

Application of the Problem Based Learning Method: A Case Study from the Atucho Neighborhood

Julissa Galarza-Villamar, MSc¹, Mónica Torres-Naranjo, MSc², Cinthia Párraga-Lema, Ingeniera Agropecuaria¹ y Adriana Santos, PhD¹

¹Escuela Superior Politécnica del Litoral, ESPOL, Facultad de Ciencias de la vida, Campus Gustavo Galindo Km 30.5 Vía Perimetral, P.O. Box 09-01-5863, Guayaquil, jagalarza@espol.edu.ec, mparraga@espol.edu.ec, psantos@espol.edu.ec

² Escuela Superior Politécnica del Litoral, ESPOL, Facultad de Ciencias Sociales y Humanísticas, Campus Gustavo Galindo Km 30.5 Vía Perimetral, P.O. Box 09-01-5863, Guayaquil, mmtorres@espol.edu.ec

Abstract— *This paper discusses the application of Problem Based Learning showcasing the constructivist and participatory methodology documented in a case study to demonstrate the development and to strengthen general competencies of university student.*

Key Words: *Problem-Based Learning, Case Study, Constructivism.*

Digital Object Identifier (DOI):
<http://dx.doi.org/10.18687/LACCEI2016.1.1.132>
ISBN: 978-0-9822896-9-3
ISSN: 2414-6390

Análisis de un sistema de aerogeotermia de baja entalpia.

Emérita Delgado Plaza, Ph.D¹, Juan Peralta Jaramillo, Ph.D¹, Gustavo Aveiga Ulloa¹.

¹Centro de Desarrollo Tecnológico Sustentable CDTs, FIMCP, Escuela Superior Politécnica del Litoral, Ecuador.
eadelgad@espol.edu.ec, jperal@espol.edu.ec.

Resumen- El presente trabajo plantea el diseño térmico, modelaje a través de programas computacionales fluido dinámicos (CFDs) y el análisis del funcionamiento de un prototipo de aerogeotermia de muy baja entalpia con la finalidad de ser adaptado a sectores productivos tales como; el secado, agricultura, acuicultura, entre otros procesos. Para pequeñas y medianas industrias. Además de potenciar el aprovechamiento del calor del suelo como una fuente limpia de energía.

Palabras claves: aerogeotermia, intercambiador enterrado, suelo, transferencia de calor.

Abstract- In this paper raises the thermal design, modeling by computer fluid dynamics (CFDs) and analysis of the functioning of a prototype aerogeothermal to very low enthalpy in order to be adapted to productive sectors such as; the drying, agriculture, aquaculture, among other processes, for medium and small industries. In addition to enhancing the utilization of heat from the ground as a clean energy source.

Keywords-- aerogeothermal, exchanger buried, ground, heat transfer.

I. INTRODUCCIÓN

Desde la época de la revolución industrial la utilización del combustible fósil ha sido uno de los principales recursos para el desarrollo tecnológico de la humanidad, desde el punto de vista energético y de eficiencia. Desplazando de esta manera a las fuentes de energías renovables que en todo caso fueron las pioneras en el campo energético a partir de la edad media. No obstante, los usos mesurados de los combustibles convencionales han hecho que se establezcan leyes y reglamentos de control para regular la emisión de contaminantes emitidos al ambiente.

Por otra parte, el incremento de la demanda energética mundial ha ocasionado el aumento progresivo en los precios de combustibles fósiles por la demanda del mismo, además de problemas socioeconómicos y medioambientales. En este último contexto, la adaptación de la tecnología con fuentes de energía renovables en el sector industrial y urbano permitirá disminuir la dependencia energética del combustible, gas y carbón. A la vez se podrá minimizar la reducción de emisiones de los gases precursores del efecto invernadero.

Es por ello que, las Naciones Unidas ha propuesto que, en el año 2050 la demanda mundial primaria sea cubierta con energías renovables de al menos un 60% [1]. Bajo este

contexto la Unión Europea entre los años 2010 y 2012 ha incrementado mínimamente la instalación de energías renovables, estimándose de un 13 % hasta el año 2014 [2]. Por otra parte, los países que conforman América latina hasta el año 2009 se estima que cubrieron un promedio del 34 % [3] de su energía primaria con energías renovables, siendo la más utilizada la biomasa.

Entre las diferentes fuentes de energía renovables se encuentra la energía almacenada en forma de calor bajo la superficie del suelo denominada energía geotérmica, aprovechada a través de la transferencia de calor por medio del uso de intercambiadores de calor cuyo interior recircula un fluido caloportador, comúnmente agua. En el caso de utilizar aire se denominaría "aerogeotermia". Esta fuente de energía se puede catalogar de alta, media y baja entalpia, dependiendo de la temperatura requerida en el proceso o del uso final.

Se estima que el potencial energético del flujo geotérmico de la tierra sea de unos 30 millones de Tera vatios [4]. Hasta el año 2012 en el mundo se han generado más de 12000 MWe de electricidad a partir de instalaciones geotérmicas en 27 países [5] y más de 39000 MWe de aprovechamiento de calor en instalaciones situadas en 78 países [6].

Este trabajo presenta el estudio de un prototipo de aerogeotermia de muy baja entalpia que sirve como aporte auxiliar de calor para un sistema de secado experimental basado en fuentes renovables de energía. En la práctica la importancia de la aerogeotermia es que pueden ser aprovechada de manera directa o combinada para la agricultura, acuicultura, invernaderos, secado, y, en muchos casos pueden ser complementada con una bomba de calor para obtener una mayor eficiencia energética especialmente para climatizar edificaciones.

De la premisa antes planteada, el objetivo de la investigación será analizar y diseñar un prototipo de aerogeotermia de baja entalpia empleando un intercambiador de calor enterrado con el fin de conocer la influencia de los principales parámetros y variables condicionantes del sistema, además que pueda ser adaptable tecnológicamente a cualquier proceso productivo. Logrando de esta manera optimizar el consumo energético de la pequeña y medianas industrias.

II. DELIMITACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

El prototipo desarrollado para nivel educacional y experimental, se encuentra ubicado en las instalaciones del Centro de Desarrollo Tecnológico Sustentable (CDTS), perteneciente a la Escuela Superior Politécnica del Litoral (ESPOL). Encontrándose situada geográficamente a una latitud (λ) de 2008'45.99" S, longitud de 79°57'51" Oeste, y altitud de 110.036 metros. La localidad estudiada sostiene un clima con temperatura ambiente variado entre 20 y 33° C, siendo los meses más fríos Julio a Agosto, y los meses más calurosos Marzo - abril coincidiendo con la época de lluvias.

Como se ha indicado inicialmente, el principio básico de la energía aerogeotérmica será aprovechar la capacidad que tiene la tierra para acumular el calor procedente del sol, manteniendo una temperatura prácticamente constante a lo largo del año. Por lo tanto, cuando se refiere a geotermia o para nuestro caso aerogeotermia de poca profundidad, es decir, de muy baja entalpía (temperaturas inferiores a 30 °C) se entiende profundidades de suelo hasta 1,5 metros para configuraciones horizontales.

Derivado de las condiciones encontradas en el terreno donde se instaló el prototipo (rocas a partir de 1 m de profundidad), el intercambiador enterrado será diseñado con una configuración horizontal, siendo una forma sencilla. Aunque se hace necesario disponer de una mayor superficie de terreno (m^2).

Es así, que para desarrollar el diseño y puesta en marcha del sistema, fue necesario obtener información de las siguientes variables:

- Estudio geológico; tipo de roca, sedimentos y presencia de agua subterránea del lugar de estudio.
- Propiedad térmica del terreno (conductividad del terreno, capacidad calorífica volumétrica y difusividad térmica), por lo que se hace necesario realizar un test de respuesta térmica.
- Selección adecuada del intercambiador de aerogeotermia, pudiendo ser en sistema abierto o cerrado.
- Configuración del intercambiador de calor (sonda geotérmica) como son de tipo ondulados o de tipo serpentín.
- Demanda energética requerida.

Características del suelo.

A partir de los estudios geológicos del terreno del sitio de instalación, el suelo es de composición arcillosa, cuya zona posee areniscas, limonitas, lutitas silicificadas, Chert, areniscas de grano medio a fino estratificadas y resistentes. Con una conductividad térmica (K_s) entre 1,1 a 3,5 W/m K, capacidad térmica volumétrica en torno de los 2,1 a 2,4 MJ/m³ K.

III. METODOLOGÍA

Para empezar con el diseño del intercambiador enterrado (aerogeotermia) es necesario determinar la temperatura de salida del aire, así como el flujo máximo de aire que fluye a través del intercambiador enterrado y que deberá calentarse a unos grados centígrados más en relación a la temperatura ambiental. De este parámetro dependerá de la magnitud y las características de la superficie de intercambio entre el suelo y la tubería, como lo son: área superficial, diámetro, longitud y número de tubos.

Entre las ventajas de esta fuente renovable de energía es la escasa dependencia de las condiciones climáticas como lo son; la radiación solar y el viento. Para la correcta funcionabilidad del prototipo dependerá de las características intrínsecas del subsuelo como son la permeabilidad, gradiente del suelo, conductividad térmica, que en todo caso son constantes.

Para la construcción y puesta en marcha del prototipo experimental se ha desarrollado previamente tres etapas de trabajo: Análisis del perfil de temperatura del suelo, diseño térmico y selección de materiales, además del modelado del prototipo a través de la aplicación de programas de simulación computarizados CFDs .

Por otro lado, también se ha evaluado los parámetros necesarios a la hora de optimizar el prototipo experimental como los son; la manipulación y fácil construcción, así como el costo de inversión y operación del sistema.

A continuación, se detallan la metodología utilizada.

A. Análisis del perfil de temperatura del suelo

Conocido las propiedades térmicas del suelo, se hace necesario realizar las mediciones del perfil de temperatura del suelo, para determinar la longitud óptima donde podría instalarse el prototipo de aerogeotermia (intercambiador enterrado). Para ello se colocan medidores de temperaturas (termopares) cada 10 cm de espaciamiento entre cada capa de suelo por un periodo de 24 horas. De esa manera se determina la temperatura máxima del suelo a ciertas profundidades y la temperatura superficial del terreno.

B. Dimensionamiento del intercambiador enterrado.

Debe señalarse, que para dimensionamiento del intercambiador enterrado fue necesario determinar los siguientes parámetros iniciales, siendo estos;

- Conductividad térmica del terreno (W/m °C).
- Humedad natural del suelo.
- Permeabilidad del suelo (m/s).

- Presencia o ausencia de agua subterránea.
- Tipo de instalación: para nuestro caso será un intercambiador horizontal.
- Capacidad térmica volumétrica (J/m³ K).

El diseño del prototipo experimental (intercambiador enterrado) propuesto es de tipo serpentín tal como se puede observar en la figura 1. Elaborado con materiales de PVC, por su bajo costo, fácil acoplamiento y sobre todo tiene una amplia existencia en el mercado internacional.

Se hace necesario mencionar, que el prototipo no llevará adaptado una bomba de calor geotérmica (dispositivo eléctrico que cede y absorbe calor del terreno), directamente se aprovechará el intercambio de calor aire – suelo.

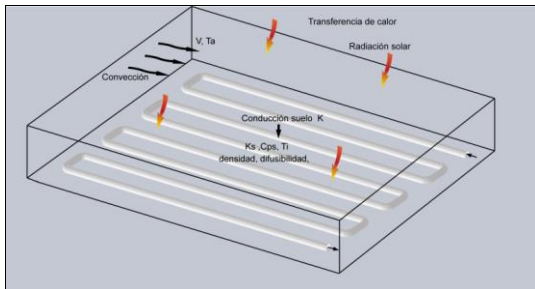


Fig. 1. Esquema de un intercambiador horizontal

Asimismo, para determinar la longitud del intercambiador y la velocidad de flujo se realiza un balance de energía (ley de conservación de la energía), donde la rapidez de transferencia total del flujo de calor por convección será igual a la rapidez a la que aumenta la energía térmica interna del fluido que se mueve en un flujo constante, más la rapidez neta a la que se realiza un trabajo al mover el fluido, expresada en la ecuación 1.

$$q_{conv} = \dot{m}c_p \Delta T \quad (1)$$

Donde; \dot{m} flujo de calor, ΔT la diferencia de temperatura entre la entrada y salida del fluido caloportador, y c_p el calor específico. Esta ecuación también puede estar expresada en término de; h , coeficiente de convección de transferencia de calor, A , área longitudinal del tubo y la temperatura media que varía en término de T_x (temperatura del fluido), encontrándose relacionada a la temperatura del terreno T_i , temperatura entrada T_{fe} y salida del fluido T_{fs} .

$$q_{conv} = h \cdot A \cdot \Delta T_{ml} \quad (2)$$

La ecuación de balance de energía quedaría expresada como;

$$h \cdot (\pi \cdot D \cdot L) \cdot \Delta T_{ml} = \dot{m}c_p (T_{fs} - T_{fe}) \quad (3)$$

Una aproximación de ΔT_{ml} se calcula como $T_i - (T_{fs} - T_{fe})/2$, para un $T_{i, \text{suelo}} > T_{\text{fluido}}$.

El cálculo de cada variable se realiza a través de una serie de iteraciones para dimensionar el intercambiador, hasta obtener una diferencia mínima de gradiente de temperatura entre 4 a 5 grados más, con respecto a la temperatura del aire de entrada. Para el dimensionamiento de la tubería se ha considerado las pérdidas de energía ($h_{\text{perd carga}}$), generadas por pérdidas de cargas por fricción $h_{\text{perd. fricción}}$ a lo largo de la tubería por la rugosidad del material, además, por las cargas menores $h_{\text{perd menores}}$ que se produce cuando el fluido cambia de dirección o de sección es decir, son las pérdidas producidas por codos, reducción de diámetro de tuberías, válvulas, entre otras.

Por otra parte, se determina la pérdida de carga por fricción, utilizando la ecuación de Darcy Weisbach, considerada como una de las fórmulas más exacta que incluye el coeficiente de fricción de la tubería. Se podría aplicar la ecuación de Veronesse-Datei empleada solo para tuberías de PVC, con Reynolds Re entre 4×10^4 a 10^6 , para nuestro caso el Re es inferior a estos valores.

C. Simulación del intercambiador enterrado

Previamente antes de la construcción del prototipo se procede al análisis del funcionamiento del prototipo por medio de la utilización de programas de simulación, con la finalidad de realizar el análisis fluido dinámico y termodinámico del comportamiento del intercambiador enterrado en forma tridimensional, para lo cual se emplea el modulo computacional “Flow Simulation de SolidWorks”; el cual, nos permite identificar por medio de la simulación posibles puntos débiles del diseño de forma, selección del material, temperaturas y velocidad del fluido. Dichos valores serán utilizados como puntos o datos de comparación con los resultados obtenidos experimentalmente para validar la fiabilidad del programa.

Para el modelamiento se realizaron los siguientes pasos:

- Elaboración de la geometría por piezas y ensambladas con vista 3D.
- Inicialización del flow simulation; se establecen las condiciones generales del modelo térmico y fluido dinámico, se ingresan las condiciones iniciales y de fronteras como las temperaturas ambientales, temperatura del suelo, tipos de materiales y radiación solar.

- La simulación del modelo se lo realiza en estado transiente.

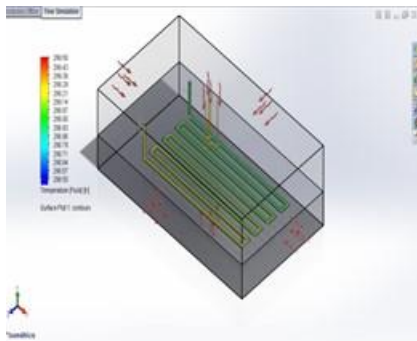


Fig 2. Región de frontera y condiciones iniciales del intercambiador enterrado (Sistema de aerogeotermia)

El proceso de simulación se realiza en dos etapas: la primera corresponde al sistema de aerogeotermia donde se analiza las temperaturas del perfil del suelo, y por ultimo la temperatura de salida de aire caliente y velocidad del fluido caloportador.

Para el modelamiento del intercambiador de calor las propiedades termodinámicas utilizadas corresponden a un suelo de composición mineral con un bajo contenido de agua, conductividad térmica aproximada de 1 W/m K y C_p de 1000 J/kg K .

D. Prototipo experimental

Durante la instalación del prototipo experimental se buscó obtener una homogeneidad del subsuelo, para lo cual se colocó una fina capa de arena a una profundidad aproximada entre 70 y 80 cm, en un área de 36 m^2 . Cabe indicar que la instalación actuará como un sistema auxiliar de pre-calentamiento del aire ambiental, para ser utilizado en un proceso de deshidratación de hojas medicinales.

IV. RESULTADOS

A. Dimensionamiento del prototipo experimental.

Una vez realizado el cálculo teórico del sistema, se ha llegado a dimensionar el intercambiador enterrado a través del geointercambio con el suelo – aire, obteniendo como resultados lo siguiente:

TABLA I
Dimensiones del intercambiador enterrado

Material de la sonda	Tubería de PVC
Longitud	43.5 m
Longitud por paso	10.43 m
Numero de pasos	4
Diámetro externo de tubería Dext	110 mm
Diámetro interior de tubería Di	104, mm
Espesor de la tubería	2.7 mm
Profundidad del pozo	70 cm
Área ocupada	38.5 m ²
Distancia entre tubería de entrada y salida	3,1 metros
Velocidad fluido Vf	2.5 m/s

B. Simulación del intercambiador enterrado (prototipo de aerogeotermia)

El proceso de la simulación implica conocer principalmente las condiciones iniciales en que se encontrara el diseño, es así que se parte de una base de datos de las condiciones climáticas (irradiación, temperatura ambiente) de un día cualquiera de la localidad donde será puesto el prototipo enterrado a una profundidad de 70 cm.

La figura 3. muestra el comportamiento de la temperatura del fluido de aire caliente que pasa por el intercambiador, con una velocidad promedio entre 1,7 a 2 m/s con respecto al tiempo de calentamiento del fluido y el suelo, para un periodo transiente.

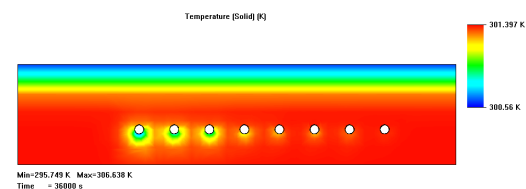


Fig. 3. Simulación del perfil térmico del suelo

En la tabla II, se presentan los resultados del perfil del suelo obtenidos de la simulación para un tiempo trasciende de 12 horas, irradiaciones entre 200 a 600 W/m^2 y temperatura ambiente de 26°C .

TABLA II.
Perfil de temperatura del suelo en los primeros 70 cm (SolidWorks Flow Simulation)

Perfil del suelo	Temperatura (°C)
P 1. Superficie del tubo	30.90
P 2. Distancia 10 cm del tubo	30.94
P 3: Distancia 20 cm del tubo	31.29
P 4 : Distancia 30 cm del tubo	31.83
P 5 : Distancia 40 cm del tubo	34.29
P 6: Superficie del terreno. (Distancia a 70 cm del tubo).	42.41

Analizando los resultados entre la temperatura teórica siendo de 27.9 °C (figura 4), y la temperatura resultante de la simulación (figura 5), se obtuvo una diferencia de temperatura de 3.04 °C, más en la superficie del tubo. Cabe indicar que las ecuaciones utilizadas para el cálculo teórico no consideran la irradiación solar del día, solo la temperatura de la superficie.

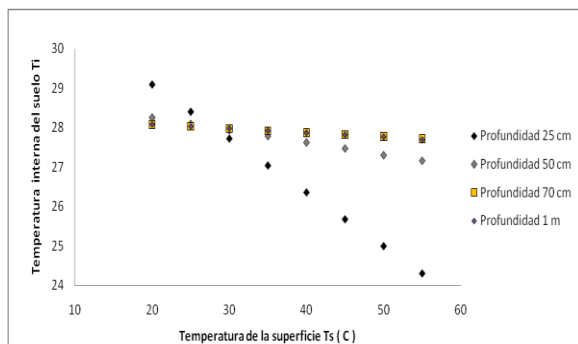


Fig. 4. Estabilidad de la temperatura del suelo T_i (teórica) en condiciones estables.

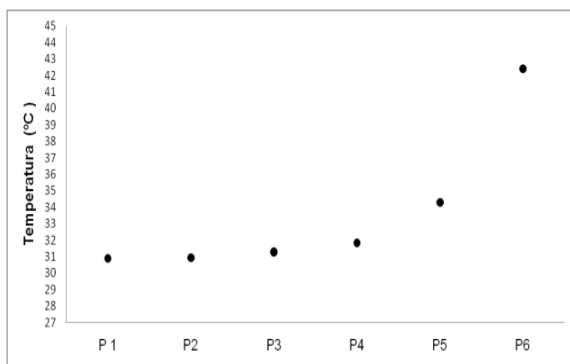


Fig. 5. Perfil del suelo simulado durante un periodo de 12 horas.

Finalmente el modelo establece que la temperatura del fluido de salida del intercambiador es de 29.43 °C con velocidades entre 1.88 a 2.39 m/s. Mientras que la temperatura del fluido teórico obtenida fue de 28 °C, para una velocidad de

1.7 m/s, abriendo una diferencia de temperatura de 1.43 °C más.

C. Mediciones de campo.

Instalado el sistema experimental se procedió a realizar las pruebas de campo para determinar las condiciones de operación del prototipo y la ganancia de temperatura que puede aportar el mismo durante las 24 horas de funcionamiento.

En la figura 6 y figura 7 se presentan el comportamiento de la temperatura del suelo durante las hora diurnas y nocturnas medidas a distintas profundidades hasta la pared del intercambiador de calor a lo largo de dos días. En las gráficas se observa que en los primeros centímetros superficiales (menores a 20 cm) existe una variación apreciable de la temperatura. Sin embargo, conforme descendemos en profundidad, las fluctuaciones de la temperatura del suelo se reducen paulatinamente.

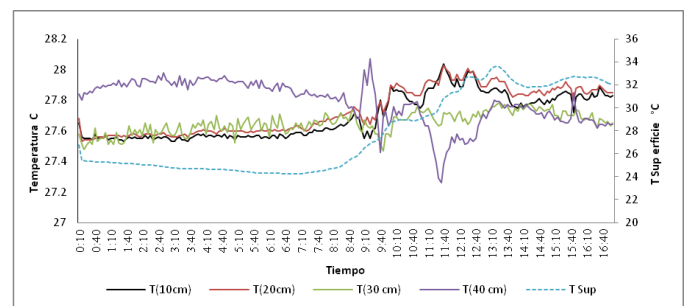


Fig. 6. Perfil de temperatura del subsuelo registrado en niveles del suelo, Prueba 1

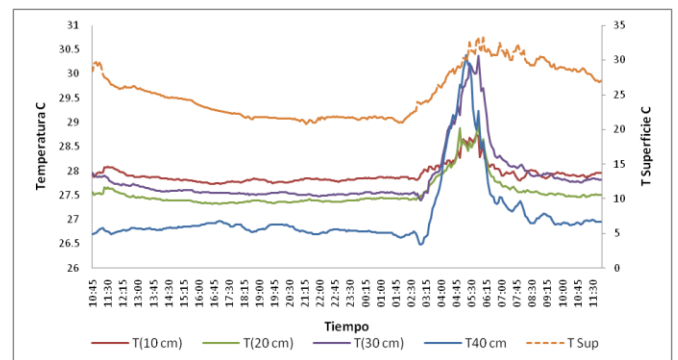


Fig. 7. Perfil de temperatura del subsuelo registrado en niveles del suelo, Prueba 2

En la figura 8, se puede observar la variación de temperatura del aire de salida del sistema en comparación a la ambiental. Vemos entonces, que el sistema proporciona una gran estabilidad en la temperatura de salida del fluido caloportador

a lo largo del día. Cabe agregar que la temperatura de entrada corresponde a la ambiental. La velocidad de entrada del aire al intercambio de calor enterrado fue de 1.7 a 2 m/s durante las pruebas.

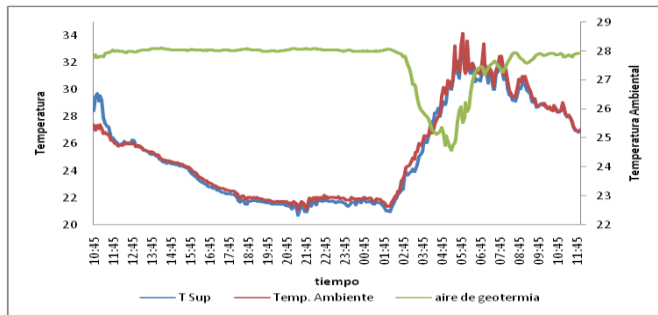


Fig. 8. Temperatura del aire de salida proveniente del intercambiador enterrado

D. Comparación Modelo simulado y los valores experimentales.

Para la validación del modelo CFD se procedió a calcular los parámetros estadísticos sesgo, RMSE% y MBE%. En la Tabla III, se observa como el modelo CFD tiende a sobreestimar la temperatura en todos los niveles del perfil del suelo con un valor medio 0.5 °C, a excepción de la temperatura de la superficie que la sobreestima en un valor de 1.5°C, siendo esta última influenciada por la radiación solar.

TABLA III
RMSE y MBE (%), de la temperatura de perfil del suelo

	T pared	T (10 cm)	T (20 cm)	T (30 cm)	T (40cm)	T superficie	T fluido
Experimental	27,84	27,77	27,84	27,73	27,88	27,81	27,82
Modelo	28,20	28,21	28,24	28,27	28,60	29,40	28,05
Sesgo	0,36	0,44	0,39	0,54	0,74	1,591	0,227
RMSE %	1,79	2,12	2,07	2,51	5,14	15,54	0,83
MBE %	1,50	1,81	1,75	2,16	2,74	9,27	0,82

En relación con la temperatura del fluido se obtiene un sesgo de 0.227 con valores de RMSE % y MBE% relativamente bajos. Asimismo, en la figura 9, se puede apreciarse como los valores de RMSE% y MBE% tiende a ser constante a partir de los 30cm de profundidad.

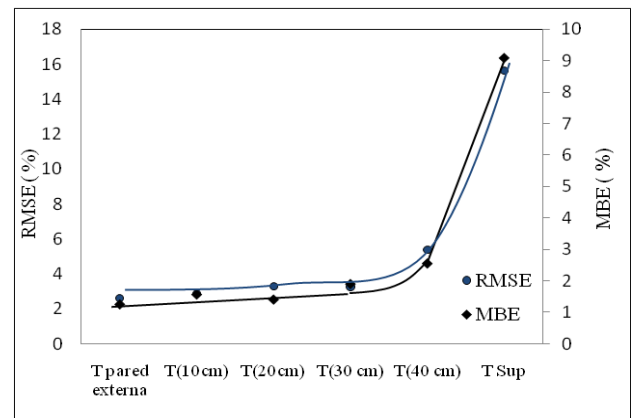


Fig. 8. Promedio RMSE y MBE del perfil de suelo

V. CONCLUSIÓN

Estimación de la profundidad y temperatura del intercambiador enterrado: El sondeo realizado antes de la instalación del intercambiador horizontal, ha permitido determinar el perfil de temperaturas del suelo y la distancia de estabilización de la temperatura. A partir de estos datos se ha calculado matemáticamente para un suelo de características arcillosas que a distancias superiores de 70 cm con respecto a la superficie del suelo la temperatura del aire se incrementa entre 4 a 5 °C más con respecto a la temperatura ambiental.

A partir del análisis experimental del perfil de temperatura del suelo se registraron temperaturas estables a 70 cm de profundidad, con un incremento de al menos 5 °C más en referencia a la temperatura ambiente en la noche, mientras que en el día el incremento de temperatura del fluido caloportador fue de 8 a 11 °C. La temperatura del suelo presenta una tendencia o comportamiento sinusoidal, así como que su amplitud decrece en función de la profundidad a excepción de la temperatura superficial.

De igual manera, se determina que las temperaturas por debajo de los 40 cm de profundidad se mantienen relativamente estables en la noche. Concluyendo de esta manera que el sistema de aerogeotermia proporciona una gran estabilidad a la temperatura de salida del fluido caloportador a lo largo del día.

Tras el estudio comparativo entre los resultados obtenidos por el modelo numérico y los datos experimentales se obtienen valores de RMSE% y MBE% bajos, lo que demuestra la capacidad que tiene el modelo CFD a replicar el comportamiento de la temperatura del suelo a profundidad mayores de los 30 cm. El margen de error estimado es aproximadamente de un grado para la temperatura de salida del fluido caloportador.

REFERENCES

- [1] Yolanda Benito, M. M. "Panoramas de las Energías Renovables. Marco Legislativo y Aspecto Medioambiental. " (CIEMAT, Ed.) Madrid, España, Junio 2007.
- [2] Comisión Europea, U. "Informe de la Comisión al Parlamento Europeo, al Consejo , al Comité Económico y Social Europeo ". Bruselas, Enero 2014.
- [3] IRENA, I. R. "Renewable Energy Country Profiles Latin America,". Junio 2012
- [4] José Carta, R. C. "*Centrales de Energías Renovables . Generación Eléctrica con Energías Renovables*" . Primera ed., Vol. 1. Madrid, España: PEARSON, 2009.
- [5] Martínez, José . "Como Generar Masivamente Electricidad Calor y Frío con la Energía de la Tierra" .pág. 29. Primera edicion, Unión Española de geotermia. 2013.
- [6] Renewable Energy, R. 2. "Renewables 2013", Global Status Report 2013.
- [7] Delgado Emérita. "Diseño, Modelo Matemático y Construcción de un Secadero Optimizado con Energías Limpias". Universidad de Santiago de Compostela, Capitulo 2 y 5. Enero 2015.
- [8] Emérita Delgado, Á. L. " " Modelamiento y Análisis de Secaderos con Aplicaciones a Fuentes de Energía Alternativa Utilizando Programa de Simulación. " *III CAIM* , 2012.
- [9] Samaneh, Sami; Nasrin, Etesami ; Amir, Rahimi " " Energy and Exergy Analysis of an Indirect Solar Cabinet Dryer Based on Mathematical Modeling Results". Science Direct. Energy (36), ELSEVIER, pag. 2847-2855. , 2011
- [10] Acosta, Jairo; Duque, Carlos. " "Simulacion 3D del Flujo en un Compresor Centrífugo por medio de herramientas CFD bajo carga parcial, "Revista Chilena de Ingeniería. Vol. 16 N. 1. 203-210. Chile.2008
- [11] INAMHI. "Anuario Meteorológicos, Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología". Quito, Ecuador. 2013
- [12] Gracia, V. (2012). "Bombas de Calor Geotérmicas. Correcta planificación , instalación y uso." *GeoEner* ,pág. 141, Fundación de la Energía en la Comunidad de Madrid. pág. 141 , 2012