


Figura 5: Longitud del tubo vs. Velocidad dentro del tubo, en condiciones de verano.

## DISEÑO Y ANÁLISIS

Una vez calculada la instalación de geotermia de baja entalpía en suelos loésicos, se realizaron los planos de proyecto y detalles de la implementación del sistema en el edificio en estudio. En la Figura 6 se observa la planta del edificio y la ubicación de los 3 tubos y en la Figura 7 los detalles de colocación de los conductos, casillas de ingreso de aire exterior e instalación de ingreso del aire pre acondicionado al salón estudiado.

Considerando la aplicación del método, adoptando 3 tubos de 30 metros cada uno, con una velocidad de 5m/s, se vuelve a calcular el balance energético considerando la disminución de temperatura asociada y luego se compara con los valores iniciales, indicado en la Tabla 3.

Sin sistema de geotermia de baja entalpía		Con sistema de geotermia de baja entalpía	
Verano	Invierno	Verano	Invierno
37592 frig/hora	27824 Kcal/hora	27463 frig /hora	18298Kcal /hora

Tabla 3: Comparación de resultados de balance térmico.

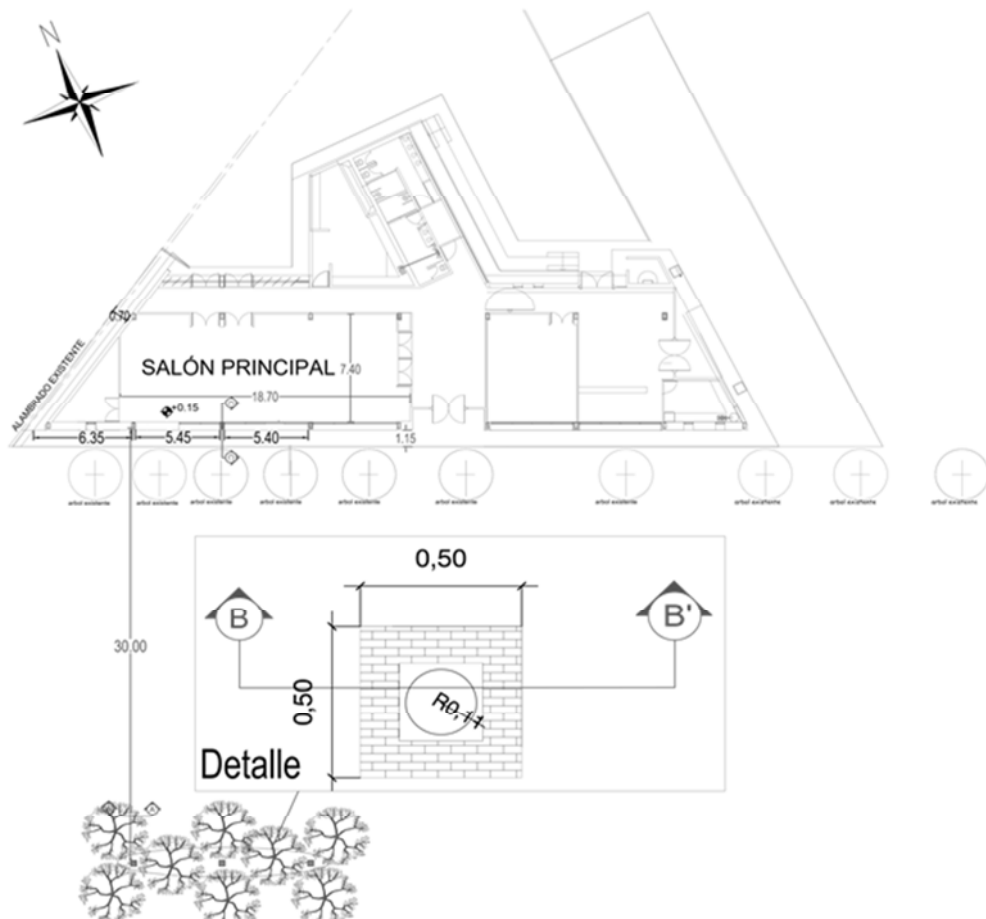


Figura 6: Ubicación en planta de los conductos.

Se puede observar que sin la aplicación del método se requerían  $38\text{kcal/hm}^3$  en invierno y  $60$  frigorías/ $\text{hm}^3$  en verano. Por otro lado, con la incorporación de tubos se requerirían  $31\text{ Kcal/hm}^3$  para calefacción en invierno y  $46$  frigorías/ $\text{hm}^3$  para refrigeración en verano. Los resultados obtenidos permiten demostrar que se lograría un ahorro energético significativo, sobretodo en la época estival donde la reducción es de un  $25\%$  aproximadamente y un  $20\%$  en época invernal. Y esto, traducido a costos económicos se puede decir que se produce una disminución del costo en un  $50\%$ , lo cual es muy apreciable.

## CONCLUSIONES

Es importante buscar nuevas tecnologías que pueden ser aplicadas con el fin de satisfacer necesidades de la sociedad y a su vez, hacer uso de un recurso natural y renovable como lo es la energía geotérmica. El uso de energía geotérmica de baja entalpía por medio de un sistema de tubos enterrados puede utilizarse en cualquier lugar del mundo, solo hay que conocer algunas características del lugar de emplazamiento y las características del suelo.

A diferencia de las otras fuentes de energía, la geotermia ofrece un flujo constante y uniforme independientemente de variaciones estacionales ya sean lluvias, sol, viento, etc.

Los intercambiadores de calor tierra-aire, se basan en la utilización de la energía térmica del subsuelo para pre-tratar el aire de ventilación de los edificios contribuyendo a reducir la temperatura del aquel que ingresa en los edificios durante el verano y aumentándola durante el invierno.

Cabe destacar que los pozos provenzales/canadienses resultan muy eficientes en la refrigeración en verano, haciendo que puedan sustituir o complementar perfectamente a los convencionales sistemas de aire acondicionado. La comparación del gasto de energía que tienen los pozos provenzales (un extractor de poco consumo cuando el sistema de extracción es mecánico) con los grandes costos que tienen los aires acondicionados, decantan claramente la balanza a favor de los primeros.

En invierno, en cambio, los pozos pueden resultar insuficientes por si solos para aportar el calor necesario para la climatización de un edificio dependiendo de la latitud. Sin embargo, pueden ofrecer un importante precalentado del aire lo que supondrá un sustancial ahorro, ya que el salto térmico que tendrá que aportar el sistema de climatización artificial se verá reducido.

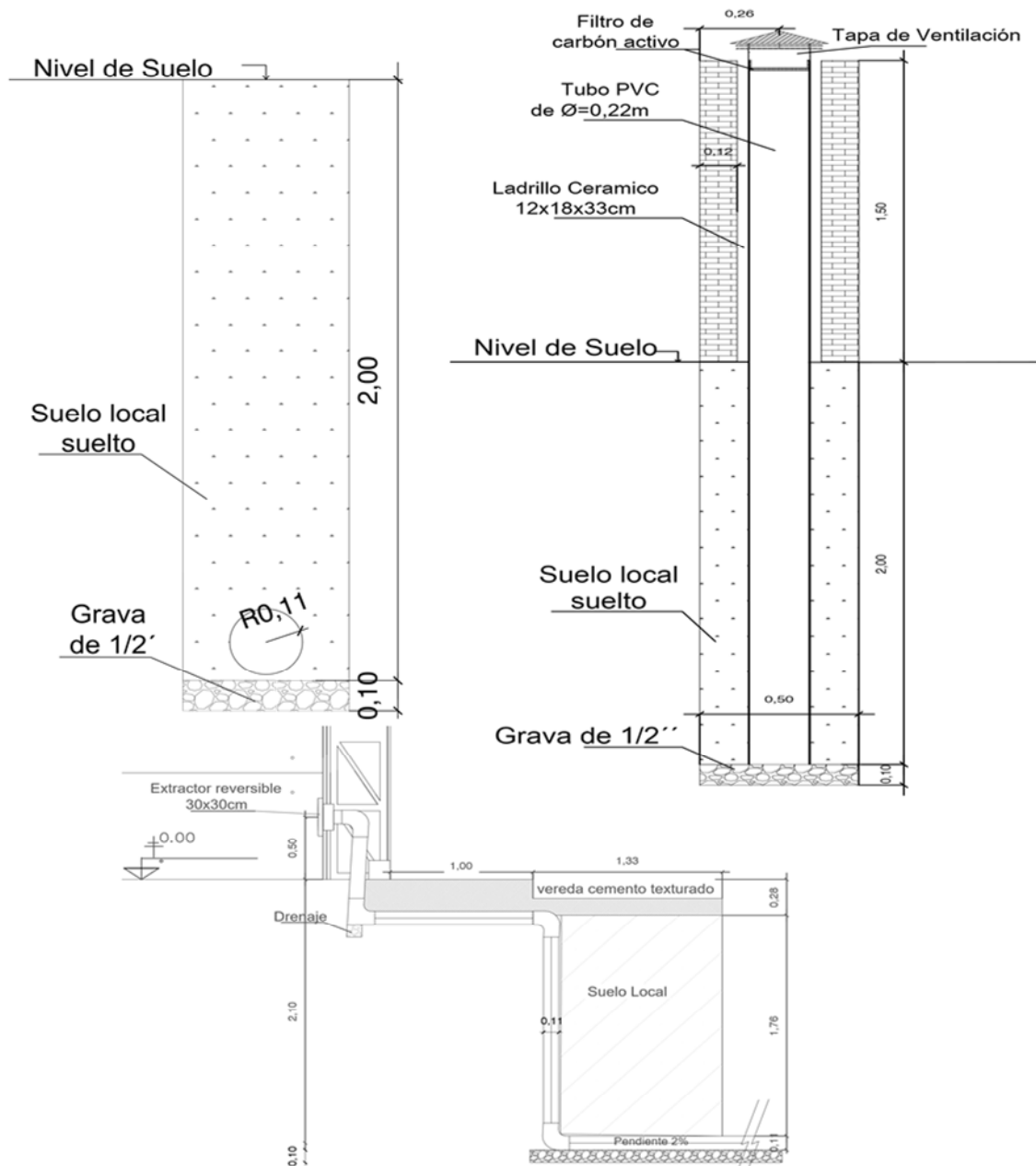


Figura 7: Detalles de la instalación de geotermia de baja entalpía..

Las ventajas de estos sistemas son numerosas: requieren una inversión mucho menor que una climatización reversible convencional, en especial si el diseño del edificio ya contempla dicha posibilidad, son de mantenimiento muy sobrio y completamente sostenibles y ecológicos.

De acuerdo a los análisis y cálculos realizados es viable la aplicación del sistema para esta edificación en estudio y para su tipo de construcción (en seco), dada la posibilidad de adaptación del sistema sin la necesidad de modificar la estructura. Se ha realizado, hasta esta instancia de investigación, los cálculos y proyecto del diseño, y se estima que la aplicación en suelos loésicos permitiría según los cálculos, una disminución en el consumo de energía de aproximadamente un 25%, lo que implicaría además un ahorro económico.

## REFERENCIAS

- Cabezas, A. M. (2013). Eficiencia energética a través de la utilización de pozos canadienses con el análisis de datos de un caso real. Casa Pomaret (Master's thesis, Universitat Politècnica de Catalunya).
- Cárdenas, G. J. (2011). Matriz energética argentina. Situación actual y posibilidades de diversificación. *Revista de la Bolsa de Comercio de Rosario*, 9, 32-36.
- Carrasco, F. J. C. y Márquez, D. M. (2015). La energía geotérmica de baja entalpía. In *3C Tecnología Vol. 4, No. 3*, pp. 96-108. Área de innovación y Desarrollo, SL.
- Costantini, A. B., Carro Pérez, M. E., & Francisca, F. M. (2016). Evaluación del comportamiento térmico de una edificación reemplazando el material de la envolvente por suelo-cemento. In *XXXIX Reunión de Trabajo de la Asociación Argentina de Energías Renovables y Medio Ambiente*. ASADES. La Plata.
- De Paepe, M. y Janssens, A. (2003). Thermo-hydraulic design of earth-air heat exchangers. *Energy and buildings*, 35(4), 389-397.
- Iannelli, L. y Gil, S. (2012). Acondicionamiento térmico de aire usando energía geotérmica-ondas de calor. *Lat. Am. J. Phys. Educ.* Vol, 6(1), 100.
- Ministerio de Energía y Minería.( 2015). Matriz Energética Actualizada de La Republica Argentina. <http://www.energia.gob.ar/contenidos/verpagina.php?idpagina=3366>
- Narsilio, G. A., Francisca, F., Ferrero, H., Bidarmaghz, A., Serrano, C., Carro Perez, M. E., .y Delacoste, E. (2015). Geothermal energy in loess: a detailed numerical case study for Cordoba. *From fundamentals to applications in geotechnics*, 704-711.
- Tzaferis, A., Liparakis, D., Santamouris, M., Argiriou, A., (1992). Analysis of the accuracy and sensitivity of eight models to predict the performance of earth-to-air heat exchangers. *Energy and Buildings*, 18: 35-43.

## ABSTRACT

The objective of this work is to highlight the use of low enthalpy geothermal energy as an economical and ecologically friendly option for collaboration in the air conditioning of environments. The calculations and design are made based on the thermal characteristics of the intervening parameters, both the soil and local climate and the materials of the construction envelope. It is determined, through thermal balances carried out on a BT6 free software created by Dilasoft, the energy, and economic analysis produced by the application of the low enthalpy geothermal system. The results obtained are satisfactory since the implementation of this type of system presents an economical and energetically efficient solution.

**Keywords:** calculation, shallow geothermal, loess, design, installation.