

Escuela Superior Politécnica del Litoral

Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la Producción

Dimensionamiento de un sistema de baja entalpía para casas de interés social en
zonas desérticas

INGE-2770

Proyecto Integrador

Previo la obtención del Título de:

Ingeniero Mecánico

Presentado por:

Jairo Alexis Castro Almeida

José Alejandro Mero Benavides

Guayaquil - Ecuador

Año: 2024

Dedicatoria

A mis padres:

José Mero y Sonia Benavides

A mi hermana:

Medelyne Mero

A mis abuelos:

Julio Benavides y Dalia Párraga

José Mero Benavides

Agradecimientos

Agradeciendo a mis padres por su gran esfuerzo y apoyo para avanzar cada día con mis estudios. Así también agradeciendo a mi esposa, la cual estuvo cada día motivándome a realizar las actividades de manera correcta. Expreso un profundo agradecimiento a mis tutores que siempre estuvieron guiándome para seguir adelante con el proyecto integrador. Finalmente agradeciendo a Dios por permitirme cumplir esta meta.

Jairo Castro

Agradezco a mis padres por el apoyo que me han brindado durante mi trayectoria estudiantil y por los valores que me han inculcado para lograr mis metas. De la misma manera, a mi hermana que siempre me exige que me supere y busque mejorar en el ámbito profesional. A mis abuelos que son los pilares de la familia y los que mantienen la unidad en el entorno familiar. Agradezco a los tutores por la guía y enseñanzas que nos brindaron para lograr con éxito el cumplimiento de este proyecto.

José Mero Benavides

Declaración Expresa

Nosotros, Jairo Alexis Castro Almeida y José Alejandro Mero Benavides, acordamos y reconocemos que:

La titularidad de los derechos patrimoniales de autor (derechos de autor) del proyecto de graduación corresponderá al autor o autores, sin perjuicio de lo cual la ESPOL recibe en este acto una licencia gratuita de plazo indefinido para el uso no comercial y comercial de la obra con facultad de sublicenciar, incluyendo la autorización para su divulgación, así como para la creación y uso de obras derivadas. En el caso de usos comerciales se respetará el porcentaje de participación en beneficios que corresponda a favor del autor o autores.

La titularidad total y exclusiva sobre los derechos patrimoniales de patente de invención, modelo de utilidad, diseño industrial, secreto industrial, software o información no divulgada que corresponda o pueda corresponder respecto de cualquier investigación, desarrollo tecnológico o invención realizada por nosotros durante el desarrollo del proyecto de graduación, pertenecerán de forma total, exclusiva e indivisible a la ESPOL, sin perjuicio del porcentaje que me/nos corresponda de los beneficios económicos que la ESPOL reciba por la explotación de mi/nuestra innovación, de ser el caso.

En los casos donde la Oficina de Transferencia de Resultados de Investigación (OTRI) de la ESPOL comunique los autores que existe una innovación potencialmente patentable sobre los resultados del proyecto de graduación, no se realizará publicación o divulgación alguna, sin la autorización expresa y previa de la ESPOL.

Guayaquil, 11 de octubre del 2024.



Jairo Alexis Castro
Almeida



José Alejandro Mero
Benavides

Evaluadores

PhD. Emérita Alexandra Delgado Plaza

Profesor de Materia

PhD. Juan Manuel Peralta Jaramillo

Tutor de proyecto

Resumen

Durante los últimos años, en el Estado de Sonora, México se ha presentado una ola de calor que ha logrado temperaturas de hasta 48°C en el año 2024, por lo que toda edificación cuenta con grandes cantidades de equipos de climatización, lo que supone un problema para la sostenibilidad del sistema eléctrico de la zona. Se buscan alternativas para combatir el calor con un menor gasto eléctrico, siendo los beneficiados las viviendas de la colonia Valle Dorado de Sonora. En este trabajo se propone el diseño de un sistema de baja entalpía usando un intercambiador enterrado. Para ello se tomaron condiciones meteorológicas y propiedades del suelo de la zona para simular el comportamiento del suelo y visualizar la baja de temperatura que puede ofrecer un sistema de baja entalpía, comparando entre dos modelos de intercambiador de calor, el convencional y el tipo Slinky. Los resultados mostraron mayor gradiente de temperatura en el intercambiador Slinky, enterrándolo a 5 metros de profundidad. Por lo que, sabiendo que tiene mejor rendimiento y ocupa menor área se seleccionó este modelo como el adecuado para implementar en las viviendas de interés social.

Palabras Clave: Temperatura, intercambiador de calor, simulación, flujo de aire.

Abstract

During the last few years, in the State of Sonora, Mexico, there has been a heat wave that has reached temperatures of up to 48°C in the year 2024, so every building has large amounts of air conditioning equipment, which is a problem for the sustainability of the electrical system in the area. Alternatives are being sought to combat the heat with lower electricity costs, with the beneficiaries being the homes in the Valle Dorado neighborhood in Sonora. This work proposes the design of a low enthalpy system using a buried heat exchanger. For this purpose, meteorological conditions and soil properties of the area were taken to simulate the behavior of the soil and to visualize the temperature drop that an aerothermal system can offer, comparing between two heat exchanger models, the conventional and the Slinky type. The results showed a higher temperature gradient in the Slinky exchanger, buried 5 meters deep. Therefore, knowing that it has better performance and occupies less area, this model was selected as the appropriate one to implement in social housing.

Keywords: *Temperature, heat exchanger, simulation, air flow.*

Índice general

Resumen	I
<i>Abstract</i>	II
Índice general	III
Abreviaturas	VI
Simbología	VII
Índice de figuras	VIII
Índice de tablas	IX
Capítulo 1	1
1.1 Introducción.....	2
1.2 Descripción del Problema	4
1.3 Justificación del Problema	4
1.4 Objetivos	5
1.4.1 Objetivo general	5
1.4.2 Objetivos específicos	5
1.5 Marco teórico	6
1.5.1 Importancia de la energía renovable en México.....	6
1.5.2 Definición de energía	6
1.5.3 Energía Térmica y Transferencia de Calor	7
1.5.4 Energía Geotérmica	9
1.5.5 Sistema de baja entalpía	10
Capítulo 2	12
2. Metodología.....	13
2.1 Ubicación	13
2.2 Clima	14
2.3 Propiedades del suelo	15
2.3.1 Curva de temperatura	15

2.3.2 Características del suelo según la profundidad	17
2.4 Posibles Soluciones	18
2.5 Dimensionamiento del intercambiador de calor.....	18
2.6 Simulación.....	20
2.6.1 Inercia del suelo	20
2.6.2 Intercambiador de calor	20
2.6.3 Parámetros de simulación	21
2.7 Especificaciones técnicas.....	22
Capítulo 3	23
3. Resultados y análisis	24
3.1 Cálculo de capacidad de ventilador centrífugo.....	24
3.2 Selección de diámetro de tubería	24
3.3 Cálculo de longitud de tubería.....	25
3.3 Análisis de datos para condiciones estratigráficas de simulación	28
3.4 Análisis de datos para condiciones ambientales	30
3.4 Simulación de la columna estratigráfica.....	31
3.5 Simulación del intercambiador de calor aire-tierra	35
3.5.1 Intercambiador de calor convencional.....	35
3.5.2 Intercambiador tipo Slinky	37
3.5.3 Comparación de rendimientos	38
3.6 Matriz de decisión.....	39
3.7 Lista de materiales	41
3.7 Instalación.....	41
Capítulo 4	43
4.1 Conclusiones y recomendaciones	44
4.1.1 Conclusiones	44
4.1.2 Recomendaciones	45
Referencias.....	46

APÉNDICE.....	50
---------------	----

Abreviaturas

ASHRAE	Sociedad Americana de Aire Acondicionado, Refrigeración y Calefacción
BBC	British Broadcasting Corporation
ESPOL	Escuela Superior Politécnica del Litoral
IEA	Agencia Internacional de la Energía
IGSHPA	Ground Source Heat Pump Association
INEGI	Instituto Nacional de Estadística y Geografía
ITSON	Instituto Tecnológico de Sonora
REMAS	Red de Estaciones Meteorológicas Automáticas de Sonora
SENER	Secretaría de Energía (México)

Simbología

Km ²	Kilómetros cuadrados
MMpcd	Millones de pies cúbicos diarios
m	Metros
TWh	Teravatio Hora
°C	Grados Celsius
J	Joules
W	Watts
Kg	Kilogramos
K	Grados kelvin
mm	Milímetros
h	Horas
%	Porcentaje

Índice de figuras

Figura 1 <i>Formas de transferencia de calor.</i>	7
Figura 2 <i>Fenómenos de convección por su naturaleza.</i>	8
Figura 3 <i>Sistema de baja entalpía aplicado en viviendas.</i>	11
Figura 4 <i>Localización de viviendas de interés social</i>	13
Figura 5 <i>Vista de vivienda de interés social en la colonia Valle Dorado</i>	14
Figura 6 <i>Temperatura máxima por mes desde el año 2019 al 2023 en Sonora.</i>	14
Figura 7 <i>Datos de temperatura del suelo en las horas más calurosas.</i>	16
Figura 8 <i>Datos de temperatura en horario nocturno.</i>	16
Figura 9 <i>Temperatura superficial del suelo por mes del 2019</i>	28
Figura 10 <i>Temperatura superficial máxima del suelo por día de agosto del año 2019</i>	29
Figura 11 <i>Temperatura del suelo a distintas profundidades en el día más cálido</i>	29
Figura 12 <i>Temperatura ambiente por mes del año 2019.</i>	30
Figura 13 <i>Temperatura ambiente por día de agosto del año 2019</i>	30
Figura 14 <i>Modelo de simulación de capas del suelo definido con condiciones de frontera</i>	31
Figura 15 <i>Simulación del perfil de temperatura del suelo</i>	32
Figura 16 <i>Temperatura del suelo resultante de la simulación, según la profundidad.</i>	32
Figura 17 <i>Variación de la temperatura por cada metro de profundidad</i>	33
Figura 18 <i>Valores de Bias de los datos en el momento más cálido del día</i>	34
Figura 19 <i>Valores de RMSE en el momento más cálido del día</i>	34
Figura 20 <i>Modelo en CAD del intercambiador de calor normal</i>	35
Figura 21 <i>Simulación del intercambiador normal enterrado</i>	36
Figura 22 <i>Gradiente de temperatura resultantes del intercambiador normal en distintas capas del suelo</i>	36
Figura 23 <i>Modelo en CAD del intercambiador de calor tipo Slinky</i>	37
Figura 24 <i>Simulación del intercambiador Slinky enterrado</i>	37
Figura 25 <i>Gradiente de temperatura del intercambiador Slinky en distintas capas del suelo</i>	38
Figura 26 <i>Gradiente de temperatura de los intercambiadores simulados en la capa 4-5 m.</i>	39
Figura 27 <i>Modelo de instalación del sistema de baja entalpía en la vivienda</i>	42

Índice de tablas

Tabla 1 <i>Temperatura máxima y promedio por mes del año en Sonora</i>	15
Tabla 2 <i>Propiedades del suelo por nivel de profundidad</i>	17
Tabla 3 <i>Condiciones de simulación usados durante la construcción del modelo CFD</i>	21
Tabla 4 <i>Parámetros de flujo en la vivienda</i>	24
Tabla 5 <i>Características del blower marca Soler&Palau</i>	24
Tabla 6 <i>Parámetros del fluido del medio</i>	25
Tabla 7 <i>Características de la tubería seleccionada</i>	25
Tabla 8 <i>Temperaturas del intercambiador de calor</i>	26
Tabla 9 <i>Temperaturas según el nivel de suelo</i>	26
Tabla 10 <i>Parámetros de ventilación y propiedades del fluido</i>	27
Tabla 11 <i>Longitud de tubería necesaria del intercambiador a cada metro de suelo</i>	28
Tabla 12 <i>Matriz de decisión comparando los intercambiadores de calor</i>	40
Tabla 13 <i>Materiales necesarios para la construcción del sistema de baja entalpía</i>	41

Capítulo 1

1.1 Introducción

Entre 2022 y 2023, la demanda eléctrica en México creció un 3.5%, muy por encima del aumento de capacidad de generación que aumentó solamente en 0.6% durante ese periodo, lo que pone en duda la seguridad energética del país para los próximos años (IMCO, 2024). En 2021, la Secretaría de Energía de México, estimó que el consumo final energético aumentaría a una tasa anual de 1.9% hasta el 2035 (SENER, 2021). Esto no se ha cumplido durante los años posteriores y el aumento del uso de equipos de aire acondicionado hará que la demanda crezca varios puntos más.

La producción total de electricidad actual en México se estima de 2.045,92 TWh anuales, donde las principales generadoras con el 83,58% son las centrales termoeléctricas que funcionan a partir del uso de combustibles fósiles y producen 1.711,20 TWh; las energías renovables corresponden al 13,97% las cuales generan 285,91 TWh y la energía nuclear con el 2,39% produce 48,80 TWh, adicional la energía geotérmica corresponde únicamente al 1,27% produciendo 26 TWh por lo que es una energía poco aprovecha. (SENER, 2023).

Desde allí, se puede notar una dependencia energética específicamente en la generación eléctrica a base de gas natural, el cual es importado desde Estados Unidos. Esto ha generado un encarecimiento en la producción eléctrica dada la subida de la unidad de volumen de gas natural (Millones de pies cúbicos diarios, MMpcd) desde un precio de \$3 hasta precios que fluctúan entre \$200 y \$600. Además, dado que la generación depende de un suministro constante de este recurso, cualquier problema en su transportación podría provocar un déficit de generación de energía que, posiblemente, lleven a racionamientos eléctricos, como sucedió en 2021 (BBC News Mundo, 2021).

De la misma manera, en ocasiones se registran apagones provocados por la sobredemanda que generan los equipos de aire acondicionado. Esto, dado su uso constante para hacer frente a las olas de calor y cambios bruscos de temperatura dentro del territorio mexicano, lo que ha incrementado

la demanda de aires acondicionados y equipos de ventilación. Se estima que al año se instalan más de un millón de equipos de aire acondicionado en territorio mexicano (Hernández, 2024).

De acuerdo con SENER, (SENER, 2021), uno de los estados de la república mexicana con mayor demanda de aires acondicionados es Sonora, donde alrededor de 725.268 viviendas cuentan con al menos un equipo de aire acondicionado, siendo entre abril y septiembre los meses de mayor uso.

Estos equipos son necesarios por las altas temperaturas que pueden causar insolación, desmayos, deshidratación, problemas en la piel y demás. Por consiguiente, el Gobierno de México, ha recomendado el uso moderado y eficiente de equipos de refrigeración, ya que el uso masivo genera picos en el consumo de electricidad y satura las redes de distribución. Las recomendaciones que dan para evitar eventos de cortes eléctricos son, por ejemplo, ajustar las temperaturas entre 24 y 26°C, dar el mantenimiento correcto a los equipos de refrigeración y ajustar el tiempo de funcionamiento a momentos de estricta necesidad (Centro Nacional de Prevención de Desastres, 2024).

Un caso de esta situación es lo que viene ocurriendo en el municipio de Cajeme del estado de Sonora, donde en julio 2024 se ha roto el récord de temperatura máxima que ha llegado hasta los 48°C (Contreras, 2024). Cajeme está localizado en una zona desértica de México, el municipio cuenta con un aproximado de 436.484 habitantes lo que lo hace ser el segundo más poblado de Sonora, ocupando una superficie de 4882.65 km² (INEGI, 2020). En esta zona, además de los problemas por sobredemanda eléctrica, existen problemas en la capacidad del sistema eléctrico instalado. Dada la temporada de calor, hay un mayor uso de equipos de refrigeración y electrodomésticos que pueden llevar a que el consumo sea mayor al permitido en los transformadores, produciendo que los abastecedores de energía estallen por sobrecarga provocando incidentes que han afectado a los pobladores (Jusaino, 2024).

Por ejemplo, en 2019 se registró la explosión de un transformador subterráneo que afectó a 2 personas cuyas quemaduras fueron de primer a tercer grado. Demostrando el mal estado de la infraestructura envejecida e insuficiente que además se expone a una sobre exigencia continua (Vallejo, 2019).

Todas estas situaciones han llevado al país a buscar una transición energética. En la Ley de Industria Eléctrica que se presentó en 2022, se plantearon los objetivos para contrarrestar los efectos del cambio climático impulsando el desarrollo del sector eléctrico de forma sustentable. Así, el Gobierno de México empezó a adoptar medidas para aumentar considerablemente la proporción de energía renovable en su conjunto de fuentes energéticas y mejorar la tasa mundial de mejora de la eficiencia energética. A pesar de eso, existen limitantes debido a la falta de inversión en proyectos que promuevan el uso de energías alternativas renovables (Urbano, 2023).

1.2 Descripción del Problema

El municipio de Cajeme del estado de Sonora está localizado en una zona desértica de México, cuenta con un aproximado de 436 mil habitantes lo que lo hace ser el segundo más poblado de Sonora, ocupando una superficie de 4882.65 km² (INEGI, 2020). Debido al incremento de temperatura que ha experimentado en los últimos años, alcanzando hasta los 48 grados centígrados (Contreras, 2024), por lo que se hace necesario tener el sistema de aire acondicionado encendido constantemente, lo que ha llevado a un incremento del consumo eléctrico en la región. Lo cual, ha llevado a las personas a buscar diferentes alternativas para aliviar el consumo en la red eléctrica. Una de ellas que se han establecido es la factibilidad del aprovechamiento de sistemas geotérmicos para refrigeración a viviendas de interés social, con el fin de reducir el consumo energético de la zona de actuación.

1.3 Justificación del Problema

En la actualidad, el aumento de temperaturas en el municipio de Cajeme en el estado de Sonora ha presentado un máximo promedio de más de 35°C, produciendo un clima seco, por lo

cual coloca a Sonora como uno de los estados con mayor índice de peligro, vulnerabilidad y riesgo por ondas de calor (Weather Spark, 2022). Por lo que se necesita contar con un sistema que reduzca la temperatura de las viviendas de interés social donde habitan las familias del lugar. Actualmente, se utiliza de manera continua el aire acondicionado, lo que produce un aumento en el consumo energético en los hogares, aumentando la demanda de energía en la red eléctrica (Hernández, 2024). Por lo que se nace la necesidad del diseño de un sistema de baja entalpía enfocado a viviendas de interés social para reducir la temperatura del interior de la vivienda aprovechando la inercia térmica del suelo, permitiendo la reducción del consumo energético. Siendo Sonora el estado con mayor potencial en instalación de intercambiadores subterráneos utilizados para climatización (Aranda, 2024).

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo general

Diseñar un sistema de baja entalpía para casas localizadas en zonas desérticas, mediante el análisis de inercia térmica del subsuelo y aplicación de principios de geotermia, mejorando el confort térmico habitacional.

1.4.2 Objetivos específicos

- Recopilar información de la zona de actuación del entorno ambiente y Test de respuesta térmica del suelo.
- Diseñar el sistema de baja entalpía que reduzca la temperatura en las habitaciones de casas de interés en zonas desérticas.
- Realizar la simulación utilizando programas de Fluidodinámica Computacional para la determinación del comportamiento del análisis del fluido caloportador del intercambiador enterrado.

1.5 Marco teórico

1.5.1 Importancia de la energía renovable en México

En la actualidad México cuenta con distintas fuentes de energía, tales como explotación de recursos energéticos como los combustibles fósiles, las cuales generan emisiones contaminantes, por lo que se han generado políticas energéticas que ha permitido incluir la energía renovable dentro de la matriz energética. Entre estos tipos de energías renovables se consideran la energía eólica, solar, hídrica, mareomotriz y geotérmica, ya que se cuenta con las condiciones favorables para poder llevar a cabo dichos proyectos energéticos (Rionda, 2016). A partir del año 1980, se comenzó a conocer de forma más amplia el tema energético, promoviendo el desarrollo de fuentes renovables, así como la transformación de las industrias energéticas. Dichas estrategias han sido consideradas para poder aumentar la eficiencia energética y tener una matriz energética diversificada, teniendo como objetivo lograr economías con bajas en emisiones de carbono (Cuevas Moreno, 2017).

1.5.2 Definición de energía

La palabra energía proviene de griego ἐνέργεια lo que se traduce como energía, que es la capacidad que tienen los cuerpos para realizar un trabajo y es una interacción de componentes de un sistema que contiene materia. Se debe conocer que la energía ni se crea ni se destruye, solo se transforma (Cengel & Boles, 2019). A partir de esto se muestra que cada vez que un cuerpo pasa a un estado diferente, la materia siempre será conservada, nunca desaparecerá, esto debido a la Ley de la conservación de la energía. Existen diferentes tipos de energía, tales como mecánica, eléctrica, térmica, entre otras. Todos estos tipos de energía están presentes en nuestro medio, la cual se puede utilizar para transformarla en el trabajo necesario para procesos productivos. La energía se la mide en unidades de Joules al utilizar el sistema internacional (Serway & Jewett, 2014). Posee unidades similares a las del trabajo, por lo que se puede indicar que la energía es

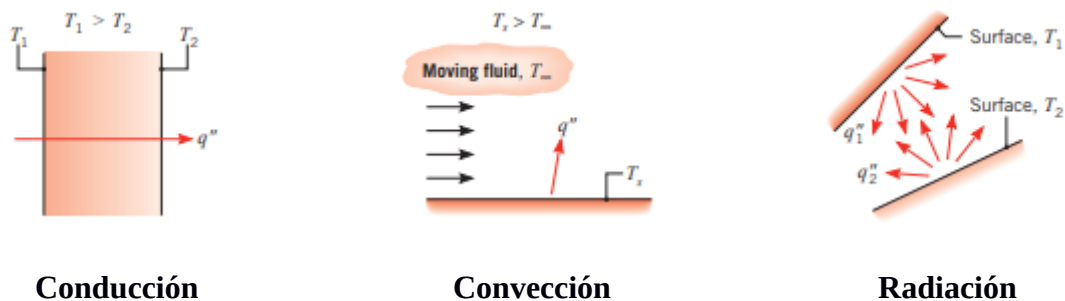
esencial para producir trabajo y así llevar una transformación de la energía (Young & Freedman, 2013).

1.5.3 Energía Térmica y Transferencia de Calor

La Energía Térmica se refiere a sistemas en los cuales la temperatura de la materia cambia, esto debido al movimiento interno entre átomos. Este tipo de cambio de temperatura si es ascendente nos indica un aumento de energía, mientras que al descender la temperatura esto muestra una disminución de energía. A partir de la termodinámica se puede conocer acerca de los sistemas térmicos, debido a que es la encargada de estudiar la transferencia del calor y las diferentes transformaciones térmicas de energía y su relación con los distintos tipos de trabajo (Beléndez Vasquéz, 2017).

Figura 1

Formas de transferencia de calor.



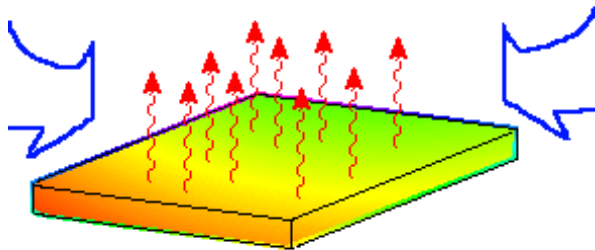
Nota. La imagen muestra las tres formas de transferir calor entre cuerpos; conducción, convección y radiación. (Incropera, DeWitt, Bergman, & Lavine, 2011)

De acuerdo con la Figura 1. existen tres tipos de fenómenos para la transferencia de calor, los cuales son conducción, convección y radiación. La conducción considera la transferencia de energía de las partículas más energéticas a las menos energéticas de una sustancia debido a las interacciones entre las mismas (Incropera, DeWitt, Bergman, & Lavine, 2011); es decir entre dos superficies que se encuentran a diferentes temperaturas, siempre se transferirá energía desde la que tiene mayor temperatura hacia la que tiene menor temperatura, llegando a un equilibrio entre las

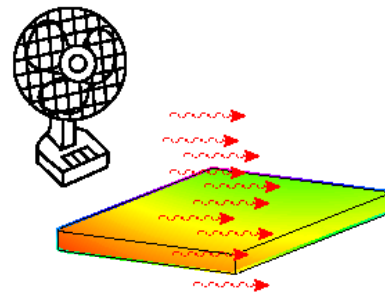
dos a lo largo del tiempo. La convección es la transferencia de calor entre una superficie sólida hacia un líquido o gas que esta continuo a la superficie, este fluido puede estar en movimiento aleatorio lo cual correspondería a difusión, mientras que si el fluido tiene un movimiento masivo sería un proceso de advección. Estos casos también se debe clasificar acorde al tipo de naturaleza del flujo, el cual puede ser por convección natural y convección forzada como se observa en la Figura 2.

Figura 2

Fenómenos de convección por su naturaleza.



Convección Natural



Convección Forzada

Nota. La imagen ejemplifica la convección desde un cuerpo y las formas en que puede interactuar con otros. (SystèmeS, Dassault, 2020)

La convección natural es producida por las fuerzas de suspensión que ocurre debido a las diferencias de densidades entre fluidos producidas por las distintas temperaturas de cada uno, mientras que la convección forzada se produce cuando un flujo está siendo afectado por medios externos, tales como bombas o ventiladores que aumentan el flujo que pasa a través de la superficie adyacente (Incropera, DeWitt, Bergman, & Lavine, 2011).

La radiación como se muestra en la Figura 1 es la emisión de energía del cuerpo que contiene una temperatura específica, esta energía es transportada por medio de ondas electromagnéticas, por lo que no es necesario un material como tal para que se produzca esta interacción, debido a que la transferencia de energía óptima es cuando se produce en el vacío. (Cengel & Boles, 2019).

Finalmente se debe conocer que cada uno de estos procesos térmicos y su eficiencia será determinado por las propiedades térmicas del tipo de fluido y de la superficie adyacente que estén interactuando (Incropera, DeWitt, Bergman, & Lavine, 2011).

1.5.4 Energía Geotérmica

La energía Geotérmica es la que se encuentra dentro de la superficie de la tierra almacenada en forma de calor, la cual es dada por las diferentes reacciones químicas, producidas desde el núcleo externo de la tierra. Las diferentes capas de la tierra por orden de profundidad desde la más profunda hasta las menos profunda son: núcleo interno (sólido), núcleo externo (líquido), manto inferior (comportamiento plástico), manto superior, litosfera y corteza (Vega & Ramirez, 2014).

El principal interés por la energía geotérmica es para la utilización en transformaciones a energía eléctrica, así como para procesos donde se necesite altas temperatura. Una de sus principales características es ser una energía renovable y limpia, ya que se encuentra directamente en el interior de la tierra (Vega & Ramirez, 2014). Existen distintos tipos de sistemas geotérmicos, tales como baja, media y alta entalpía, cada uno de estos dependerá de la temperatura a la que se está trabajando. Los sistemas de alta entalpía están situados en regiones de alta actividad térmica tales como volcanes y geiseres, ya que en estos lugares se encuentran temperaturas mayores a los 150°C, estos sistemas son favorables para plantas de generación eléctrica donde es utilizado el calor para cambiar el estado de agua a vapor y así mediante turbinas obtener energía (DiPippo, 2012). Los sistemas de media entalpía son los que se encuentran en lugares donde la temperatura es menor a 150°C y mayor a 90°C, así también son utilizado para realizar procesos donde se requiera transformación de fluidos a vapor de estos. Finalmente, los sistemas de baja entalpía tienen temperaturas menores a los 90°C y son utilizados para sistemas de calefacción y refrigeración, debido a su menor rango de temperatura, estos sistemas son de acceso más económico y con una mayor variedad de aplicaciones (Lund, Freeston, & Boyd, 2011).

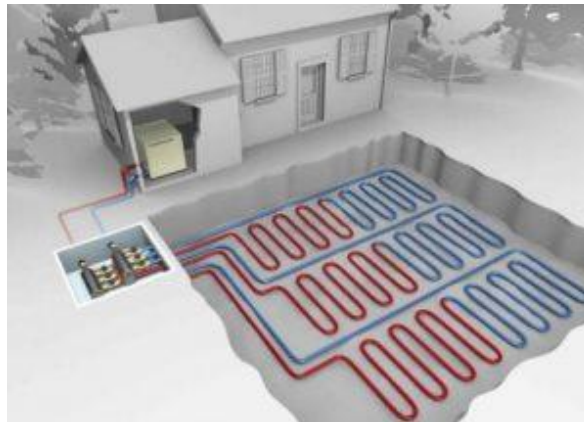
1.5.5 Sistema de baja entalpía

Los sistemas de baja entalpía, como el que se muestra en la Figura 3, permiten el uso de la energía geotérmica del suelo a determinada profundidad donde la temperatura suele ser más fría en relación con la temperatura de la superficie, estos casos ocurren en zonas áridas y desérticas, donde la temperatura externa ronda los 50°C tal como ocurre en el municipio de Cajeme, del estado de Sonora en México. Esa energía puede ser utilizada principalmente para calefacción y refrigeración en edificaciones, así como para procesos de calentamiento de agua en procesos industriales (Ramos Vega & Torres Castro, 2023). Al tratarse de energía que se encuentra almacenada dentro de la tierra son sostenibles y contribuyen a la reducción de la huella de carbono (Vielma Sossa, 2013), estos sistemas cuentan con bombas y sistemas de intercambio de calor con el suelo (Lund, Freeston, & Boyd, 2011).

Las bombas de calor geotérmicas utilizan la energía almacenada en el subsuelo para poder calentar o enfriar las edificaciones, funcionan mediante compresión de vapor o fluido, similar a un refrigerador, pero al contrario ya que transfieren la temperatura del subsuelo hacia el fluido el cual estará en contacto con el aire dentro de las edificaciones (ASHRAE, 2019). El método utilizado para la refrigeración a partir de sistemas de baja entalpía consiste en un sistema de tuberías enterradas en el suelo, mediante la cual circula un fluido, normalmente aire, aprovechando la temperatura constante del suelo, la cual nos permite tener sistemas de calefacción o refrigeración dependiendo la profundidad (Lund, Freeston, & Boyd, 2011).

Figura 3

Sistema de baja entalpía aplicado en viviendas.



Nota. Se muestra ejemplo de la estructura de un sistema geotérmico adaptado a una vivienda.
(AIPRO, 2018)

Capítulo 2

2. Metodología.

2.1 Ubicación

Las viviendas de interés social estudiadas para la implementación del sistema de baja entalpia se encuentran ubicadas en la colonia Valle Dorado del municipio de Cajeme, localizado en el estado de Sonora en México en las coordenadas 27°26'23.5"N 109°55'24.3"W. En esa zona se encuentra un pozo de 42 m de profundidad donde el personal del Instituto Tecnológico de Sonora (ITSON) realiza mediciones de temperatura y propiedades del suelo; estos datos se nos fueron facilitados para el desarrollo de este proyecto.

Este estudio fue contemplado para el uso en todas las viviendas de la colonia, las cuales tienen un área promedio total de 90 m^2 , siendo 50 m^2 de zona habitable, disponiendo así de 125 m^3 de volumen que se requiere acondicionar.

El espacio restante corresponde al área disponible a remover que es de 40 m^2 , siendo esto el promedio de tamaño de los patios en las viviendas de interés. Este espacio es donde se colocaría el intercambiador enterrado.

Figura 4

Localización de viviendas de interés social



Nota. Se ubican las coordenadas de la colonia Valle Dorado en Sonora. (Google, s.f.)

Figura 5

Vista de vivienda de interés social en la colonia Valle Dorado



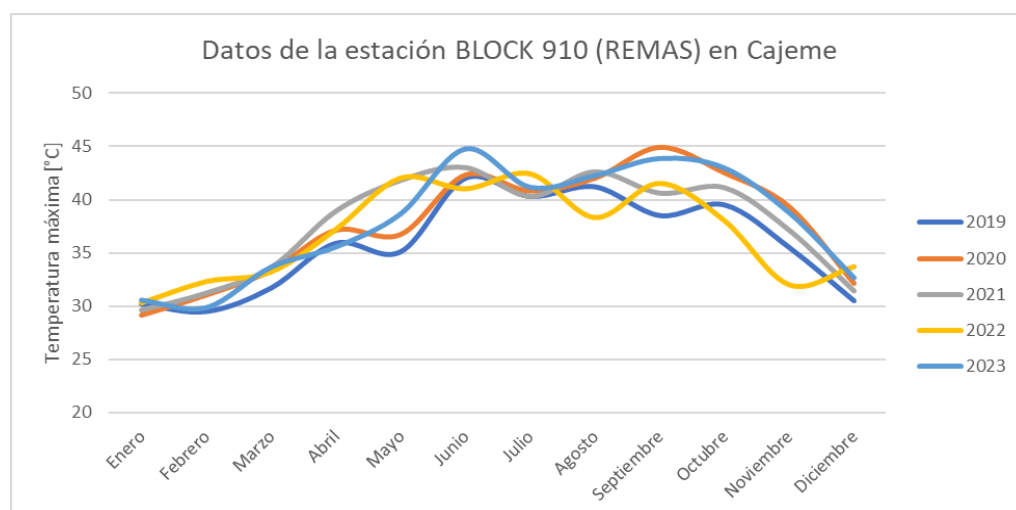
Nota. Se muestran dos viviendas donde es aplicable la implementación del sistema de baja entalpia. (Google, s.f.)

2.2 Clima

Los registros de temperatura del aire en Sonora son tomados por medio de la Red de Estaciones Meteorológicas Automáticas de Sonora (REMAS), en la Figura 6, se muestran las temperaturas máximas de cada mes entre el año 2019 y 2023, mostrando anualmente una tendencia de altas temperaturas.

Figura 6

Temperatura máxima por mes desde el año 2019 al 2023 en Sonora.



Nota. La figura muestra el comportamiento de temperatura durante todo el año, donde se diferencian los periodos de altas y bajas temperaturas. (REMAS, s.f.)

En la Tabla 1 se pueden observar los valores de temperatura promedio y máxima por mes, teniendo en cuenta 5 años de estudio (2019-2023). Estos datos se toman de la estación BLOCK 910 del REMAS, que es la que se encuentra más cercana a la colonia Valle Dorado. Se pudo notar que las mayores temperaturas se registran desde junio hasta octubre, esta información fue usada para conocer la temperatura a la que ingresará el aire al sistema.

Tabla 1

Temperatura máxima y promedio por mes del año en Sonora

Mes	Media de Temperatura	Media de Temperatura
	Máxima (°C)	Promedio (°C)
Enero	29.9	15.35
Febrero	30.78	15.52
Marzo	33.1	17.44
Abril	36.94	20.78
Mayo	38.86	24.06
Junio	42.62	29.04
Julio	41	30.9
Agosto	41.28	30.62
Septiembre	41.88	29.5
Octubre	40.82	26.44
Noviembre	36.54	21.36
Diciembre	32.08	16.86
Total	37.155	23.16

Nota. Se visualizan que los meses de mayor temperatura comprenden desde junio hasta octubre, cuando la temperatura máxima es mayor a los 40 °C. (REMAS, s.f.)

2.3 Propiedades del suelo

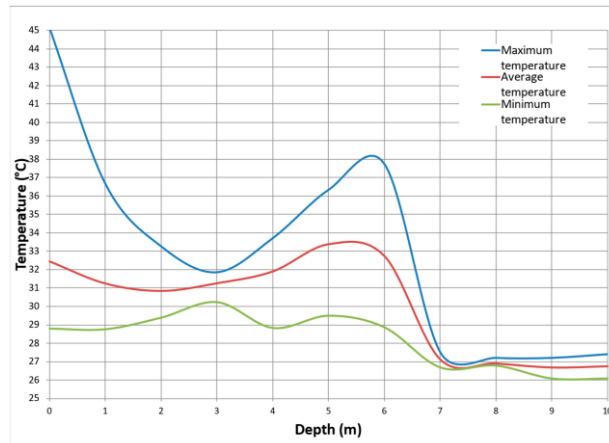
2.3.1 Curva de temperatura

En los registros de datos tomados por ITSON se tienen dos muestras realizadas en 2019, el gráfico 2 muestra la temperatura promedio, máxima y mínima del suelo por cada metro de profundidad entre el 11 de agosto y el 13 de octubre del 2019 en la hora más calurosa del día, meses que son parte del verano en Sonora. La Figura 7 muestra que a pocos metros de profundidad hay una disminución sustancial de temperatura que podríamos utilizar para el sistema de baja

entalpía, siendo a 3 metros de profundidad la ubicación adecuada para el intercambiador de calor enterrado.

Figura 7

Datos de temperatura del suelo en las horas más calurosas.

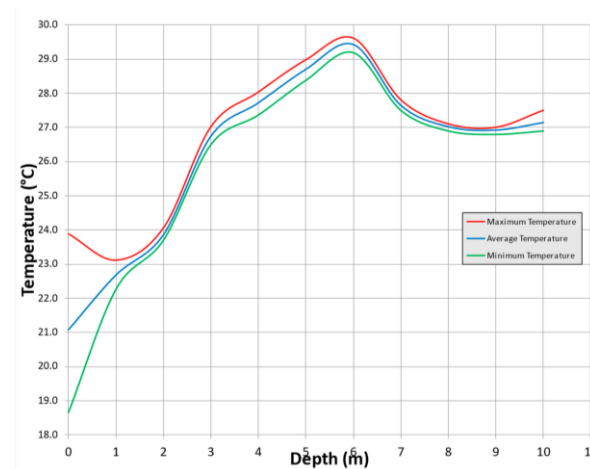


Nota. Se muestra que, hasta los 3 metros de profundidad, la temperatura disminuye y luego vuelve a aumentar, siendo la posición estimada a la que puede colocarse el intercambiador. **(Peralta, 2023)**

Asimismo, se hizo el estudio en horario nocturno mostrando en la Figura 8 el comportamiento térmico del suelo, dando como resultado una temperatura pico de 29,5 °C.

Figura 8

Datos de temperatura en horario nocturno.



Nota. Esta gráfica muestra que durante el horario nocturno se puede brindar calefacción con el sistema de baja entalpía, dadas las temperaturas del suelo. **(Peralta, 2023).**

Con estos datos se pudo establecer la posibilidad de que con el sistema de baja entalpía se puede tanto refrigerar en horario diurno como calentar en horario nocturno, pero se decidió considerar el sistema solamente para uso diurno, pues en Sonora el uso de calefacción es casi inexistente.

2.3.2 Características del suelo según la profundidad

A partir de las muestras de suelo tomadas por los colaboradores de ITSON, y realizados los estudios respectivos se obtienen los siguientes datos:

Tabla 2

Propiedades del suelo por nivel de profundidad

Capa [m]	Tipo de suelo	Contenido de agua [%]	Densidad [kg/m^3]	Difusividad térmica, a [mm^2/s]	Conductividad térmica, λ [W/mK]	Efusividad térmica, b [Ws^2/m^2K]	Calor específico, cp [kJ/kgK]
0.0 - 1.0	Arena limosa	9	1980	133	0.43	419	1.211
1.0 - 2.0	Limoso	7	2039	4	0.17	84	0.088
2.0 - 3.0	Arcilla	12	1733	179	0.19	15	0.002
3.0 - 4.0	Arcilla	21	1855	228	0.15	11	0.001
4.0 - 5.0	Arcilla	22	1843	292	0.2	14	0.002
5.0 - 6.0	Arena	10	1908	86	0.48	542	0.012
6.0 - 7.0	Limo arenoso	19	1870	40	0.08	19	0.013
7.0 - 8.0	Limo arcilloso	27	1800	95	0.2	28	0.014
8.0 - 9.0	Limo arcilloso	29	1756	103	0.21	30	0.015
9.0 - 10.0	Arcilla limosa	27	1517	1	0.41	426	0.673

Nota. Esta tabla nos ofrece las propiedades del suelo que se usaron para la simulación del funcionamiento del sistema de baja entalpía. **(Peralta, 2023)**

Un aspecto importante que resaltar aquí es el nivel freático del suelo dado que entre los primeros 10 metros de profundidad se puede encontrar agua subterránea. Eso lo podemos notar en el contenido de agua, pues en el nivel de 3 y 4 metros hay un aumento notable de humedad lo que significa presencia de agua que, en caso de que se deba excavar esa profundidad, se tendrá que retirar.

2.4 Posibles Soluciones

Entre las opciones de solución se decidió comparar 2 tipos de intercambiadores de calor, primeramente, un tipo de intercambiador de calor convencional para sistemas geotérmicos, además de un intercambiador tipo Slinky, el cual emplea tubería flexible dispuesta en rollos colocados de forma sucesiva. Se seleccionó una de estas opciones de manera que cumplan la tarea de mejor manera y que sea lo más económico.

Por otro lado, también se realizó la selección de la profundidad adecuada donde se coloca el intercambiador, la que se pudo determinar utilizando los gradientes de temperaturas obtenido a distintas profundidades. Así también se definió que el fluido a utilizar sería el aire, debido a que es un fluido que estará en contacto directo con el medio de la habitación al tratarse de un circuito abierto.

Para el transporte del aire a través del intercambiador en la entrada y salida, se identificó el uso de un blower o un compresor de aire, estos equipos serían los encargados de tomar el aire del ambiente para ingresarlo al intercambiador de calor y así mismo permitir su salida a la habitación.

2.5 Dimensionamiento del intercambiador de calor

Para dimensionar el intercambiador enterrado se tomó como referencia el método de la International Ground Source Heat Pump Association (IGSHPA) (ATECYR, 2012).

Primero, se consideró la implementación de un ventilador centrífugo cuyo caudal necesario es:

$$\dot{V}_{total} = \#renovaciones * V \quad (1)$$

Dónde $\dot{V}_{total}$ es el flujo requerido para el acondicionamiento en [m^3/h], $\#renovaciones$ corresponde a los cambios de aire por hora [$1/h$], y V es el volumen de la vivienda [m^3].

Por otro lado, el tamaño de tubería se seleccionó con las restricciones del método de la IGSHPA, cuando indica que el diámetro interior de tubería debe ser pequeño para llegar a tener altas velocidades de flujo. Para esto, sugiere cumplir una condición en el número de Reynolds:

$$Re = \frac{4\dot{V}}{\pi D_{int} v} > 10000 \quad (2)$$

Siendo $\dot{V}$ el caudal al interior del intercambiador [m^3/s], D_{int} el diámetro interno de tubería en metros [m], y v la viscosidad cinemática del fluido en [m^2/s]. Aquí el valor del diámetro se probó con medidas comerciales para cumplir la condición establecida.

Por otro lado, para definir la longitud del intercambiador de calor se consideró que, por ley de conservación de energía, la rapidez a la que se transfiere calor por convección es igual a la rapidez de cambio de energía interna del fluido.

Siendo que:

$$q_{conv} = E_{int} = \dot{m}c_p\Delta T = \rho\dot{V}c_p\Delta T \quad (3)$$

Donde ρ es la densidad del fluido en $[\text{kg}/\text{m}^3]$, c_p es el calor específico en $[\text{kJ}/\text{kgK}]$ y ΔT es la diferencia de temperaturas a la entrada y a la salida del intercambiador $[\text{°C}]$.

Otra forma de expresar la transferencia de calor por convección es en términos de las propiedades de tubería y comportamiento del fluido, de la siguiente manera:

$$q_{conv} = \frac{\Delta T_{ml}}{\frac{1}{h\pi D_{int}L} + \frac{\ln(\frac{D_{ext}}{D_{int}})}{2\pi Lk_t}} \quad (4)$$

Donde ΔT_{ml} es la temperatura media logarítmica en $[\text{°C}]$, h el coeficiente de calor por convección en $[\text{W}/\text{m}^2\text{K}]$, L es la longitud de tubería del intercambiador $[\text{m}]$, D_{ext} es el diámetro externo de tubería $[\text{m}]$, y k_t es la conductividad térmica del material de la tubería $[\text{W}/\text{mK}]$.

A partir de esto, al igualar la Ecuación (3) y Ecuación (4), se deduce:

$$\rho\dot{V}c_p\Delta T = \frac{\Delta T_{ml}}{\frac{1}{h\pi D_{int}L} + \frac{\ln(\frac{D_{ext}}{D_{int}})}{2\pi Lk_t}} \quad (5)$$

La temperatura media logarítmica se procedió a expresarla de forma que considere entrada y salida del fluido al intercambiador, además de la temperatura del suelo.

$$\Delta T_{ml} = \frac{T_{entrada} - T_{salida}}{\ln\left(\frac{T_{entrada} - T_s}{T_{salida} - T_s}\right)} \quad (6)$$

Donde $T_{entrada}$ y T_{salida} son las temperaturas de entrada y salida del fluido al interior del intercambiador de calor respectivamente en $[\text{°C}]$, y T_s es la temperatura del suelo $[\text{°C}]$.

También fue necesario obtener el número de Reynolds real para la tubería seleccionada, para así obtener el número de Nusselt para flujo turbulento, el cual se introdujo en el cálculo del coeficiente de convección.

$$Re = \frac{4\dot{V}}{\pi D_{int} v} \quad (7)$$

$$Nu = 0.023 Re^{4/5} Pr^{1/3} \quad (8)$$

$$h = \frac{Nu * k_a}{D_i} \quad (9)$$

Donde Pr es el número de Prandtl del fluido (adimensional) y k_a es la conductividad térmica del fluido [W/mk].

2.6 Simulación

2.6.1 Inercia del suelo

Con los datos que ITSON nos proporcionó de las diferentes variaciones de temperaturas durante el año 2019 desde el mes de agosto hasta octubre, así como las propiedades del suelo correspondiente a Cajeme, se procedió a realizar una simulación de la distribución térmica en las capas del suelo mediante el uso de software CAD. Para realizar una correcta simulación se construyó cada capa de suelo y se le colocaron sus propiedades correspondientes, tomando como punto de partida 50 cm en el interior de cada capa, además de la radiación, humedad, temperatura y velocidad del viento en el día más cálido de estudio, esto nos permitió obtener un perfil de isoconcentración de temperatura, lo que permitió validar cual fue la temperatura medida con respecto a la temperatura simulada. Se utilizó método estadístico BIAS para identificar la precisión del método utilizado y RMSE para interpretar el valor predicho con respecto al valor tomado en sitio.

2.6.2 Intercambiador de calor

Mediante el uso de software CAD se construyeron los intercambiadores de calor propuestos, teniendo en cuenta el área disponible para su instalación. Luego de construirlos se los añadió a la simulación de inercia de la tierra para así poder comprobar cuál era la temperatura de salida del aire una vez que ingresaba al sistema, este método nos permitió obtener un gradiente de temperatura para cada capa del suelo, lo que nos permitió poder realizar una comparativa de a que

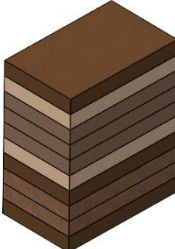
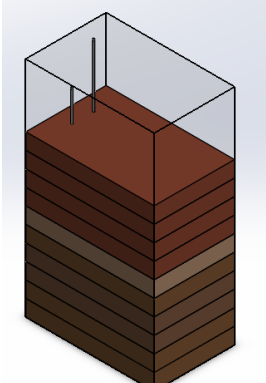
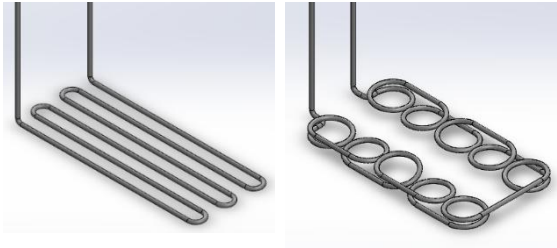
profundidad era la más adecuada para colocar el intercambiador, a la vez que se seleccionó el intercambiador que dio mejores resultados. Para la simulación como material se utilizaron tuberías HDPE, siendo elementos económicos y de fácil acceso en cualquier zona del país, debido a que si se utilizaba como material cobre o aluminio, además de ser más costoso, requeriría un mantenimiento y condiciones adicionales para que no se vean afectados por corrosión en tiempos de lluvia.

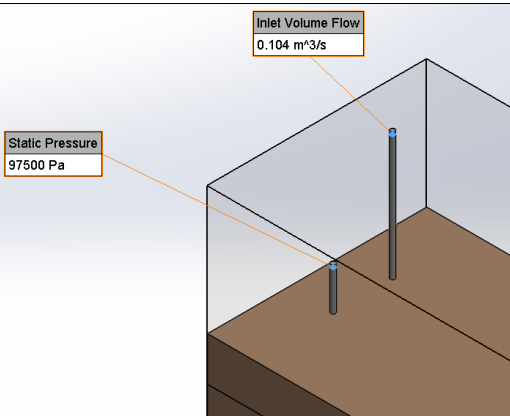
2.6.3 Parámetros de simulación

En la Tabla 3 se detalla la información que utilizó para la simulación.

Tabla 3

Condiciones de simulación usados durante la construcción del modelo CFD

Condiciones de la simulación	Imágenes
Capas de suelo - Tipo de suelo - Conductividad de material - Tamaño del área disponible	
Condiciones de frontera - Temperatura ambiente - Presión atmosférica - Radiación del entorno - Velocidad del viento - Humedad	
Intercambiador de calor - Selección del material - Longitud - Diámetro	

Ingreso de aire - Caudal - Temperatura de entrada del aire en la tubería - Temperatura ambiental - Presión estática	
--	--

Nota. Se muestran los datos meteorológicos, de suelo y de diseño usados en el software de simulación. Tabla de elaboración propia.

2.7 Especificaciones técnicas

El diseño propuesto ayuda a bajar la temperatura en el interior de la vivienda en cuestión, mas no logra llegar a la temperatura de confort para las personas, sino que sirve de sistema auxiliar que interviene para aliviar la carga de los equipos de aire acondicionado.

Este sistema está contemplado para ser de baja inversión y fácil construcción, por lo que se priorizaron materiales nacionales, el manejo de un flujo de aire y la profundidad del intercambiador no mayor a 6 metros.

El aire fluye con ayuda de un ventilador centrífugo de marca Soler&Palau que fue seleccionado según el volumen de la vivienda y las renovaciones por hora necesarias.

Las tuberías del intercambiador son de material polietileno PE100, dado que es un material con buena conductividad térmica, fácil de conseguir y económico.

Capítulo 3

3. Resultados y análisis

3.1 Cálculo de capacidad de ventilador centrífugo

Según la normativa DIN 1946, las renovaciones de aire por hora en habitaciones domiciliarias son de entre 3 y 8. Se consideran 3 renovaciones para que el flujo de aire pase mayor tiempo en el intercambiador y mejorar la transferencia de calor. A partir de esto se calcula la capacidad necesaria para el blower.

Tabla 4

Parámetros de flujo en la vivienda

Parámetro	Símbolo	Magnitud	Unidad
Renovaciones por hora	<i>#renovaciones</i>	3	1/h
Volumen vivienda	<i>V</i>	125	m^3

Nota. Tabla de elaboración propia.

Para este cálculo empleamos la Ecuación 1:

$$\dot{V}_{total} = \#renovaciones * V$$

$$\dot{V}_{total} = 3 \left[\frac{1}{h} \right] * 125 [m^3] = 375 \left[\frac{m^3}{h} \right] = 0,104 \left[\frac{m^3}{s} \right]$$

Usando software de selección de la marca Soler&Palau, se obtuvieron las opciones de blower disponibles a lo cual se seleccionó uno con las siguientes características:

Tabla 5

Características del blower marca Soler&Palau

Parámetro	Magnitud	Unidad
Velocidad	1400	<i>RPM</i>
Potencia	1/2	<i>HP</i>
Caudal	383	m^3/h

Nota. Información extraída de la ficha técnica del blower modelo BS-700 (Soler&Palau) disponible en el **Anexo A**. Tabla de elaboración propia.

3.2 Selección de diámetro de tubería

Siguiendo el método de la IGHSPA, suponemos un Numero de Reynolds de 10000 además de considerar las propiedades del aire a 40°C.

Tabla 6*Parámetros del fluido del medio*

Parámetro	Símbolo	Magnitud	Unidad
Flujo total	$\dot{V}_{total}$	0,106	m^3/s
Viscosidad cinemática	ν	0,00001702	m^2/s
Número de Reynolds (prueba)	Re	10000	-

Nota. Tabla de elaboración propia.

Así, empleamos la Ecuación 2:

$$Re = \frac{4\dot{V}}{\pi D_{int}' \nu} > 10000$$

$$D_{int}' < \frac{4\dot{V}}{\pi * \nu * Re} = \frac{4 * 0,106 \left[\frac{m^3}{s} \right]}{\pi * 0,00001702 \left[\frac{m^2}{s} \right] * 10000} = 0,795 \text{ m} \approx 31"$$

El diámetro máximo resulta ser de alrededor de 31", pero considerando que es para un sistema domiciliario y la disponibilidad del mercado nacional, se tomará una tubería flexible de polietileno de 3".

Tabla 7*Características de la tubería seleccionada*

Parámetro	Símbolo	Magnitud	Unidad
Diámetro interno real	D_{int}	0,09	m
Diámetro externo	D_{ext}	0,0986	m
Coefficiente de conducción (material)	k_t	0,4	W/mK

Nota. Tabla de elaboración propia.

3.3 Cálculo de longitud de tubería

Primeramente, se realiza el cálculo de la temperatura media logarítmica donde se introducen datos de temperaturas proyectadas y las temperaturas medidas del suelo.

Tabla 8*Temperaturas del intercambiador de calor*

Parámetro	Símbolo	Magnitud	Unidad
Temperatura de entrada	$T_{entrada}$	42,62	°C
Temperatura de salida	T_{salida}	33,62	°C

Nota. Esta tabla considera la temperatura máxima de la zona, registrada en la Tabla 1, además de la temperatura deseada a la salida (9°C menos). Tabla de elaboración propia.

Este cálculo se realiza con la Ecuación 6:

$$\Delta T_{ml} = \frac{T_{entrada} - T_{salida}}{\ln\left(\frac{T_{entrada} - T_s}{T_{salida} - T_s}\right)} = \frac{42,62 - 33,62}{\ln\left(\frac{42,62 - T_s}{33,62 - T_s}\right)}$$

La ecuación se resuelve para todos los niveles de suelo donde se considere al sistema de baja entalpía y se logre obtener la temperatura deseada.

Tabla 9*Temperaturas según el nivel de suelo*

Nivel de suelo	Temperatura promedio del suelo (°C)	Temperatura media logarítmica (°C)
0-1	32,4	4,23
1-2	31,2	5,80
2-3	30,92	6,14
3-4	31,3	5,68
4-5	31,95	4,85
5-6	33,3	2,66

Nota. Esta tabla muestra los valores de temperatura del suelo reemplazados en la Ecuación 6, asimismo muestra el resultado de temperatura media logarítmica para cada caso. Tabla de elaboración propia.

Por consiguiente, se emplean propiedades del aire a 40°C, temperatura cercana a la que ingresará el flujo, para proceder a calcular número de Reynolds, de Nusselt y coeficiente de convección.

Tabla 10*Parámetros de ventilación y propiedades del fluido*

Parámetro	Símbolo	Magnitud	Unidad
Flujo requerido total	$\dot{V}_{total}$	0,106	m^3/s
Viscosidad cinemática del aire	ν	0,00001702	m^2/s
Diámetro interno real	D_{int}	0,09	m
Diámetro externo	D_{ext}	0,0986	m
Conductividad térmica del aire	k_a	0,02662	W/mK
Densidad del aire	ρ	1,127	kg/m^3
Calor específico del aire	c_p	1007	J/kgK
Numero de Prandtl del aire	Pr	0,7255	-
Conductividad térmica (material)	k_t	0,4	W/mk

Nota. Propiedades del aire extraídas del libro (Cengel & Boles, 2019). Tabla de elaboración propia.

Primero, el número de Reynolds con la Ecuación 7:

$$Re = \frac{4\dot{V}}{\pi D_{int} \nu} = \frac{4(0,106)}{\pi(0,09)(0,00001702)} = 88430,96$$

Segundo, el número de Nusselt con la Ecuación 8:

$$Nu = 0.023Re^{4/5}Pr^{1/3} = 0,023(88430,96)^{4/5}(0,7255)^{1/3} = 187,308$$

Finalmente, el coeficiente de convección del aire con la Ecuación 9:

$$h = \frac{Nu * k_a}{D_i} = \frac{187,308 * 0,02662}{0,09} = 55,4 \frac{W}{m^2K}$$

Con toda la información y resultados se pueden calcular las longitudes recomendadas para cada nivel de suelo. Esto se logra con la Ecuación 5 despejando la expresión para la longitud (L).

$$\rho \dot{V} c_p \Delta T = \frac{\Delta T_{ml}}{\frac{1}{h\pi D_{int} L} + \frac{\ln\left(\frac{D_{ext}}{D_{int}}\right)}{2\pi L k_t}}$$

$$L = \frac{\rho \dot{V} c_p (T_{entrada} - T_{salida})}{\Delta T_{ml}} \left(\frac{1}{h \pi D_{int}} + \frac{\ln \left(\frac{D_{etx}}{D_{int}} \right)}{2 \pi k_t} \right)$$

Reemplazando valores se obtienen los resultados mostrados en la Tabla 10.

Tabla 11

Longitud de tubería necesaria del intercambiador a cada metro de suelo

Nivel de suelo	Longitud de intercambiador (m)
0-1	25,702
1-2	18,762
2-3	17,731
3-4	19,166
4-5	22,426
5-6	40,770

Nota. Tabla de elaboración propia

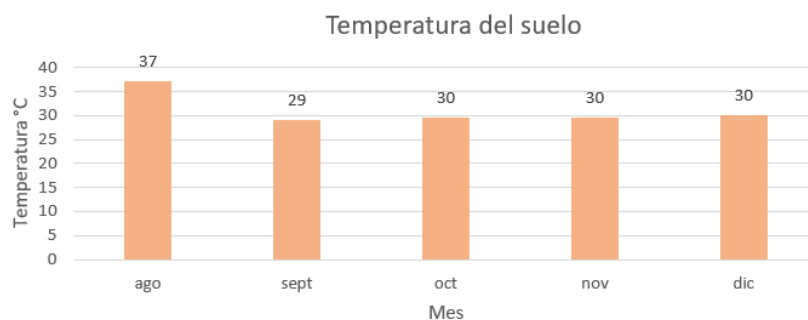
Para la construcción de los intercambiadores se tomará el valor más grande, siendo éste de unos 41 metros.

3.3 Análisis de datos para condiciones estratigráficas de simulación

Inicialmente con los datos brindados por parte del ITSON referente a temperaturas de las capas del suelo durante los meses de agosto a diciembre del año 2019, se realizó una comparativa de dichos meses identificando agosto como el mes con mayor promedio de temperatura en la capa superficial siendo este 37°C como se muestra en la figura 9.

Figura 9

Temperatura superficial del suelo por mes del 2019

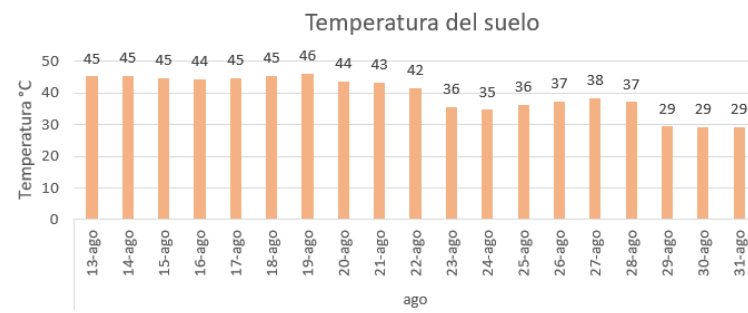


Nota: Esta gráfica muestra la temperatura promedio obtenida durante los últimos 5 meses del año 2019.

Así también se pudo identificar dentro del mes de agosto temperaturas que superaban los 40°C presentes durante 10 días consecutivos como se muestra en la figura 10, por lo que se procedió a utilizar el día 19 de agosto del año 2019 como la temperatura de suelo más alta para los parámetros de la simulación

Figura 10

Temperatura superficial máxima del suelo por día de agosto del año 2019

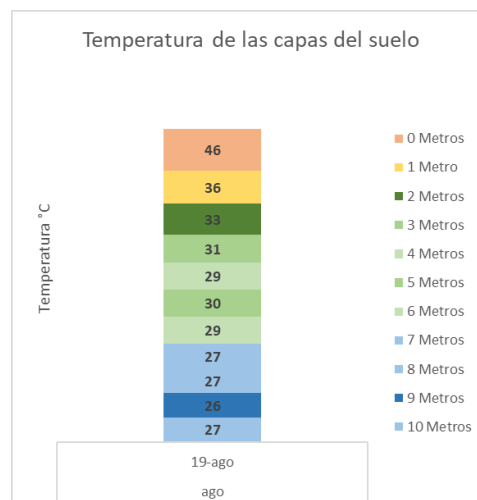


Nota: Se muestra las temperaturas máximas alcanzadas durante los últimos 18 días de agosto del año 2019.

Por lo que una vez identificado el día con mayor temperatura se realizó una segregación por horario, siendo el vespertino desde las 16:00 hasta 19:20 el rango de tiempo en el cual la temperatura del suelo era la más alta como se muestra en la figura 11, estos valores de temperatura del suelo serian nuestros parámetros para realizar la simulación de la capa estratigráfica para las condiciones más extremas de temperatura registradas.

Figura 11

Temperatura del suelo a distintas profundidades en el día más cálido



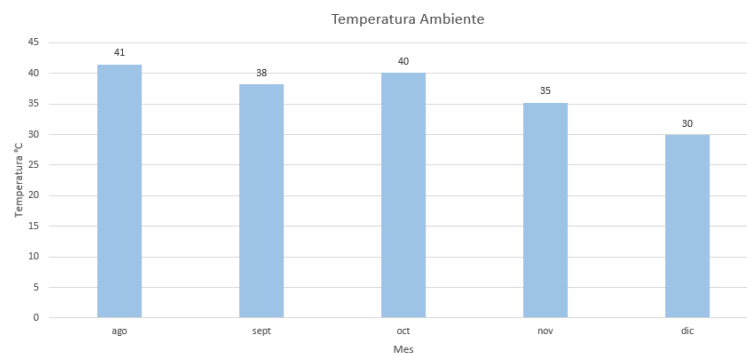
Nota: Se muestra las temperaturas medidas por el ITSON a distintas profundidades en el horario vespertino.

3.4 Análisis de datos para condiciones ambientales

Con los datos obtenidos por las mediciones realizadas por el ITSON se pudo obtener la temperatura ambiente durante los últimos 5 meses del año 2019 donde se observó que el mes con promedio más alto de temperatura es agosto, como se puede observar en la Figura 12.

Figura 12

Temperatura ambiente por mes del año 2019

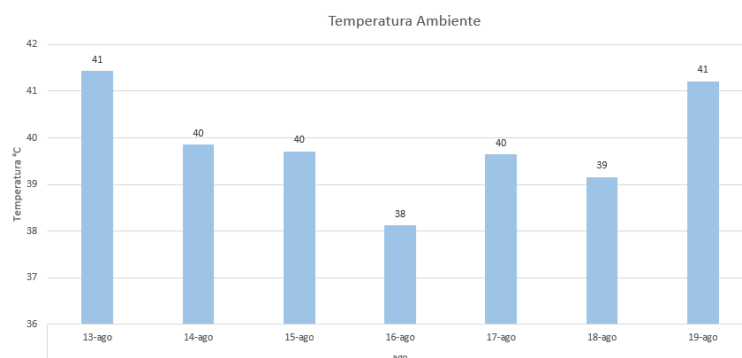


Nota: La figura muestra los datos de temperatura del año 2019 correspondiente a los últimos 5 meses.

Por lo tanto, al identificar el mes con temperatura ambiente promedio más alta, se realizó la segregación de los días más calientes para que sea utilizado como condición de la simulación. En la Figura 13 se muestra que la temperatura alcanzada durante los días 19 y 13 de agosto superan los 40°C.

Figura 13

Temperatura ambiente por día de agosto del año 2019



Nota: Se presenta los promedios de temperaturas alcanzados en el mes de agosto del 2019 durante los días entre el 13 y 19.

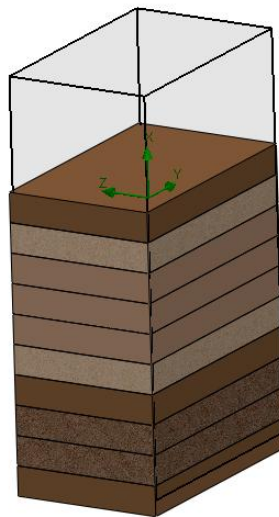
Estos datos de temperatura sirven para identificar el peor escenario en el que trabajará el sistema diseñado, siendo éste el 19 de agosto para el cual se consideraran todas las condiciones meteorológicas y de suelo.

3.4 Simulación de la columna estratigráfica

La simulación se realizó mediante una división de las capas del suelo con separación de 1 metro entre cada nivel, obteniendo 10 niveles de estudio, por lo que para cada capa de suelo se colocó sus propiedades detalladas en la Tabla 2. Así también se realizó una configuración de condiciones del sólido, radiación en base a la temperatura, velocidad del viento y humedad.

Figura 14

Modelo de simulación de capas del suelo definido con condiciones de frontera

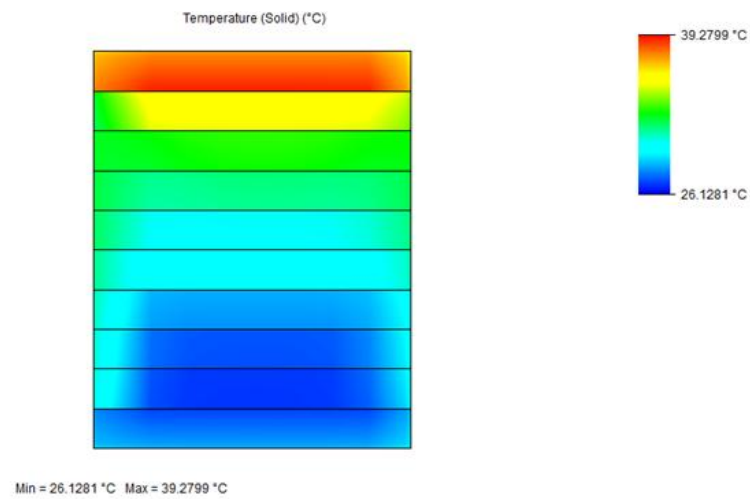


Nota: La figura muestra el sólido creado en el software de simulación.

La simulación se corrió para 86400 segundos en iteraciones de 600 segundos para que se muestren los datos de 1 día en intervalos de 10 minutos, al igual como se presentan las mediciones realizadas por ITSON (disponible en Anexo B). El perfil de temperatura resultante se muestra en la Figura 15, donde se logró observar que en la capa de suelo que va de 4 a 5 metros hay una temperatura cercana a los 29°C, que se puede aprovechar para colocar el intercambiador.

Figura 15

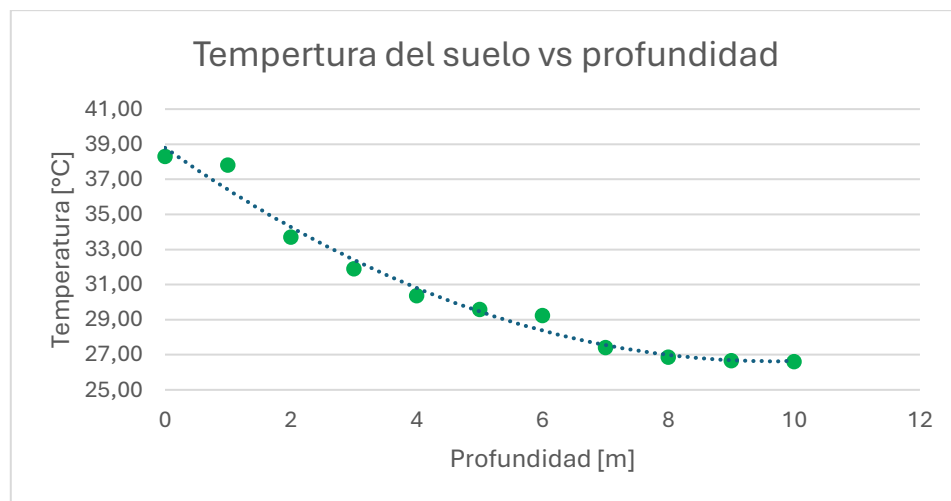
Simulación del perfil de temperatura del suelo



Nota. La simulación se realiza colocando 10 bloques de 1 metro de alto, cada uno tomando las propiedades descritas en la Tabla 2 y las temperaturas promedio mostradas en la Figura 7.

Figura 16

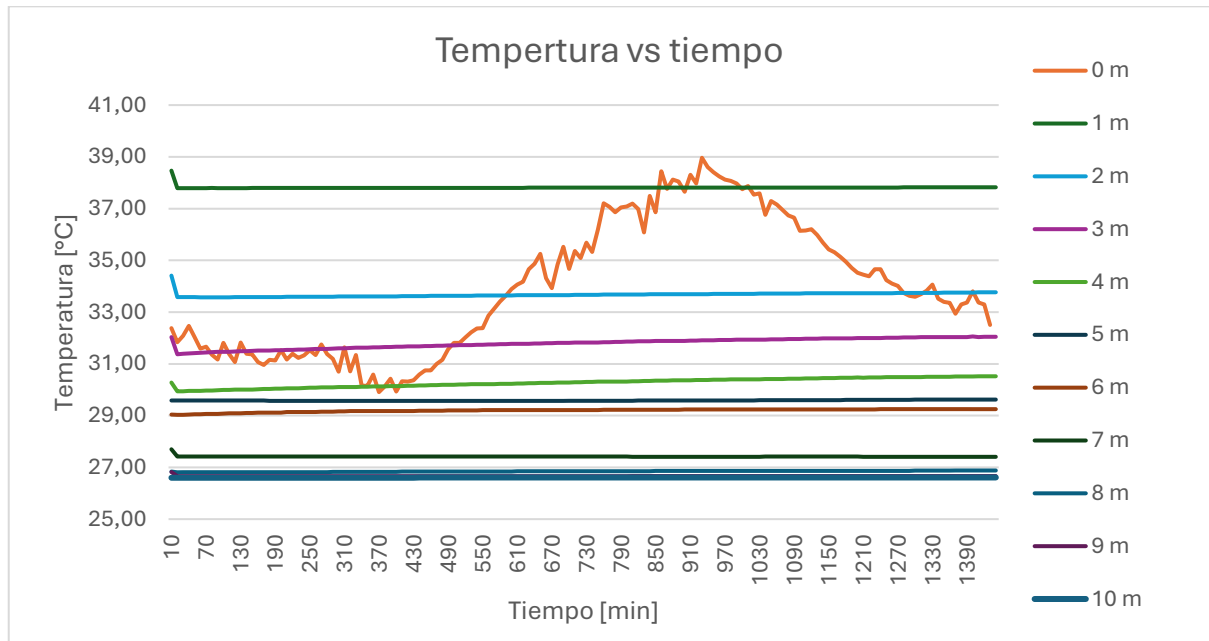
Temperatura del suelo resultante de la simulación, según la profundidad.



Nota. Se muestra la distribución de temperaturas por metro de suelo en el momento más cálido del día simulado.

Figura 17

Variación de la temperatura por cada metro de profundidad



Nota. Los datos se encuentran disponibles en el **Anexo C**.

Con los valores obtenidos, se realizó la comparación entre los resultados de la simulación y las mediciones hechas por ITSON, mediante el cálculo de los parámetros Bias y RMSE tomando los datos del momento más caliente del día estudiado que resulta ser a las 15H07. Se usan las siguientes ecuaciones para calcular estos parámetros estadísticos:

$$Bias = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y'_i - y_i)$$
$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y'_i - y_i)^2}$$

, donde:

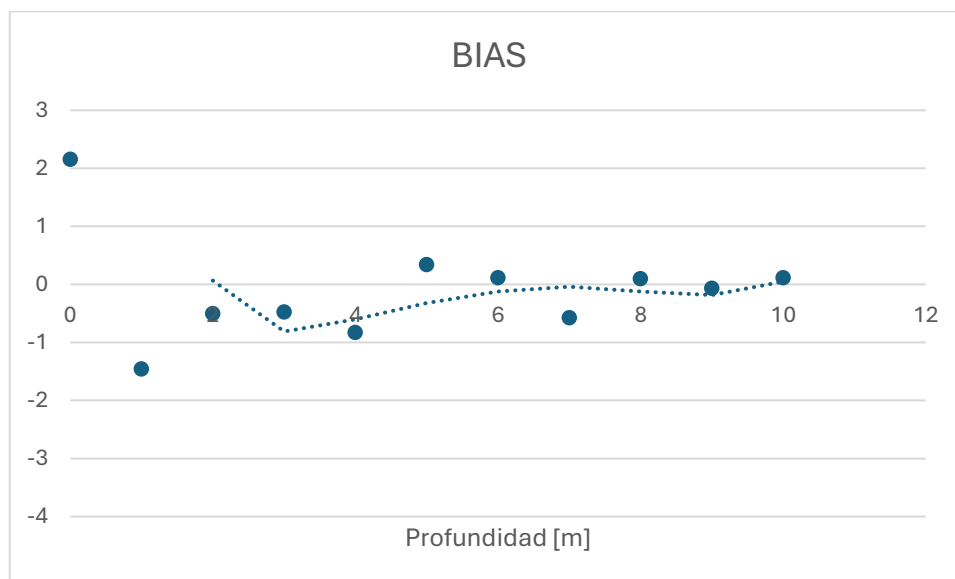
n: número total de datos

y'_i : valor simulado

y_i : valor real

Figura 18

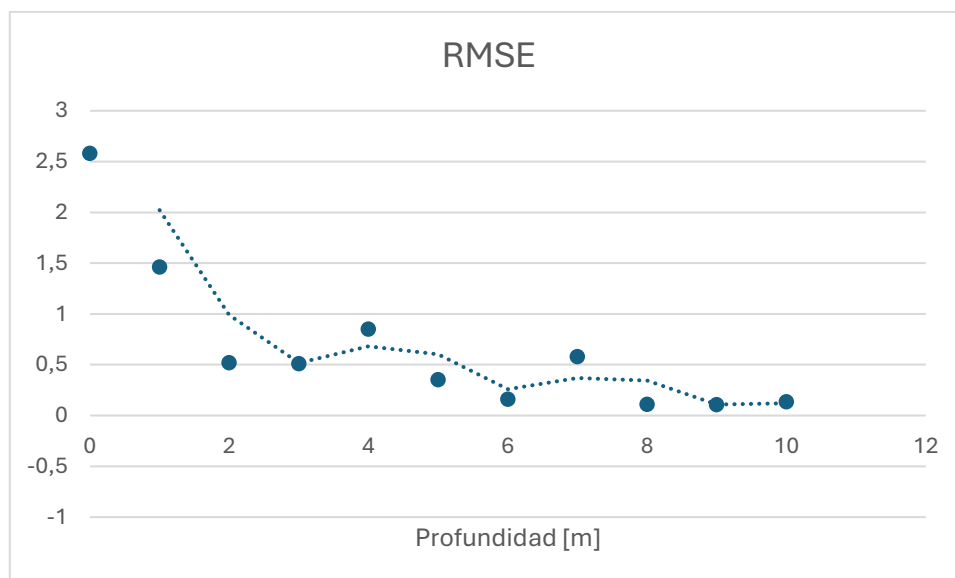
Valores de Bias de los datos en el momento más cálido del día



Nota. Esta grafica estima el error sistemático que puede presentar pares de datos, lo más recomendable es que se obtengan valores entre -1 y 1.

Figura 19

Valores de RMSE en el momento más cálido del día



Nota. Esta grafica muestra la magnitud de error presente entre un par de datos, es recomendable obtener valores entre 0 y 1.

En la Figura 18 y la Figura 19 se muestran valores cercanos a 0 no muy fluctuantes, lo que asegura que el modelo realizado simula con bastante precisión las condiciones reales de la capa estratigráfica del suelo, por lo que ya se puede incluir a los intercambiadores en la operación.

Por otro lado, visualizando la Figura 16 se evidencia que a partir de los 5 y 6 metros de profundidad la temperatura comienza a estabilizarse por lo que, al considerar el costo-beneficio se opta por simular los intercambiadores en esas capas de suelo

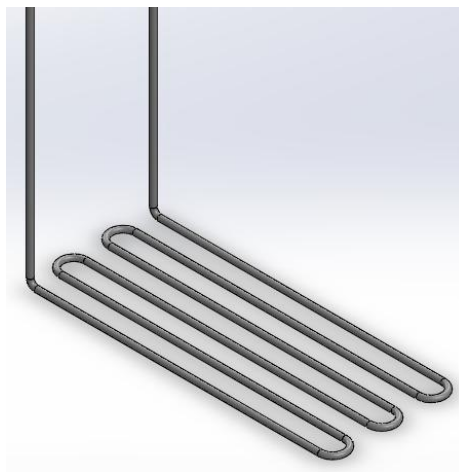
3.5 Simulación del intercambiador de calor aire-tierra

3.5.1 Intercambiador de calor convencional

Este intercambiador se construyó considerando los 41 m de tubería necesarios, que se calcularon anteriormente, de manera que se dispuso que el tramo largo sea de 6.5 metros con una separación de 50 centímetros entre las tuberías en paralelo, como se muestra en la Figura 20. Cabe destacar que el área que cubre el intercambiador es de 16.25 m^2 .

Figura 20

Modelo en CAD del intercambiador de calor normal

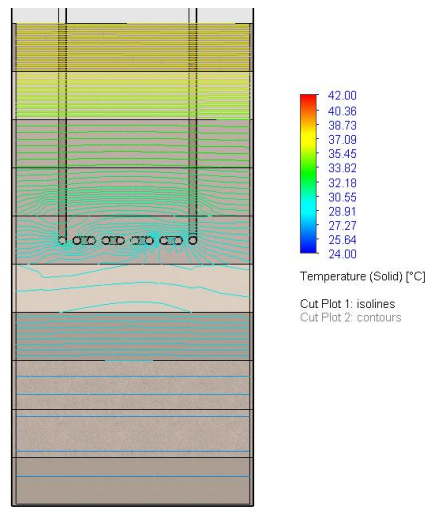


Nota. El plano del intercambiador se encuentra disponible en el **Anexo D**.

Al colocar el intercambiador en las capas subterráneas del suelo, se configuró el ingreso del flujo del aire por una de las tuberías con un caudal de $0.106 \text{ m}^3/\text{s}$ y a la misma temperatura que el ambiente. Por otro lado, al intercambiador se lo probó tanto en la 5ta como en la 6ta capa de suelo, las cuales están localizadas a 4.5 metros y 5.5 metros de profundidad, respectivamente.

Figura 21

Simulación del intercambiador normal enterrado

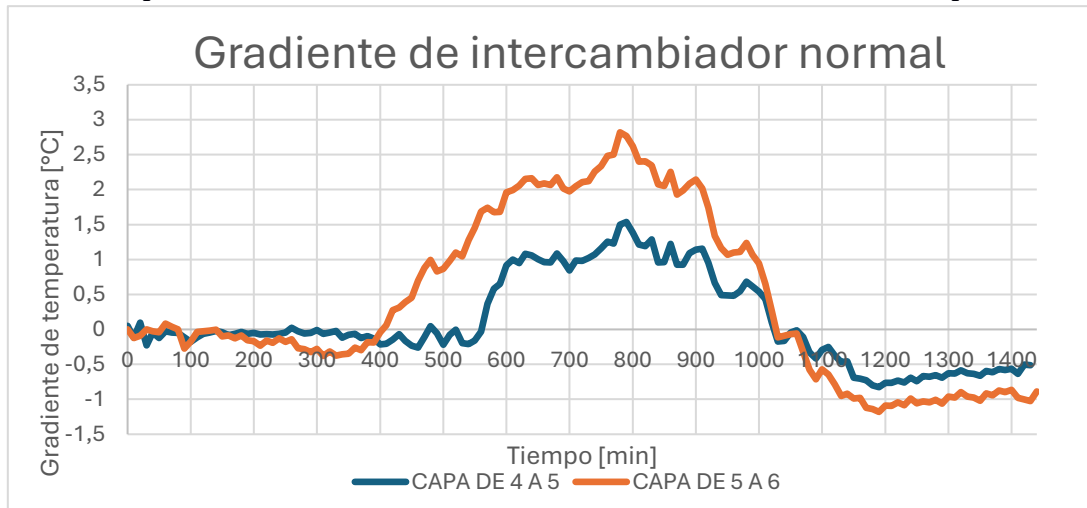


Nota. Vista de corte del perfil de temperatura en la simulación fluidodinámica.

En la Figura 22 se muestra el gradiente de temperatura obtenido para el intercambiador normal a partir de la simulación realizada entre las capas de 4 a 5 metros y de 5 a 6 metros de profundidad. Se puede observar que el gradiente de temperatura entre la capa 4 a 5 alcanza un pico máximo de 1.53°C de reducción de temperatura, mientras que, al aumentar 1 metro de profundidad, el gradiente de temperatura aumenta notablemente hasta llegar a un gradiente de 2.60°C. El intercambiador cumple la función de disminuir la temperatura aproximadamente desde el minuto 500 hasta el minuto 1050, mientras que antes del minuto 500 y después del minuto 1000 el intercambiador cumple la función de añadir calor a la red, por lo que podría utilizarse como un sistema de calefacción.

Figura 22

Gradiente de temperatura resultantes del intercambiador normal en distintas capas del suelo



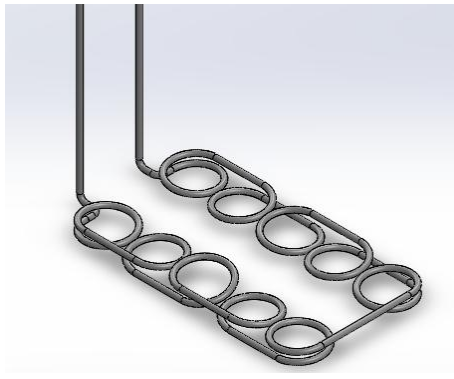
Nota. Los resultados se encuentran disponibles en el **Anexo E**.

3.5.2 Intercambiador tipo Slinky

Este intercambiador se construyó colocando 5 secciones de tubería enrollada a 1 vuelta de forma sucesiva, de 1 m de diámetro, repitiendo este proceso en 2 partes como se muestra en la Figura 23. Cabe destacar que el área que cubre este intercambiador es de 15 m^2 .

Figura 23

Modelo en CAD del intercambiador de calor tipo Slinky

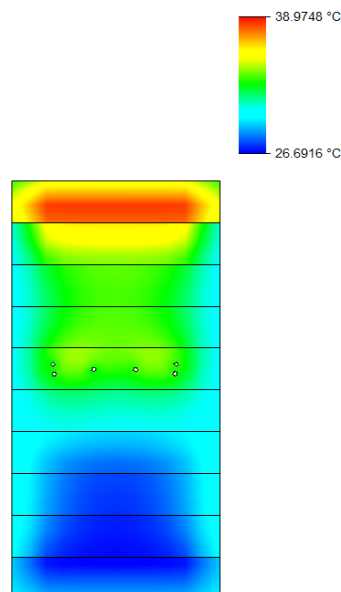


Nota. El plano del intercambiador se encuentra disponible en el **Anexo F**.

Se incluyó el modelo en la simulación de suelo y se configuró con los mismos parámetros de condiciones ambientales que el intercambiador normal. En la Figura 24 se muestra una vista de corte del perfil de temperatura con las tuberías del intercambiador a partir de la simulación realizada, donde se puede observar como las capas del suelo van adquiriendo una mayor temperatura debido a la transferencia de calor desde el fluido que va internamente por las tuberías hacia las capas del suelo.

Figura 24

Simulación del intercambiador Slinky enterrado

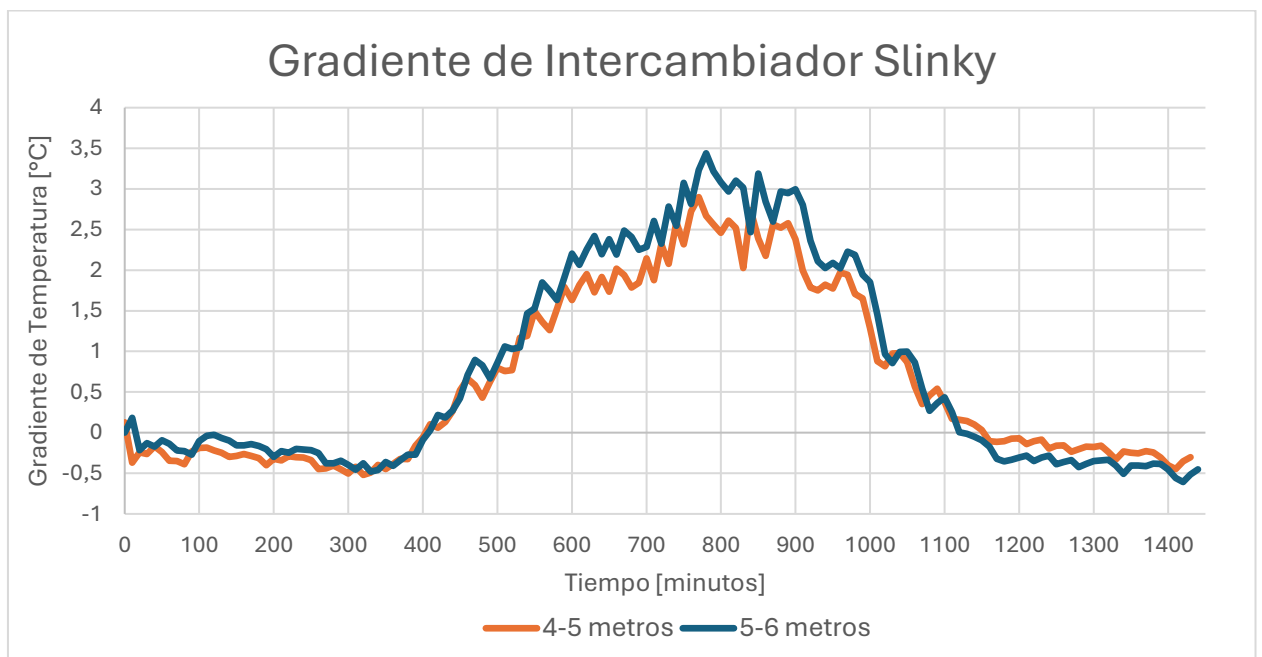


Nota. La figura muestra las 10 capas de suelo simuladas con una separación de 1 metro entre cada una, además del intercambiador Slinky posicionado en la capa entre 4 y 5 metros.

Se realizó una comparación de gradientes de temperatura del intercambiador Slinky el cual se colocó entre la capa de 4 a 5 metros y entre la capa de 5 a 6 metros como se puede observar en la Figura 25. El intercambiador Slinky alcanza un gradiente de temperatura máximo de 2.95°C en la capa de 4 a 5 metros, mientras que alcanza un gradiente de temperatura máximo de 3.5°C cuando está colocado entre la capa de 5 a 6 metros. Se puede observar que antes del minuto 400 y después del minuto 1150 ambos funcionarían como un sistema de apoyo de calefacción y entre ese tiempo funciona como un sistema de apoyo para reducir la temperatura.

Figura 25

Gradiente de temperatura del intercambiador Slinky en distintas capas del suelo



Nota. Los resultados se encuentran disponibles en el **Anexo G**.

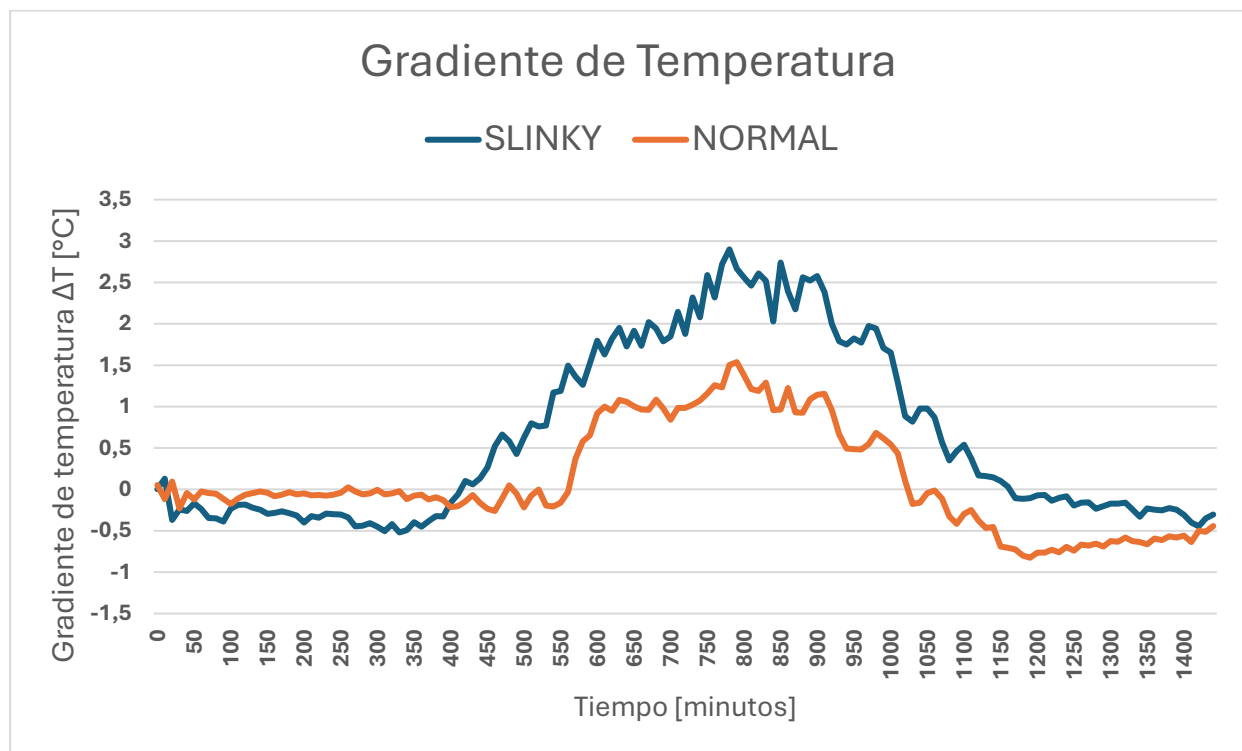
3.5.3 Comparación de rendimientos

Se considera que los resultados que llevan a una buena relación costo-beneficio se dan en la capa entre los 4 y 5 metros de profundidad, ya que el intercambiador normal obtiene un gradiente máximo de 2.60°C cuando se encuentra entre la capa de 5 a 6 mientras que en el intercambiador tipo Slinky se obtiene un gradiente máximo de 2.95°C entre la capa de 4 a 5, es decir a menor profundidad se obtuvo un mayor gradiente de temperatura con el intercambiador Slinky. En la Figura 26 se muestra el desempeño de ambos intercambiadores, el tipo Slinky cuenta con un 90%

de mayor gradiente de temperatura en comparación al intercambiador normal a la misma profundidad logrando una mayor reducción de temperatura ambiental. Adicional se muestra que en el intercambiador tipo Slinky tiene un gradiente positivo a partir del minuto 400 hasta el minuto 1160 lo que representaría las condiciones desde las 6:50AM hasta las 7:30PM brindando un aproximado de 12 horas de reducción en la temperatura en comparación con el intercambiador normal que tiene un gradiente positivo a partir del minuto 570 hasta el minuto 1030 lo que representaría las condiciones desde las 9:50AM hasta las 5:15PM obteniendo aproximadamente 7 horas de reducción en la temperatura ambiente, lo cual representa que el intercambiador Slinky nos brinda un 70% de mayor tiempo como sistema de apoyo en la reducción de temperatura ambiental en comparación con un intercambiador normal.

Figura 26

Gradiente de temperatura de los intercambiadores simulados en la capa 4-5 m



Nota. La figura muestra la diferencia entre temperatura de entrada y de salida durante todo el día más cálido en agosto del año 2019, de los intercambiadores colocados a 4.5 metros de profundidad.

3.6 Matriz de decisión

La selección del sistema más viable se realizó en la Tabla 12 por medio del método de decisión ponderada, considerando 4 aspectos fundamentales: económico, temperatura de salida, complejidad y área disponible de instalación.

- Económico: los materiales utilizados se consiguen en el mercado nacional y las cantidades llevan a un costo que un ciudadano puede asumir. **Ponderación:** 0.25
- Temperatura de salida: el flujo de aire a la salida ayudará a brindar confort térmico dentro de la vivienda. **Ponderación:** 0.35
- Complejidad: la instalación es rápida y cualquier técnico la puede realizar. **Ponderación:** 0.15
- Área disponible de instalación: el área requerida para instalar va de acuerdo con el área disponible a remover y optimiza el área de excavación. **Ponderación:** 0.25

Tabla 12

Matriz de decisión comparando los intercambiadores de calor

Alternativas	Rentabilidad económica (0.25)	Temperatura de salida (0.35)	Complejidad de montaje (0.15)	Área disponible de instalación (0.25)	Total
Intercambiador convencional	3	1	4	3	2,45
Intercambiador Slinky	3	3	3	4	3,25

Nota. Tabla de elaboración propia.

A partir de esta valoración se decide seleccionar el intercambiador tipo Slinky, ya que es el que tiene mejor desempeño y ocupa menor área.

3.7 Lista de materiales

Los materiales y equipos necesarios para implementar el sistema de baja entalpía se detallan en la Tabla 13, teniendo en cuenta que son recomendaciones dadas que pueden variar según la disponibilidad del mercado mexicano.

Tabla 13

Materiales necesarios para la construcción del sistema de baja entalpía.

Material	Modelo	Cantidad
Tubo laminado de HDPE de 3"	PN8	60 METROS
Extractor blower Soler&Palau	BS-700	1 UNIDAD
Unida manejadora de inyección	Tol galvanizado	1 UNIDAD
Filtro lavable	Marco de aluminio	1 UNIDAD
Ductos flexibles de ventilación	Aluminio	-

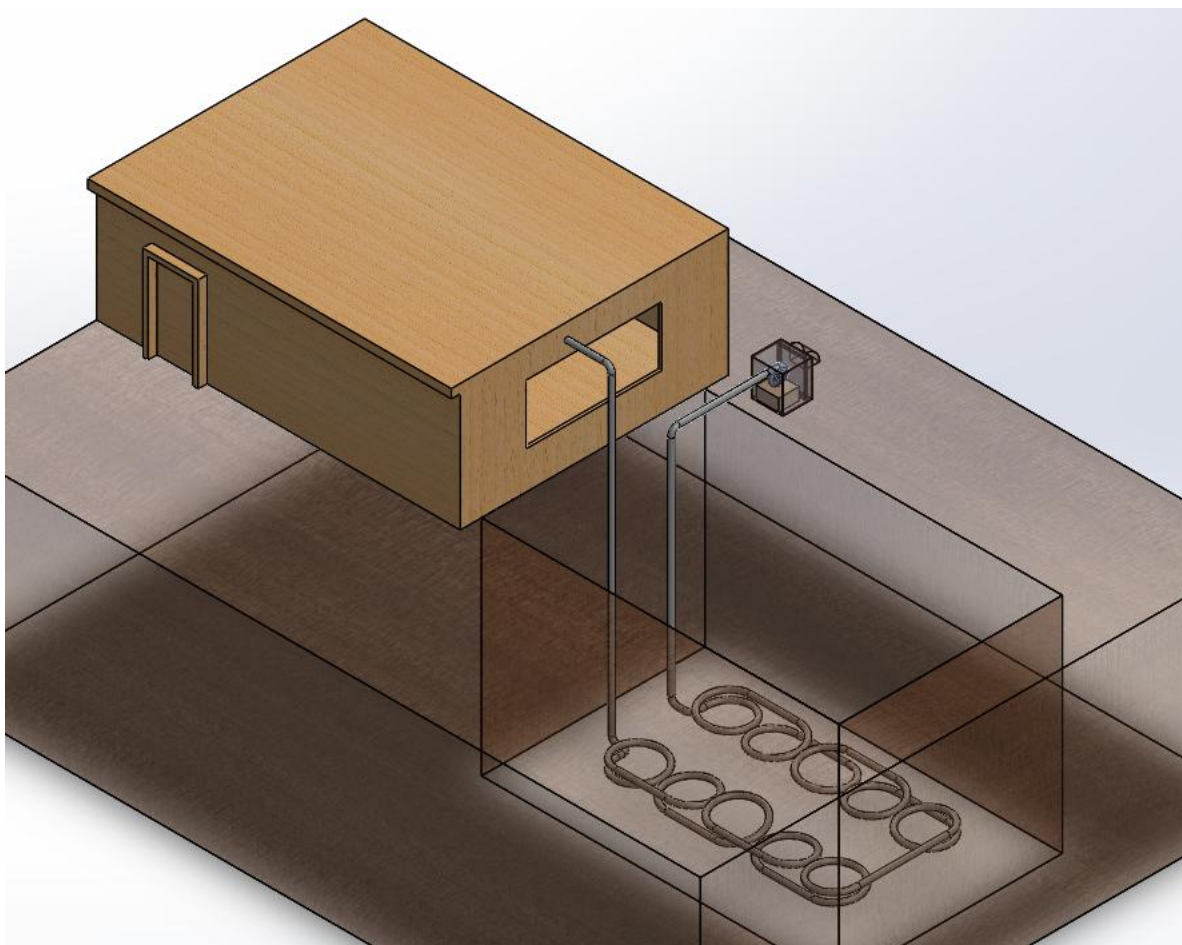
Nota. Tabla muestra los componentes necesarios para los procesos de inyección de aire, filtrado, intercambio de calor y distribución de flujo.

3.7 Instalación

En la figura 27 se puede observar un esquemático del sistema de baja entalpía instalado en el patio de la casa, mostrándose como un sistema de apoyo para la climatización de la habitación, el cual ingresa aire ambiente externo con la ayuda de un blower, luego pasa a través del intercambiador de calor tipo slinky y finalmente ingresa a la habitación.

Figura 27

Modelo de instalación del sistema de baja entalpía en la vivienda



Capítulo 4

4.1 Conclusiones y recomendaciones

4.1.1 Conclusiones

Luego de desarrollar el proceso de diseño, simulación y análisis del sistema de baja entalpia, se concluye que:

- En este trabajo se logró diseñar y dimensionar un sistema de apoyo para la climatización durante las horas más cálidas del día en las viviendas de interés social de la colonia Valle Dorado de Sonora, habiendo aprovechado la diferencia de temperatura que ofrece el subsuelo a 5 metros de profundidad, además del uso de equipos complementarios usados para sistemas de baja entalpia.
- La recopilación de información meteorológica y propiedades del suelo en la localidad fue primordial para obtener una simulación del comportamiento del perfil de temperatura del subsuelo hasta los 10 metros de profundidad con resultados confiables que se aproximan a la realidad, lo que se evidenció con el cálculo de error que se mantuvo cercano a 0 al comparar temperaturas por profundidad de suelo medidos y simulados.
- El sistema diseñado logra reducir la temperatura al interior de la vivienda en 2.95°C en el momento más cálido del día con ayuda de la inyección de aire de un blower por medio de un intercambiador de calor tipo Slinky enterrado, que ocupa 15 m^2 de espacio en el patio de la vivienda, y distribuye del aire en la vivienda por medio de ductos de ventilación flexibles.
- La simulación realizada permitió visualizar la implementación del sistema geotérmico considerando materiales, condiciones del entorno y dimensiones, lo que ayudó a demostrar que, al inyectar un fluido en las capas subterráneas del suelo, es posible bajar

su temperatura en las horas cálidas, dado que a mayor profundidad la temperatura baja continuamente hasta alrededor de los 8 metros donde se estabiliza.

4.1.2 Recomendaciones

Al finalizar con todas las fases planificadas en la propuesta, se presentan una serie de recomendaciones orientadas a mejorar la calidad del trabajo en futuras investigaciones:

- Al momento de realizar la instalación del sistema diseñado, es recomendable cumplir con las normas de seguridad para realizar la excavación ya que se necesitará de entibados para evitar que las capas del suelo afecten a las personas que están trabajando en la instalación.
- Este proyecto se centró en buscar un balance entre costo-beneficio por lo que se optó por optimizar materiales y área a remover, en proyectos futuros se podría utilizar nuevas tecnologías de materiales los cuales cuenten con mejores propiedades y permitan obtener mayores gradientes de temperatura.
- La futura investigación debe estar enfocada en la construcción del sistema de climatización integral y la validación en sitio de los parámetros simulados en este estudio.
- Para la instalación de abastecimiento de aire hacia el intercambiador se debe colocar después del blower una trampa de agua, para evitar el paso de agua y que se formen hongos que pueden causar malos olores o problemas respiratorios en el sistema.
- Al momento de darle la forma circular al slinky, se debe realizar amarres entre cada circunferencia para evitar que se deforme al momento de colocarlo en el fondo del terreno.

Referencias

- AIPRO. (2018). *Servicios Integrales de Ingeniería Industrial*. Obtenido de <https://iaipro.es/sistemas-de-aprovechamiento-geotermico-de-baja-entalpia-muy-baja-temperatura/>
- Aranda, A. (2024). *Modelación de un sistema sustentable para el aprovechamiento de la energía geotérmica de baja entalpía por medio de un intercambiador de calor tierra-aire*. Morelos, México: Universidad Autónoma del Estado de Morelos. Recuperado el 25 de Octubre de 2024, de <http://www.riaa.uaem.mx/xmlui/bitstream/handle/20.500.12055/4652/AAAARL08T.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- ASHRAE. (2019). *ASHRAE Handbook: Heating, Ventilating, and Air Conditioning Applications*. Atlanta: American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers.
- ATECYR. (2012). *Guía técnica de diseño de sistemas de bomba de calor geotérmica*. Madrid: IDAE. Recuperado el Noviembre de 2024, de https://www.idae.es/sites/default/files/documentos/publicaciones_idae/documentos_14_guia_tecnica_diseno_de_sistemas_de_intercambio_geotermico_de_circuito_cerrado_1a7cff37.pdf
- BBC News Mundo. (2021). La enorme dependencia mexicana del gas de EE.UU. que dejó al descubierto la tormenta invernal en Texas. *Apagones en México*. Recuperado el 26 de Octubre de 2024, de <https://www.bbc.com/mundo/noticias-america-latina-56106262>
- Beléndez Vasquéz, A. (2017). *Calor y Temperatura*. Universidad de Alicante.
- Cengel, Y. A., & Boles, M. A. (2019). *Thermodynamics: An Engineering Approach*. (Octava ed.). (A. L. Delgado, Ed., & V. G. Pozo, Trad.) Reno: McGraw-Hill Education.
- Centro Nacional de Prevención de Desastres. (2024). *Uso del aire acondicionado durante olas de calor*. México: Gobierno de México. Recuperado el 26 de Octubre de 2024, de <https://www.gob.mx/cenapred/articulos/uso-del-aire-acondicionado-durante-olas-de-calor>
- Contreras, G. (2024). Cajeme, Empalme y Navojoa rompen récord de temperaturas máximas para un 11 de junio. *Uniradio Informa*. Recuperado el 20 de Octubre de

- 2024, de <https://www.uniradiosonora.com/sociedad/cajeme-empalme-navojaro-rompen-record-temperaturas-maximas-11-junio-n753011>
- Cuevas Moreno, F. (2017). *Energía, cambio climático y desarrollo sostenible: los desafíos para América Latina*. México: CEPAL.
- DiPippo, R. (2012). *Geothermal Power Plants*. Oxford: Elsevier.
- EQ. (2024). *Intercambiadores de Calor*. Valparaíso: PUCV.
- Google. (s.f.). *Google Maps*. Recuperado el 18 de Noviembre de 2024, de <https://goo.gl/maps/mxDspdP1DNjLVtJB8>
- Hernández, E. (2024). Al año, se instalan más de un millón de equipos de aire acondicionado para hacerle frente al calor en México. *Forbes*. Recuperado el 26 de Octubre de 2024, de <https://forbes.com.mx/al-ano-se-instalan-mas-de-un-millon-de-equipos-de-aire-acondicionado-para-hacerle-frente-al-calor-en-mexico/>
- Iberdrola. (2024). *Energía Geotérmica: qué es, como funciona y ventajas*. Obtenido de <https://www.iberdrola.com/conocenos/nuestra-empresa/energias-renovables/energia-geotermica>
- IMCO. (2024). El Sistema Eléctrico Mexicano ante el crecimiento de la demanda y frente a un nuevo gobierno. Recuperado el 20 de Octubre de 2024, de <https://www.pv-magazine-mexico.com/2024/06/07/el-sistema-electrico-mexicano-ante-el-crecimiento-de-la-demanda-y-frente-a-un-nuevo-gobierno/>
- Incropera, F. P., DeWitt, D. P., Bergman, T. L., & Lavine, A. S. (2011). *Fundamentos de Transferencia de Calor*. Danvers: Wiley.
- INEGI. (2020). *Censo de Población y Vivienda 2020*. México: Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Recuperado el 15 de Octubre de 2024, de <https://www.inegi.org.mx/default.html>
- Jusaino, A. (2024). Tras el aumento de energía por temporada de calor, buscan que el servicio no sea suspendido. *Diario del Yaqui.Mx*. Recuperado el 25 de Octubre de 2024, de <https://diariodelyaqui.mx/ciudadobregon/llaman-a-evitar-apagones-electricos-en-cajeme/85873>
- Kakac, S., & Liu, H. (2002). *Heat Exchangers: Selection, Rating and Thermal Design*. Boca Raton: CRC Press.
- Lund, J. W., Freeston, D. H., & Boyd, T. L. (2011). Direct utilization of geothermal energy 2010 worldwide review. *Geothermics*, 8-19.

- Peralta, J. (2023). Study of Thermal Inertia in the Subsoil Adjacent to a Civil Engineering Laboratory for a Ground-Coupled Heat Exchanger. *Energies*, 16(23). doi:<https://doi.org/10.3390/en16237756>
- Ramos Vega, Y. L., & Torres Castro, B. C. (2023). *Evaluación de las propiedades y potencial térmico del suelo de baja entalpías por el método volumétrico para el futuro diseño de cimentaciones termoactivas en infraestructuras públicas y privadas en la provincia de Tacna*. Lima: Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas.
- REMAS. (s.f.). *Siafeson*. Recuperado el 18 de Noviembre de 2024, de <https://www.siafeson.com/remas/index.php/Consulta/estadisticas>
- Rionda, R. A. (2016). *Prospectiva de Energías Renovables 2016 - 2030*. Secretaria de Energía, Planeación e Información Energéticas, México. Recuperado el Octubre de 2024, de https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/177622/Prospectiva_de_Energ_as_Renovables_2016-2030.pdf
- SENER. (2021). *Confort Térmico*. Comisión Nacional para el Uso Eficiente de Energía. Gobierno de México. Recuperado el 26 de Octubre de 2024, de <https://www.gob.mx/conuee/documentos/acondicionamiento-de-espacios>
- SENER. (2021). *Demanda y consumo 2021 - 2035*. PRODESEN. Recuperado el 18 de Octubre de 2024, de https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/649612/PRODESEN_CAP_TULO-4.pdf
- SENER. (2023). *Balance Nacional de Energía*. Obtenido de https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/947752/BALANCE_NACIONAL_DE_ENERG_A_PRELIMINAR_2023.pdf
- Serway, R. A., & Jewett, J. W. (2014). *Physics for scientists and engineers with modern physics*. Boston: Brooks Cole.
- Soler&Palau. (s.f.). *5BS-700 - EXTRACTOR BLOWER BS-700 - Centrífugos*. Ficha técnica. Recuperado el 10 de Diciembre de 2024, de <https://easyvent.solerpalau.com/fan-info/0/5BS-700#technical>
- Systèmes, Dassault. (2020). *Solidworks*. Recuperado el 1 de Noviembre de 2024, de Conveccion: https://help.solidworks.com/2016/spanish/SolidWorks/cworks/c_Convection.htm?

format=P&value=#:~:text=La%20convecci%C3%B3n%20es%20el%20modo,mas
ivo%20del%20fluido%20(advecci%C3%B3n).

Urbano, N. (2023). Transición energética en México, retos y desafíos. *Revista LEX*, 6(22), 308 - 318. doi:<https://doi.org/10.33996/revistalex.v6i22.163>

Vallejo, J. (2019). Explosión de transformador deja tres estudiantes heridos. *Expreso*. Recuperado el 27 de Octubre de 2024, de <https://www.expreso.com.mx/noticias/sonora/explosion-de-transformador-deja-tres-estudiantes-heridos/70433>

Vega, J. C., & Ramirez, S. (2014). *Fuentes de Energía*. Mexico: Alfaomega.

Vielma Sossa, M. S. (2013). *DISEÑO E INTEGRACIÓN DE ENERGÍA GEOTÉRMICA DE BAJA ENTALPÍA APLICADA A PROYECTOS DE CONSTRUCCIÓN RESIDENCIAL*. Santiago de Chile: Universidad de Chile. Obtenido de https://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/113790/cf-vielma_ms.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Weather Spark. (2022). *El clima y el tiempo promedio en todo el año en Cd Obregon*. Obregon, México. Recuperado el Octubre de 2024, de <https://es.weatherspark.com/y/2961/Clima-promedio-en-Cd-Obregon-M%C3%A9xico-durante-todo-el-a%C3%B1o>

Young, H. D., & Freedman, R. A. (2013). *Física Universitaria*. México: Mc Graw Hill.

APÉNDICE

Anexo A. Blower seleccionado marca Soler&Palau



BS

5BS-700 - EXTRACTOR BLOWER BS-700 - CENTRÍFUGOS



Gama BS Ventiladores centrífugos, marca S&P, modelo EXTRACTOR BLOWER BS-700, con caudal 383 m³/h y presión 182 Pa. Rodetes balanceados dinámicamente, lo que reduce el ruido y evita vibraciones futuras, diseño compacto, debido a la unión del motor y rodete, brida en descarga, motor con rodamientos a bolas de engrase permanente, aislamiento clase "B", Protección IP-44 y protector térmico de rearme automático, acabado en pintura poliéster anticorrosiva.

Punto requerido

Caudal	375 m ³ /h
Presión Estática	175 Pa
Temperatura	20 °C
Altitud	0 m
Densidad	1,2 Kg / m ³
Frecuencia	60 Hz

Punto de trabajo

Caudal	383 m ³ /h
Presión estática	182 Pa
Presión dinámica	39,0 Pa
Presión total	221 Pa
Potencia motor	-
Tensión	-
Intensidad máxima (A)	-
Velocidad ventilador	1400 rpm

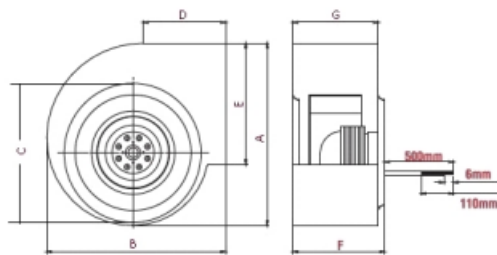
Construcción

Tamaño ventilador	180/075
Peso	4,00 kg

Características del motor

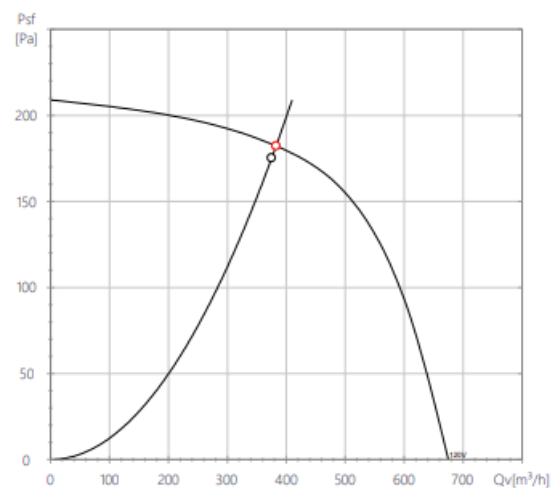
Índice de protección	IP44
Clase motor	B

Dimensiones (mm)



A	B	C	D	E	F	G
260	265	180	150	120	113	110

Curva



Características acústicas

	63	125	250	500	1k	2k	4k	8k	Total
Aspiración (LwA)	52	61	67	70	71	69	64	61	76
Aspiración LpA @ 1,5m	38	46	52	55	56	54	50	46	61

Anexo B. Datos medidos

Fecha y Hora	Temp. a 0 m [°C]	Temp. a 1 m [°C]	Temp. a 2 m [°C]	Temp. a 3 m [°C]	Temp. a 4 m [°C]	Temp. a 5 m [°C]	Temp. a 6 m [°C]	Temp. a 7 m [°C]	Temp. a 8 m [°C]	Temp. a 9 m [°C]	Temp. a 10 m [°C]
19/8/2019 0:07	42,48	36,44	33,18	31,15	29,37	29,96	29,37	26,90	26,90	26,60	26,70
19/8/2019 0:17	42,24	36,33	33,15	31,22	29,40	29,93	29,26	26,80	26,90	26,60	26,70
19/8/2019 0:27	42,28	36,30	33,04	31,26	29,37	30,00	29,26	26,80	26,90	26,50	26,70
19/8/2019 0:37	42,18	36,47	33,15	31,19	29,30	29,89	29,26	26,80	26,90	26,60	26,70
19/8/2019 0:47	42,14	36,30	33,15	31,19	29,33	30,00	29,33	26,80	26,90	26,50	26,70
19/8/2019 0:57	42,01	36,33	33,15	31,22	29,37	29,89	29,30	26,90	27,00	26,60	26,80
19/8/2019 1:07	41,77	36,26	33,08	31,05	29,30	29,93	29,30	26,80	26,90	26,60	26,70
19/8/2019 1:17	41,87	36,33	33,15	31,15	29,37	29,89	29,30	26,90	26,90	26,60	26,70
19/8/2019 1:27	41,67	36,40	33,08	31,22	29,40	29,86	29,30	26,90	27,00	26,60	26,70
19/8/2019 1:37	41,70	36,33	33,15	31,19	29,44	30,00	29,33	26,90	26,90	26,70	26,70
19/8/2019 1:47	41,70	36,37	33,18	31,29	29,47	29,96	29,40	26,80	26,90	26,60	26,70
19/8/2019 1:57	41,56	36,23	33,08	31,19	29,47	30,00	29,23	26,90	26,90	26,60	26,80
19/8/2019 2:07	41,39	36,26	33,11	31,22	29,47	29,93	29,26	26,80	26,90	26,60	26,70
19/8/2019 2:17	41,36	36,33	33,22	31,22	29,40	29,93	29,26	26,80	26,90	26,60	26,70
19/8/2019 2:27	41,29	36,33	33,18	31,22	29,51	29,96	29,40	26,90	27,00	26,60	26,70
19/8/2019 2:37	41,19	36,44	33,18	31,33	29,37	30,00	29,37	26,80	26,90	26,60	26,70
19/8/2019 2:47	41,09	36,30	33,11	31,15	29,33	29,93	29,23	26,80	27,00	26,60	26,70
19/8/2019 2:57	41,09	36,33	33,08	31,26	29,40	29,89	29,40	26,80	27,00	26,60	26,70
19/8/2019 3:07	40,95	36,33	33,22	31,15	29,33	29,86	29,23	26,80	27,00	26,60	26,70
19/8/2019 3:17	40,99	36,40	33,11	31,22	29,40	30,00	29,26	26,90	27,00	26,60	26,70
19/8/2019 3:27	40,85	36,37	33,15	31,15	29,26	29,89	29,23	26,80	26,90	26,60	26,70
19/8/2019 3:37	40,92	36,33	33,25	31,29	29,37	29,96	29,44	26,90	27,00	26,60	26,80
19/8/2019 3:47	40,88	36,40	33,22	31,33	29,40	30,07	29,37	26,80	27,00	26,60	26,80
19/8/2019 3:57	40,71	36,33	33,18	31,22	29,37	29,96	29,26	26,80	26,90	26,60	26,70
19/8/2019 4:07	40,68	36,33	33,18	31,26	29,37	29,96	29,30	26,80	27,00	26,60	26,80
19/8/2019 4:17	40,54	36,37	33,18	31,26	29,37	29,89	29,40	26,90	26,90	26,60	26,70
19/8/2019 4:27	40,58	36,44	33,22	31,26	29,33	29,93	29,30	26,80	26,90	26,70	26,70
19/8/2019 4:37	40,00	36,44	33,22	31,29	29,44	30,03	29,33	26,90	26,90	26,60	26,70

19/8/2019 4:47	40,58	36,40	33,29	31,36	29,44	30,03	29,37	26,90	27,00	26,60	26,80
19/8/2019 4:57	40,31	36,37	33,11	31,22	29,40	29,93	29,26	26,90	27,00	26,70	26,80
19/8/2019 5:07	40,31	36,37	33,22	31,15	29,37	29,93	29,26	26,90	26,90	26,60	26,70
19/8/2019 5:17	40,34	36,44	33,18	31,22	29,37	30,00	29,37	26,90	27,00	26,60	26,70
19/8/2019 5:27	40,27	36,47	33,15	31,29	29,47	29,89	29,33	26,90	27,00	26,60	26,80
19/8/2019 5:37	40,14	36,40	33,18	31,26	29,40	29,89	29,30	26,90	26,90	26,70	26,70
19/8/2019 5:47	40,07	36,40	33,11	31,29	29,37	30,00	29,33	26,90	26,90	26,60	26,70
19/8/2019 5:57	40,10	36,44	33,32	31,33	29,37	29,96	29,40	26,80	27,00	26,60	26,80
19/8/2019 6:07	39,90	36,26	33,15	31,19	29,30	29,96	29,30	26,90	27,00	26,70	26,80
19/8/2019 6:17	39,93	36,47	33,36	31,26	29,40	30,14	29,33	26,90	27,00	26,70	26,70
19/8/2019 6:27	39,90	36,37	33,15	31,26	29,44	29,96	29,33	26,90	27,00	26,60	26,80
19/8/2019 6:37	39,80	36,33	33,11	31,15	29,37	29,93	29,33	26,80	27,00	26,60	26,80
19/8/2019 6:47	39,83	36,40	33,15	31,22	29,44	29,96	29,30	26,80	27,00	26,70	26,80
19/8/2019 6:57	39,69	36,40	33,18	31,19	29,37	30,00	29,40	26,80	27,00	26,60	26,80
19/8/2019 7:07	39,69	36,40	33,11	31,22	29,40	29,96	29,37	26,90	27,00	26,60	26,80
19/8/2019 7:17	39,66	36,26	33,18	31,26	28,91	30,00	29,33	26,90	26,90	26,60	26,80
19/8/2019 7:27	39,59	36,47	33,18	31,33	29,47	30,03	29,30	26,90	27,00	26,60	26,80
19/8/2019 7:37	39,52	36,47	33,18	31,22	29,37	29,89	29,40	26,90	26,90	26,60	26,80
19/8/2019 7:47	39,52	36,37	33,22	31,33	29,40	29,93	29,37	26,90	26,90	26,70	26,80
19/8/2019 7:57	39,46	36,47	33,18	31,22	29,40	30,10	29,30	26,80	27,00	26,60	26,80
19/8/2019 8:07	39,49	36,51	33,29	31,29	29,47	30,00	29,40	26,80	26,90	26,70	26,80
19/8/2019 8:17	39,39	36,33	33,15	31,33	29,30	30,00	29,33	26,80	26,90	26,60	26,80
19/8/2019 8:27	39,46	36,37	33,15	31,33	29,30	29,93	29,37	26,90	27,00	26,70	26,80
19/8/2019 8:37	39,25	36,30	33,11	31,19	29,26	29,86	29,19	26,80	26,90	26,70	26,80
19/8/2019 8:47	39,32	36,40	33,15	31,19	29,44	30,03	29,30	26,90	26,90	26,70	26,80
19/8/2019 8:57	39,29	36,44	33,18	31,29	29,40	30,03	29,40	26,90	27,00	26,70	26,80
19/8/2019 9:07	39,35	36,51	33,15	31,33	29,47	29,93	29,40	26,90	27,00	26,70	26,80
19/8/2019 9:17	39,32	36,37	33,18	31,12	29,33	29,93	29,26	26,90	26,90	26,70	26,80
19/8/2019 9:27	39,29	36,33	33,15	31,19	29,37	29,93	29,30	26,90	27,00	26,70	26,80
19/8/2019 9:37	39,39	36,40	33,15	31,26	29,40	29,86	29,37	26,80	26,90	26,70	26,70
19/8/2019 9:47	39,49	36,37	33,11	31,19	29,33	29,96	29,37	26,80	26,90	26,70	26,80

19/8/2019 9:57	39,66	36,40	33,18	31,29	29,26	29,96	29,33	26,80	27,00	26,60	26,70
19/8/2019 10:07	39,52	36,40	33,18	31,36	29,44	30,00	29,19	26,90	26,90	26,70	26,70
19/8/2019 10:17	39,66	36,26	33,08	31,19	29,40	29,86	29,30	26,80	26,90	26,60	26,70
19/8/2019 10:27	39,73	36,33	33,15	31,26	29,44	29,93	29,33	26,80	26,90	26,70	26,70
19/8/2019 10:37	39,86	36,26	33,18	31,26	29,26	29,89	29,23	26,90	26,90	26,60	26,80
19/8/2019 10:47	39,93	36,33	33,18	31,19	29,40	29,89	29,16	26,80	26,90	26,60	26,80
19/8/2019 10:57	40,20	36,26	33,25	31,26	29,47	29,89	29,37	26,90	26,90	26,70	26,80
19/8/2019 11:07	40,17	36,37	33,11	31,33	29,44	29,93	29,26	26,80	27,00	26,60	26,70
19/8/2019 11:17	40,31	36,30	33,29	31,12	29,37	30,00	29,26	26,80	26,90	26,60	26,80
19/8/2019 11:27	40,51	36,37	33,15	31,19	29,30	29,93	29,30	26,80	26,90	26,60	26,70
19/8/2019 11:37	40,68	36,33	33,04	31,15	29,26	29,79	29,33	26,90	26,90	26,60	26,70
19/8/2019 11:47	40,85	36,47	33,15	31,22	29,40	29,89	29,30	26,80	26,90	26,60	26,70
19/8/2019 11:57	41,05	36,40	33,08	31,26	28,81	29,86	29,30	26,90	26,90	26,60	26,70
19/8/2019 12:07	41,09	36,30	33,15	31,15	29,26	29,82	29,12	26,90	27,00	26,60	26,70
19/8/2019 12:17	41,33	36,26	33,18	31,22	29,37	29,96	29,19	26,80	26,90	26,60	26,70
19/8/2019 12:27	41,56	36,37	33,15	31,19	29,33	29,86	29,33	26,80	26,90	26,60	26,70
19/8/2019 12:37	41,63	36,37	33,18	31,26	29,44	29,93	29,33	26,90	26,90	26,50	26,60
19/8/2019 12:47	41,90	36,30	33,18	31,15	28,88	29,72	29,23	26,80	26,90	26,50	26,60
19/8/2019 12:57	42,04	36,33	33,01	31,12	29,33	29,79	29,16	26,90	26,90	26,50	26,60
19/8/2019 13:07	42,28	36,33	33,11	31,12	29,33	29,82	29,19	26,80	26,90	26,50	26,70
19/8/2019 13:17	42,52	36,23	32,97	31,05	29,19	29,79	29,19	26,80	26,90	26,50	26,60
19/8/2019 13:27	42,75	36,26	33,15	31,12	29,33	29,89	29,16	26,90	26,90	26,50	26,60
19/8/2019 13:37	42,86	36,23	33,08	31,01	29,26	29,75	29,19	26,80	26,90	26,50	26,60
19/8/2019 13:47	43,03	36,33	32,55	31,22	29,33	29,82	29,16	26,80	26,90	26,50	26,60
19/8/2019 13:57	43,20	36,30	32,90	31,01	29,23	29,79	29,05	26,80	26,90	26,40	26,60
19/8/2019 14:07	43,47	36,30	33,01	31,08	29,33	29,82	29,26	26,80	26,90	26,40	26,60
19/8/2019 14:17	43,60	36,30	33,01	31,01	29,19	29,79	29,12	26,80	26,90	26,50	26,60
19/8/2019 14:27	43,77	36,30	33,08	31,12	29,33	29,82	29,16	26,80	26,90	26,40	26,60
19/8/2019 14:37	43,84	36,30	32,97	31,12	29,26	29,79	29,16	26,80	26,90	26,50	26,60
19/8/2019 14:47	44,11	36,33	33,08	31,15	29,26	29,93	29,26	26,80	26,90	26,40	26,60
19/8/2019 14:57	44,25	36,19	33,01	31,15	29,23	29,65	29,05	26,80	26,90	26,40	26,50

19/8/2019 15:07	44,39	36,19	32,90	31,05	29,12	29,68	29,12	26,80	26,90	26,40	26,60
19/8/2019 15:17	44,59	36,26	32,97	31,05	29,26	29,82	29,05	26,80	26,90	26,40	26,60
19/8/2019 15:27	44,76	36,16	33,01	31,01	29,26	29,68	29,05	26,90	26,90	26,40	26,60
19/8/2019 15:37	44,96	36,30	32,97	31,01	29,23	29,86	29,02	26,80	26,90	26,40	26,50
19/8/2019 15:47	45,10	36,30	33,08	31,08	29,37	29,82	29,12	26,70	26,90	26,40	26,50
19/8/2019 15:57	45,17	36,30	33,04	31,01	29,19	29,65	29,09	26,80	26,90	26,40	26,60
19/8/2019 16:07	45,44	36,33	33,11	31,19	29,40	29,82	29,12	26,80	26,90	26,40	26,50
19/8/2019 16:17	45,47	36,30	33,15	31,08	29,19	29,82	29,16	26,80	26,90	26,40	26,50
19/8/2019 16:27	45,54	36,19	33,04	31,05	29,23	29,79	29,12	26,80	26,90	26,40	26,50
19/8/2019 16:37	45,61	36,33	32,97	31,15	29,30	29,79	29,05	26,80	26,90	26,40	26,50
19/8/2019 16:47	45,58	36,26	33,01	31,08	29,19	29,75	28,95	26,80	26,90	26,30	26,50
19/8/2019 16:57	45,71	36,30	33,04	31,08	29,23	29,79	29,12	26,80	26,90	26,40	26,60
19/8/2019 17:07	45,64	36,26	33,01	31,08	29,26	29,75	28,98	26,80	26,80	26,30	26,50
19/8/2019 17:17	45,81	36,23	33,04	31,12	29,30	29,79	29,09	26,80	26,90	26,40	26,50
19/8/2019 17:27	45,71	36,30	33,04	30,94	29,23	29,75	29,02	26,80	26,90	26,40	26,50
19/8/2019 17:37	45,81	36,33	33,04	31,01	29,26	29,86	29,16	26,80	26,90	26,40	26,50
19/8/2019 17:47	45,81	36,33	33,08	30,94	29,16	29,79	29,16	26,80	26,90	26,40	26,50
19/8/2019 17:57	46,02	36,23	33,04	31,12	29,26	29,79	29,09	26,80	26,90	26,30	26,50
19/8/2019 18:07	45,88	36,30	33,11	31,15	29,33	29,79	29,12	26,80	26,90	26,40	26,50
19/8/2019 18:17	45,75	36,33	33,04	31,01	29,23	29,79	29,12	26,80	26,90	26,40	26,50
19/8/2019 18:27	45,81	36,30	33,04	31,01	29,23	29,72	29,02	26,80	26,90	26,30	26,50
19/8/2019 18:37	45,71	36,26	32,97	31,05	29,23	29,75	29,09	26,80	26,90	26,40	26,60
19/8/2019 18:47	45,71	36,30	33,04	31,12	29,23	29,75	29,12	26,90	27,00	26,40	26,60
19/8/2019 18:57	45,61	36,23	32,97	31,05	29,23	29,82	29,05	26,80	26,90	26,40	26,60
19/8/2019 19:07	45,64	36,37	32,97	31,05	29,26	29,75	29,19	26,90	26,90	26,40	26,60
19/8/2019 19:17	45,58	36,40	32,97	31,12	29,23	29,82	29,16	26,80	26,90	26,40	26,60
19/8/2019 19:27	45,61	36,54	33,11	31,22	29,33	29,82	29,33	26,80	26,90	26,40	26,60
19/8/2019 19:37	45,30	36,23	33,11	31,05	29,23	29,75	29,19	26,80	26,90	26,40	26,60
19/8/2019 19:47	45,34	36,33	33,08	31,08	29,33	29,82	29,16	26,80	26,90	26,40	26,60
19/8/2019 19:57	45,34	36,37	33,25	31,15	29,30	29,86	29,09	26,80	26,90	26,40	26,60
19/8/2019 20:07	45,07	36,37	33,11	31,12	29,30	29,86	29,26	26,80	26,90	26,40	26,60

19/8/2019 20:17	44,96	36,30	33,04	31,12	29,30	29,86	29,16	26,90	26,90	26,40	26,60
19/8/2019 20:27	44,86	36,26	32,52	31,12	29,19	29,79	29,12	26,80	26,90	26,40	26,60
19/8/2019 20:37	44,83	36,37	33,04	31,22	29,30	29,86	29,23	26,80	26,90	26,40	26,60
19/8/2019 20:47	44,76	36,40	33,08	31,19	29,37	29,89	29,23	26,80	26,90	26,50	26,60
19/8/2019 20:57	44,56	36,26	33,11	31,08	29,26	29,75	29,23	26,80	26,90	26,40	26,60
19/8/2019 21:07	44,35	36,37	33,18	31,12	29,26	29,89	29,12	26,90	26,90	26,50	26,60
19/8/2019 21:17	44,49	36,37	33,11	31,12	29,33	29,82	29,23	26,80	26,90	26,50	26,60
19/8/2019 21:27	44,32	36,40	33,08	31,19	29,40	29,89	29,26	26,90	26,90	26,50	26,60
19/8/2019 21:37	44,22	36,33	33,11	31,12	29,33	29,86	29,19	26,80	26,90	26,40	26,60
19/8/2019 21:47	44,11	36,30	33,11	31,15	29,26	29,86	29,26	26,90	26,90	26,50	26,70
19/8/2019 21:57	43,98	36,44	33,25	31,22	29,37	29,82	29,23	26,80	26,90	26,50	26,60
19/8/2019 22:07	43,88	36,37	33,15	31,26	29,26	29,96	29,23	26,80	26,90	26,50	26,60
19/8/2019 22:17	43,81	36,40	33,22	31,15	29,44	29,93	29,19	26,80	26,90	26,50	26,70
19/8/2019 22:27	43,60	36,37	33,08	31,12	29,30	29,82	29,26	26,80	26,90	26,50	26,60
19/8/2019 22:37	43,50	36,33	33,11	31,08	29,30	29,82	29,16	26,80	26,90	26,50	26,60
19/8/2019 22:47	43,54	36,26	33,11	31,12	29,33	29,79	29,33	26,90	26,90	26,50	26,70
19/8/2019 22:57	43,37	36,30	33,08	31,22	29,40	30,00	29,23	26,90	27,00	26,50	26,70
19/8/2019 23:07	43,33	36,33	33,11	31,19	29,33	29,89	29,33	26,80	26,90	26,50	26,70
19/8/2019 23:17	43,23	36,37	33,22	31,26	29,44	29,93	29,33	26,90	26,90	26,50	26,70
19/8/2019 23:27	43,06	36,37	33,11	31,19	29,30	29,96	29,19	26,90	26,90	26,50	26,70
19/8/2019 23:37	42,99	36,37	33,18	31,15	29,37	29,89	29,26	26,80	26,90	26,50	26,70
19/8/2019 23:47	42,96	36,44	33,22	31,15	29,40	29,96	29,33	26,80	26,90	26,50	26,70
19/8/2019 23:57	42,92	36,33	33,15	31,22	29,37	29,86	29,26	26,90	26,90	26,60	26,70

Anexo C. Datos simulados

Fecha Hora	Temp. a 0 m [°C]	Temp. a 1 m [°C]	Temp. a 2 m [°C]	Temp. a 3 m [°C]	Temp. a 4 m [°C]	Temp. a 5 m [°C]	Temp. a 6 m [°C]	Temp. a 7 m [°C]	Temp. a 8 m [°C]	Temp. a 9 m [°C]	Temp. a 10 m [°C]
19/8/2019 0:07	32,38	38,47	34,41	32,03	30,28	29,58	29,04	27,70	26,84	26,82	26,60
19/8/2019 0:17	31,84	37,79	33,58	31,37	29,94	29,58	29,03	27,42	26,81	26,66	26,60
19/8/2019 0:27	32,09	37,79	33,58	31,39	29,94	29,58	29,03	27,42	26,82	26,66	26,60
19/8/2019 0:37	32,47	37,79	33,58	31,40	29,95	29,59	29,04	27,42	26,82	26,66	26,60
19/8/2019 0:47	32,03	37,79	33,58	31,41	29,95	29,59	29,05	27,42	26,82	26,66	26,60
19/8/2019 0:57	31,59	37,79	33,57	31,43	29,96	29,59	29,05	27,42	26,82	26,66	26,60
19/8/2019 1:07	31,66	37,79	33,57	31,44	29,97	29,58	29,06	27,42	26,82	26,66	26,60
19/8/2019 1:17	31,36	37,80	33,57	31,45	29,97	29,58	29,06	27,42	26,82	26,66	26,60
19/8/2019 1:27	31,17	37,79	33,57	31,46	29,98	29,58	29,07	27,42	26,82	26,66	26,60
19/8/2019 1:37	31,81	37,79	33,57	31,46	29,99	29,58	29,08	27,42	26,82	26,66	26,60
19/8/2019 1:47	31,38	37,79	33,57	31,47	29,99	29,58	29,09	27,42	26,82	26,66	26,60
19/8/2019 1:57	31,07	37,79	33,58	31,48	30,00	29,58	29,09	27,42	26,82	26,66	26,60
19/8/2019 2:07	31,83	37,79	33,58	31,49	30,00	29,58	29,09	27,42	26,82	26,66	26,60
19/8/2019 2:17	31,39	37,79	33,58	31,49	30,00	29,58	29,10	27,42	26,82	26,66	26,60
19/8/2019 2:27	31,37	37,80	33,58	31,50	30,01	29,58	29,10	27,42	26,82	26,66	26,60
19/8/2019 2:37	31,07	37,80	33,58	31,51	30,02	29,58	29,11	27,42	26,82	26,66	26,60
19/8/2019 2:47	30,96	37,80	33,58	31,51	30,03	29,58	29,11	27,42	26,82	26,66	26,60
19/8/2019 2:57	31,16	37,80	33,58	31,52	30,03	29,57	29,12	27,42	26,82	26,66	26,60
19/8/2019 3:07	31,13	37,80	33,58	31,53	30,04	29,57	29,12	27,42	26,82	26,66	26,60
19/8/2019 3:17	31,53	37,80	33,58	31,53	30,04	29,57	29,12	27,42	26,82	26,66	26,60
19/8/2019 3:27	31,17	37,80	33,59	31,54	30,05	29,57	29,13	27,42	26,82	26,66	26,60
19/8/2019 3:37	31,40	37,80	33,59	31,54	30,05	29,57	29,13	27,42	26,82	26,66	26,60
19/8/2019 3:47	31,24	37,80	33,59	31,55	30,06	29,57	29,13	27,42	26,82	26,66	26,60
19/8/2019 3:57	31,33	37,80	33,59	31,55	30,07	29,57	29,13	27,42	26,82	26,66	26,60
19/8/2019 4:07	31,53	37,80	33,59	31,57	30,08	29,57	29,14	27,42	26,82	26,66	26,60
19/8/2019 4:17	31,34	37,80	33,59	31,58	30,08	29,57	29,14	27,42	26,82	26,66	26,60
19/8/2019 4:27	31,75	37,80	33,60	31,58	30,09	29,57	29,15	27,42	26,82	26,66	26,60
19/8/2019 4:37	31,38	37,80	33,60	31,58	30,09	29,57	29,15	27,42	26,82	26,66	26,60

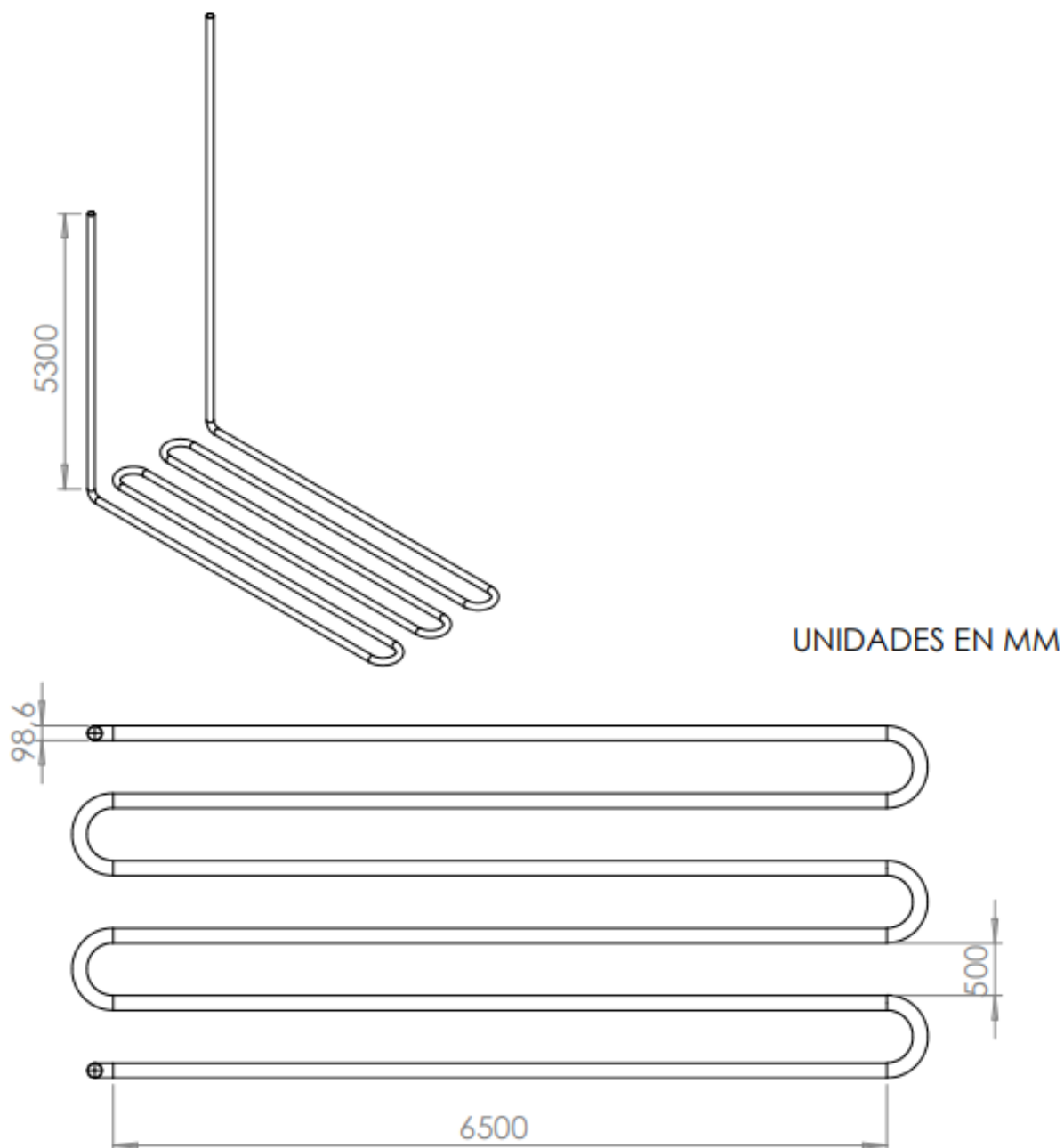
19/8/2019 4:47	31,20	37,80	33,60	31,59	30,09	29,57	29,15	27,42	26,83	26,66	26,60
19/8/2019 4:57	30,69	37,80	33,60	31,60	30,10	29,57	29,16	27,42	26,83	26,66	26,60
19/8/2019 5:07	31,64	37,80	33,60	31,60	30,10	29,57	29,16	27,42	26,83	26,66	26,60
19/8/2019 5:17	30,71	37,80	33,60	31,61	30,11	29,57	29,17	27,42	26,83	26,66	26,60
19/8/2019 5:27	31,35	37,80	33,61	31,62	30,11	29,57	29,17	27,42	26,83	26,66	26,60
19/8/2019 5:37	30,16	37,80	33,61	31,62	30,12	29,57	29,17	27,42	26,83	26,66	26,60
19/8/2019 5:47	30,15	37,80	33,61	31,63	30,12	29,57	29,17	27,42	26,83	26,66	26,60
19/8/2019 5:57	30,58	37,80	33,61	31,64	30,13	29,57	29,17	27,42	26,83	26,66	26,60
19/8/2019 6:07	29,91	37,80	33,61	31,64	30,13	29,57	29,17	27,42	26,83	26,66	26,60
19/8/2019 6:17	30,13	37,80	33,61	31,65	30,13	29,57	29,18	27,42	26,83	26,66	26,60
19/8/2019 6:27	30,43	37,80	33,61	31,65	30,14	29,57	29,18	27,42	26,83	26,66	26,60
19/8/2019 6:37	29,93	37,80	33,61	31,66	30,14	29,57	29,18	27,42	26,83	26,66	26,60
19/8/2019 6:47	30,33	37,80	33,62	31,66	30,14	29,57	29,18	27,42	26,84	26,66	26,60
19/8/2019 6:57	30,32	37,80	33,62	31,67	30,15	29,57	29,18	27,42	26,84	26,66	26,60
19/8/2019 7:07	30,36	37,80	33,62	31,68	30,16	29,57	29,18	27,42	26,84	26,66	26,60
19/8/2019 7:17	30,59	37,80	33,62	31,68	30,17	29,57	29,19	27,42	26,84	26,66	26,61
19/8/2019 7:27	30,75	37,80	33,62	31,69	30,17	29,57	29,19	27,42	26,84	26,66	26,61
19/8/2019 7:37	30,74	37,80	33,63	31,69	30,18	29,57	29,19	27,42	26,84	26,66	26,61
19/8/2019 7:47	30,99	37,80	33,63	31,70	30,18	29,57	29,19	27,42	26,84	26,66	26,61
19/8/2019 7:57	31,16	37,80	33,63	31,70	30,19	29,57	29,19	27,42	26,84	26,66	26,61
19/8/2019 8:07	31,57	37,80	33,63	31,71	30,19	29,57	29,20	27,42	26,84	26,66	26,61
19/8/2019 8:17	31,81	37,80	33,63	31,71	30,19	29,57	29,20	27,42	26,84	26,66	26,61
19/8/2019 8:27	31,81	37,80	33,63	31,72	30,20	29,57	29,20	27,42	26,84	26,66	26,61
19/8/2019 8:37	32,02	37,80	33,63	31,72	30,20	29,57	29,20	27,42	26,84	26,66	26,61
19/8/2019 8:47	32,22	37,80	33,63	31,73	30,21	29,57	29,20	27,42	26,84	26,66	26,61
19/8/2019 8:57	32,37	37,80	33,64	31,74	30,21	29,57	29,20	27,42	26,84	26,66	26,61
19/8/2019 9:07	32,38	37,80	33,64	31,74	30,22	29,57	29,21	27,42	26,84	26,66	26,61
19/8/2019 9:17	32,86	37,80	33,64	31,75	30,22	29,57	29,21	27,42	26,84	26,66	26,61
19/8/2019 9:27	33,13	37,80	33,64	31,75	30,22	29,57	29,21	27,42	26,84	26,66	26,61
19/8/2019 9:37	33,41	37,80	33,64	31,76	30,23	29,57	29,21	27,42	26,84	26,66	26,61
19/8/2019 9:47	33,63	37,80	33,64	31,76	30,23	29,57	29,21	27,42	26,84	26,66	26,61

19/8/2019 9:57	33,89	37,80	33,64	31,77	30,23	29,57	29,21	27,42	26,84	26,66	26,61
19/8/2019 10:07	34,06	37,80	33,65	31,77	30,24	29,57	29,21	27,42	26,85	26,66	26,61
19/8/2019 10:17	34,18	37,80	33,65	31,78	30,24	29,57	29,21	27,42	26,85	26,66	26,61
19/8/2019 10:27	34,65	37,81	33,65	31,78	30,25	29,57	29,21	27,42	26,85	26,66	26,61
19/8/2019 10:37	34,86	37,81	33,65	31,79	30,25	29,57	29,22	27,42	26,85	26,66	26,61
19/8/2019 10:47	35,25	37,81	33,65	31,79	30,27	29,57	29,22	27,42	26,85	26,66	26,61
19/8/2019 10:57	34,31	37,81	33,66	31,80	30,27	29,57	29,22	27,42	26,85	26,66	26,61
19/8/2019 11:07	33,93	37,81	33,66	31,80	30,27	29,57	29,22	27,42	26,85	26,66	26,61
19/8/2019 11:17	34,84	37,81	33,66	31,81	30,28	29,57	29,22	27,42	26,85	26,66	26,61
19/8/2019 11:27	35,53	37,81	33,66	31,81	30,28	29,57	29,22	27,42	26,85	26,66	26,61
19/8/2019 11:37	34,67	37,81	33,66	31,81	30,28	29,58	29,22	27,42	26,85	26,66	26,61
19/8/2019 11:47	35,37	37,81	33,67	31,82	30,29	29,58	29,22	27,42	26,85	26,66	26,61
19/8/2019 11:57	35,08	37,81	33,67	31,82	30,29	29,58	29,22	27,42	26,85	26,66	26,61
19/8/2019 12:07	35,69	37,81	33,67	31,82	30,30	29,58	29,22	27,42	26,85	26,66	26,61
19/8/2019 12:17	35,33	37,81	33,67	31,83	30,30	29,58	29,22	27,42	26,85	26,66	26,61
19/8/2019 12:27	36,19	37,81	33,67	31,83	30,31	29,58	29,22	27,42	26,85	26,66	26,61
19/8/2019 12:37	37,21	37,81	33,68	31,84	30,31	29,58	29,23	27,42	26,85	26,66	26,61
19/8/2019 12:47	37,06	37,81	33,68	31,84	30,31	29,58	29,23	27,42	26,85	26,66	26,61
19/8/2019 12:57	36,85	37,81	33,68	31,85	30,32	29,58	29,23	27,42	26,85	26,66	26,61
19/8/2019 13:07	37,04	37,81	33,68	31,85	30,32	29,58	29,23	27,42	26,85	26,66	26,61
19/8/2019 13:17	37,08	37,81	33,68	31,86	30,32	29,58	29,23	27,42	26,85	26,66	26,61
19/8/2019 13:27	37,20	37,81	33,68	31,86	30,33	29,58	29,23	27,41	26,85	26,67	26,61
19/8/2019 13:37	36,98	37,81	33,68	31,87	30,33	29,58	29,23	27,41	26,85	26,67	26,61
19/8/2019 13:47	36,08	37,81	33,68	31,87	30,34	29,58	29,23	27,41	26,85	26,67	26,61
19/8/2019 13:57	37,49	37,81	33,69	31,87	30,34	29,58	29,23	27,41	26,85	26,67	26,61
19/8/2019 14:07	36,86	37,81	33,69	31,88	30,35	29,58	29,23	27,41	26,86	26,67	26,61
19/8/2019 14:17	38,44	37,81	33,69	31,88	30,35	29,58	29,23	27,41	26,86	26,67	26,61
19/8/2019 14:27	37,77	37,81	33,70	31,88	30,35	29,58	29,23	27,41	26,86	26,67	26,61
19/8/2019 14:37	38,12	37,81	33,70	31,88	30,36	29,58	29,23	27,41	26,86	26,67	26,61
19/8/2019 14:47	38,05	37,81	33,70	31,89	30,36	29,58	29,23	27,41	26,86	26,67	26,61
19/8/2019 14:57	37,65	37,81	33,70	31,89	30,36	29,59	29,24	27,41	26,86	26,67	26,61

19/8/2019 15:07	38,30	37,81	33,70	31,90	30,37	29,59	29,24	27,41	26,86	26,67	26,61
19/8/2019 15:17	37,97	37,81	33,70	31,90	30,38	29,59	29,24	27,41	26,86	26,67	26,61
19/8/2019 15:27	38,96	37,81	33,70	31,91	30,38	29,59	29,24	27,41	26,86	26,67	26,61
19/8/2019 15:37	38,60	37,81	33,70	31,91	30,38	29,59	29,24	27,41	26,86	26,67	26,61
19/8/2019 15:47	38,40	37,81	33,71	31,91	30,39	29,59	29,24	27,41	26,86	26,67	26,61
19/8/2019 15:57	38,25	37,81	33,71	31,92	30,39	29,59	29,24	27,41	26,86	26,67	26,61
19/8/2019 16:07	38,12	37,81	33,71	31,92	30,39	29,59	29,24	27,41	26,86	26,67	26,61
19/8/2019 16:17	38,07	37,81	33,71	31,92	30,40	29,59	29,24	27,41	26,86	26,67	26,61
19/8/2019 16:27	37,97	37,81	33,71	31,93	30,40	29,59	29,24	27,41	26,86	26,67	26,61
19/8/2019 16:37	37,75	37,81	33,71	31,93	30,40	29,59	29,24	27,41	26,86	26,67	26,61
19/8/2019 16:47	37,88	37,81	33,71	31,93	30,41	29,59	29,24	27,41	26,86	26,67	26,61
19/8/2019 16:57	37,54	37,81	33,71	31,94	30,41	29,59	29,24	27,41	26,86	26,67	26,61
19/8/2019 17:07	37,59	37,81	33,72	31,94	30,41	29,60	29,24	27,41	26,86	26,67	26,61
19/8/2019 17:17	36,76	37,81	33,72	31,94	30,42	29,60	29,24	27,42	26,86	26,67	26,61
19/8/2019 17:27	37,30	37,81	33,72	31,95	30,42	29,60	29,24	27,42	26,86	26,67	26,61
19/8/2019 17:37	37,15	37,81	33,72	31,95	30,42	29,60	29,24	27,42	26,86	26,67	26,61
19/8/2019 17:47	36,94	37,81	33,72	31,95	30,42	29,60	29,24	27,42	26,86	26,67	26,61
19/8/2019 17:57	36,73	37,81	33,72	31,96	30,43	29,60	29,24	27,42	26,86	26,67	26,61
19/8/2019 18:07	36,65	37,81	33,72	31,96	30,43	29,60	29,24	27,42	26,86	26,67	26,61
19/8/2019 18:17	36,14	37,81	33,72	31,96	30,43	29,60	29,24	27,42	26,86	26,67	26,61
19/8/2019 18:27	36,15	37,81	33,72	31,97	30,44	29,60	29,24	27,42	26,86	26,67	26,61
19/8/2019 18:37	36,20	37,81	33,72	31,97	30,44	29,60	29,24	27,42	26,86	26,67	26,61
19/8/2019 18:47	35,98	37,81	33,72	31,97	30,44	29,60	29,24	27,42	26,86	26,67	26,61
19/8/2019 18:57	35,69	37,81	33,73	31,98	30,45	29,60	29,24	27,42	26,86	26,67	26,61
19/8/2019 19:07	35,43	37,81	33,73	31,98	30,45	29,60	29,24	27,42	26,86	26,67	26,61
19/8/2019 19:17	35,32	37,81	33,73	31,98	30,45	29,60	29,24	27,42	26,87	26,67	26,61
19/8/2019 19:27	35,13	37,81	33,73	31,99	30,46	29,60	29,24	27,42	26,87	26,67	26,61
19/8/2019 19:37	34,94	37,82	33,73	31,99	30,46	29,61	29,24	27,42	26,87	26,67	26,61
19/8/2019 19:47	34,70	37,82	33,73	31,99	30,46	29,61	29,24	27,42	26,87	26,67	26,61
19/8/2019 19:57	34,52	37,82	33,73	32,00	30,47	29,61	29,24	27,42	26,87	26,67	26,61
19/8/2019 20:07	34,45	37,82	33,74	32,00	30,47	29,61	29,24	27,41	26,87	26,67	26,61

19/8/2019 20:17	34,38	37,82	33,74	32,00	30,48	29,61	29,24	27,41	26,87	26,67	26,61
19/8/2019 20:27	34,65	37,82	33,74	32,00	30,48	29,61	29,24	27,41	26,87	26,67	26,61
19/8/2019 20:37	34,65	37,82	33,74	32,00	30,48	29,61	29,25	27,41	26,87	26,67	26,61
19/8/2019 20:47	34,23	37,82	33,74	32,01	30,49	29,61	29,25	27,41	26,87	26,67	26,61
19/8/2019 20:57	34,10	37,82	33,74	32,01	30,49	29,61	29,25	27,41	26,87	26,67	26,61
19/8/2019 21:07	34,01	37,82	33,74	32,01	30,49	29,61	29,25	27,41	26,87	26,67	26,61
19/8/2019 21:17	33,74	37,82	33,74	32,02	30,49	29,61	29,25	27,41	26,87	26,67	26,61
19/8/2019 21:27	33,63	37,82	33,74	32,02	30,49	29,61	29,25	27,41	26,87	26,67	26,61
19/8/2019 21:37	33,59	37,82	33,74	32,02	30,49	29,62	29,25	27,41	26,87	26,67	26,61
19/8/2019 21:47	33,70	37,82	33,74	32,03	30,49	29,62	29,25	27,41	26,87	26,67	26,61
19/8/2019 21:57	33,83	37,82	33,74	32,03	30,50	29,62	29,25	27,41	26,87	26,67	26,61
19/8/2019 22:07	34,06	37,82	33,74	32,03	30,50	29,62	29,25	27,41	26,87	26,67	26,61
19/8/2019 22:17	33,52	37,82	33,74	32,03	30,50	29,62	29,25	27,41	26,87	26,67	26,61
19/8/2019 22:27	33,40	37,82	33,75	32,03	30,50	29,62	29,25	27,41	26,87	26,67	26,61
19/8/2019 22:37	33,36	37,82	33,75	32,03	30,50	29,62	29,25	27,41	26,87	26,67	26,61
19/8/2019 22:47	32,93	37,82	33,75	32,03	30,51	29,62	29,25	27,41	26,88	26,67	26,61
19/8/2019 22:57	33,30	37,82	33,75	32,04	30,51	29,62	29,25	27,41	26,88	26,67	26,61
19/8/2019 23:07	33,37	37,82	33,75	32,04	30,51	29,62	29,25	27,41	26,88	26,67	26,61
19/8/2019 23:17	33,81	37,82	33,75	32,06	30,51	29,62	29,25	27,41	26,88	26,67	26,61
19/8/2019 23:27	33,37	37,82	33,76	32,04	30,52	29,62	29,25	27,41	26,88	26,67	26,61
19/8/2019 23:37	33,30	37,82	33,76	32,05	30,52	29,62	29,25	27,41	26,88	26,67	26,61
19/8/2019 23:47	32,50	37,82	33,76	32,05	30,52	29,62	29,25	27,41	26,88	26,67	26,61
19/8/2019 23:57	32,34	37,82	33,76	32,05	30,52	29,62	29,25	27,41	26,88	26,67	26,61

Anexo D. Plano de diseño del intercambiador normal



Anexo E. Resultados simulación intercambiador normal

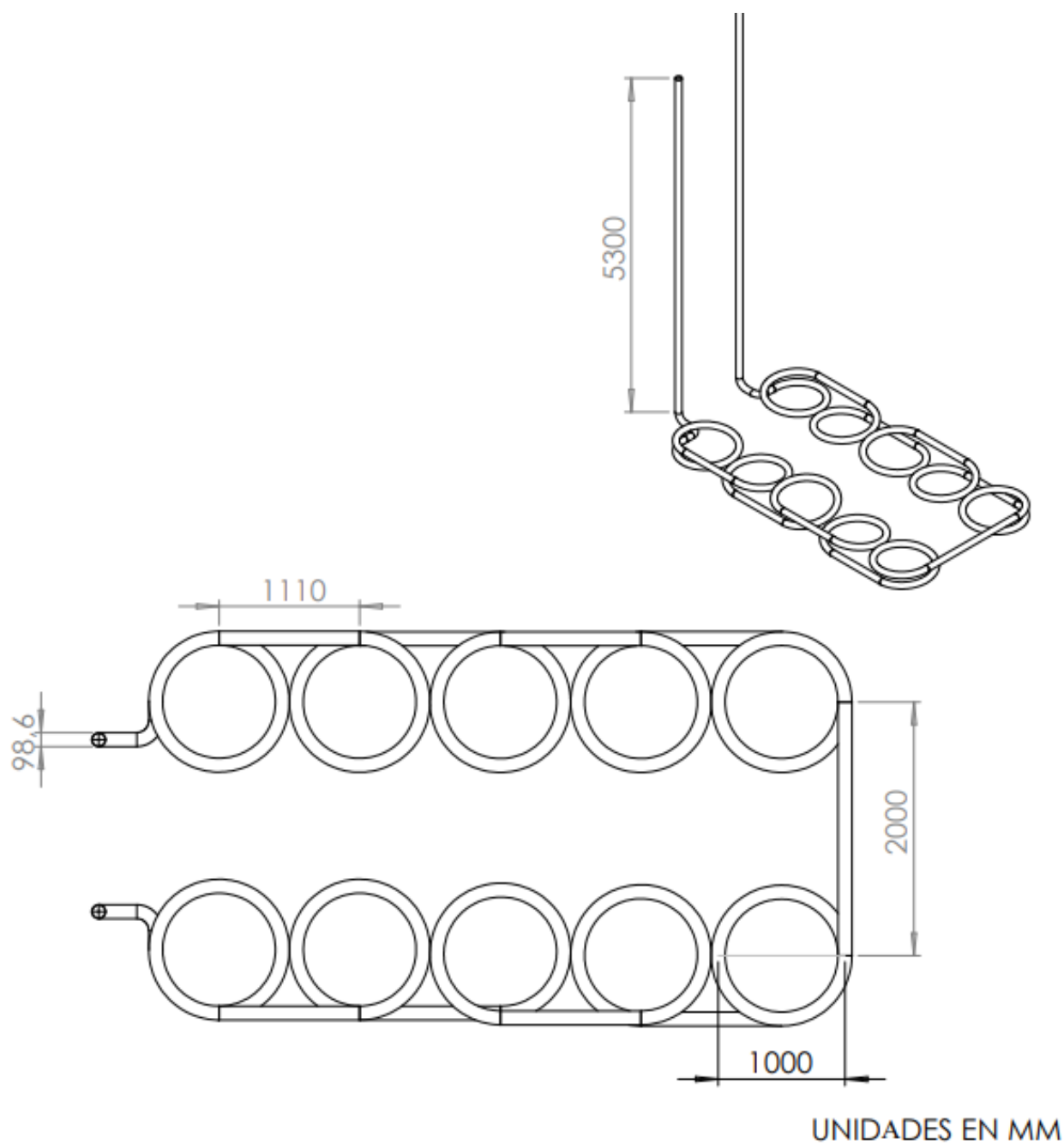
Fecha Hora	Temperatura de entrada [°C]	Capa 4-5 m		Capa 5-6 m	
		Temperatura de salida [°C]	Gradiente [°C]	Temperatura de salida [°C]	Gradiente [°C]
19/8/2019 0:07	30,31	30,26	0,05	30,275144	0,034856
19/8/2019 0:17	30,255	30,3740984	-0,1190984	30,379563	-0,124563
19/8/2019 0:27	30,115	30,02	0,095	30,20407	-0,08907
19/8/2019 0:37	30,02	30,24906272	-0,229062722	30,017325	0,002675
19/8/2019 0:47	29,965	30,01048759	-0,045487593	29,99156391	-0,026563914
19/8/2019 0:57	29,95	30,07251435	-0,122514351	29,9919081	-0,0419081
19/8/2019 1:07	29,955	29,98179188	-0,026791885	29,87336716	0,081632837
19/8/2019 1:17	29,87	29,91603407	-0,046034069	29,8311301	0,0388699
19/8/2019 1:27	29,785	29,83609493	-0,051094929	29,7984269	-0,0134269
19/8/2019 1:37	29,715	29,82961089	-0,114610889	29,990906	-0,275906
19/8/2019 1:47	29,75	29,92752289	-0,177522894	29,92499907	-0,174999071
19/8/2019 1:57	29,875	29,98678937	-0,111789368	29,9097145	-0,0347145
19/8/2019 2:07	29,945	30,01054407	-0,065544074	29,97119218	-0,026192183
19/8/2019 2:17	29,955	29,99948152	-0,044481519	29,97469376	-0,019693764
19/8/2019 2:27	29,93	29,95411383	-0,024113827	29,93168939	-0,001689393
19/8/2019 2:37	29,88	29,92266868	-0,042668685	29,97947637	-0,099476367
19/8/2019 2:47	29,835	29,91823837	-0,083238365	29,92135432	-0,086354316
19/8/2019 2:57	29,83	29,89467165	-0,064671651	29,95903681	-0,129036812
19/8/2019 3:07	29,815	29,85008537	-0,035085373	29,89995056	-0,084950559
19/8/2019 3:17	29,77	29,83224	-0,06224	29,9260405	-0,156040505
19/8/2019 3:27	29,675	29,72286726	-0,047867264	29,84345145	-0,168451445
19/8/2019 3:37	29,625	29,69878002	-0,073780016	29,85959474	-0,23459474
19/8/2019 3:47	29,625	29,69264202	-0,067642022	29,78654248	-0,161542476
19/8/2019 3:57	29,625	29,69978101	-0,074781007	29,81632456	-0,191324563
19/8/2019 4:07	29,635	29,69978101	-0,064781007	29,76059997	-0,125599972
19/8/2019 4:17	29,62	29,66290811	-0,042908112	29,79705971	-0,177059713
19/8/2019 4:27	29,585	29,55979118	0,025208824	29,72821919	-0,143219192
19/8/2019 4:37	29,475	29,50074134	-0,025741338	29,74569726	-0,27069726
19/8/2019 4:47	29,365	29,42372023	-0,058720227	29,64684303	-0,281843025
19/8/2019 4:57	29,335	29,38429309	-0,04929309	29,65852213	-0,323522131
19/8/2019 5:07	29,29	29,29692901	-0,00692901	29,56978233	-0,279782328
19/8/2019 5:17	29,19	29,25122773	-0,061227729	29,56744865	-0,37744865
19/8/2019 5:27	29,155	29,20227665	-0,04727665	29,4699705	-0,314970502
19/8/2019 5:37	29,105	29,12824702	-0,023247023	29,47857495	-0,373574951
19/8/2019 5:47	29,02	29,13745975	-0,117459747	29,378273	-0,358273001
19/8/2019 5:57	29,05	29,12740598	-0,077405978	29,39833525	-0,348335255
19/8/2019 6:07	29,06	29,12432304	-0,064323037	29,32061186	-0,260611859
19/8/2019 6:17	29,055	29,17739928	-0,122399276	29,35226356	-0,29726356
19/8/2019 6:27	29,125	29,21867438	-0,093674383	29,30801742	-0,18301742
19/8/2019 6:37	29,175	29,3053063	-0,130306305	29,36065625	-0,18565625
19/8/2019 6:47	29,295	29,51100564	-0,216005638	29,33521585	-0,040215846
19/8/2019 6:57	29,51	29,71311393	-0,203113927	29,4475095	0,062490502

19/8/2019 7:07	29,765	29,90959579	-0,144595789	29,48758387	0,277416126
19/8/2019 7:17	29,96	30,02736938	-0,067369377	29,6479877	0,312012302
19/8/2019 7:27	30,095	30,25799658	-0,162996579	29,70492605	0,390073946
19/8/2019 7:37	30,325	30,55799197	-0,232991975	29,87281022	0,45218978
19/8/2019 7:47	30,695	30,9546784	-0,259678404	29,99732545	0,697674545
19/8/2019 7:57	31,13	31,24122432	-0,11122432	30,25067785	0,87932215
19/8/2019 8:07	31,4	31,35377052	0,046229483	30,40747492	0,992525076
19/8/2019 8:17	31,45	31,50292605	-0,052926049	30,62061282	0,829387182
19/8/2019 8:27	31,59	31,8069363	-0,216936296	30,7253441	0,864655904
19/8/2019 8:37	31,935	32,01262595	-0,07762595	30,95385169	0,981148308
19/8/2019 8:47	32,195	32,19779434	-0,002794339	31,09404841	1,100951589
19/8/2019 8:57	32,35	32,54597782	-0,195977817	31,30620128	1,043798716
19/8/2019 9:07	32,745	32,95370375	-0,208703746	31,46679384	1,278206162
19/8/2019 9:17	33,215	33,3766267	-0,161626702	31,76177656	1,453223443
19/8/2019 9:27	33,675	33,70512721	-0,030127206	31,98924343	1,68575657
19/8/2019 9:37	34,06	33,690906	0,369094	32,32087033	1,739129667
19/8/2019 9:47	34,18	33,5995371	0,5804629	32,50171666	1,678283341
19/8/2019 9:57	34,455	33,80198882	0,653011179	32,7753512	1,679648804
19/8/2019 10:07	34,98	34,06249649	0,917503507	33,017976	1,962024
19/8/2019 10:17	35,325	34,32737706	0,997622939	33,33032491	1,994675086
19/8/2019 10:27	35,595	34,64707918	0,947920823	33,53832908	2,056670923
19/8/2019 10:37	36,025	34,94562817	1,079371826	33,87062522	2,154374784
19/8/2019 10:47	36,235	35,17807203	1,056927969	34,07325611	2,161743892
19/8/2019 10:57	36,415	35,41297659	1,002023413	34,34660728	2,068392721
19/8/2019 11:07	36,595	35,63018253	0,96481747	34,50642026	2,088579736
19/8/2019 11:17	36,825	35,86488975	0,960110247	34,76067144	2,064328556
19/8/2019 11:27	37,125	36,03883223	1,086167774	34,94799867	2,177001335
19/8/2019 11:37	37,17	36,19163307	0,978366926	35,15200825	2,017991754
19/8/2019 11:47	37,23	36,38736513	0,842634869	35,25483242	1,975167583
19/8/2019 11:57	37,555	36,56962112	0,98537888	35,50534956	2,049650443
19/8/2019 12:07	37,745	36,76284608	0,982153917	35,63672736	2,108272639
19/8/2019 12:17	38,005	36,98143552	1,023564481	35,8834468	2,121553202
19/8/2019 12:27	38,305	37,2334755	1,071524497	36,04765459	2,257345414
19/8/2019 12:37	38,665	37,50542965	1,159570354	36,33028408	2,33471592
19/8/2019 12:47	39,035	37,77800974	1,256990265	36,55061336	2,484386642
19/8/2019 12:57	39,355	38,12555343	1,22944657	36,85190955	2,50309045
19/8/2019 13:07	39,945	38,44452497	1,500475027	37,12503382	2,819966183
19/8/2019 13:17	40,225	38,6881707	1,536829297	37,46013056	2,764869435
19/8/2019 13:27	40,255	38,87191539	1,383084608	37,63515931	2,619840689
19/8/2019 13:37	40,27	39,0574744	1,212525604	37,87051645	2,399483553
19/8/2019 13:47	40,41	39,220129	1,189871002	38,00694798	2,403052017
19/8/2019 13:57	40,575	39,28526748	1,289732522	38,22845436	2,346545639
19/8/2019 14:07	40,34	39,38396069	0,956039313	38,26636562	2,073634382
19/8/2019 14:17	40,48	39,51747458	0,962525422	38,42731236	2,052687645
19/8/2019 14:27	40,785	39,56258606	1,222413937	38,53136757	2,253632432
19/8/2019 14:37	40,575	39,64727111	0,92772889	38,6454988	1,929501196

19/8/2019 14:47	40,69	39,76278286	0,92721714	38,70240764	1,987592355
19/8/2019 14:57	40,975	39,88546478	1,089535216	38,88833217	2,086667827
19/8/2019 15:07	41,12	39,97932806	1,140671944	38,9748813	2,145118701
19/8/2019 15:17	41,15	39,99674132	1,15325868	39,13418238	2,015817618
19/8/2019 15:27	40,865	39,90939992	0,955600077	39,12449708	1,740502916
19/8/2019 15:37	40,455	39,7912666	0,663733399	39,11738329	1,337616707
19/8/2019 15:47	40,175	39,68261407	0,492385929	39,01072077	1,164279229
19/8/2019 15:57	40,07	39,58504507	0,484954925	39,00084871	1,069151293
19/8/2019 16:07	40,005	39,52336064	0,481639358	38,90518596	1,099814038
19/8/2019 16:17	40,045	39,49898387	0,54601613	38,93613304	1,108866956
19/8/2019 16:27	40,14	39,45644345	0,683556551	38,9017107	1,238289295
19/8/2019 16:37	40	39,3839948	0,616005195	38,9318188	1,068181197
19/8/2019 16:47	39,785	39,24298499	0,542015013	38,84297288	0,942027119
19/8/2019 16:57	39,435	38,99965604	0,43534396	38,78543329	0,649566708
19/8/2019 17:07	38,795	38,69226953	0,102730466	38,5300159	0,264984098
19/8/2019 17:17	38,23	38,40545247	-0,175452466	38,34605708	-0,116057076
19/8/2019 17:27	38	38,16222844	-0,162228439	38,09290974	-0,092909739
19/8/2019 17:37	37,895	37,94172281	-0,046722814	37,96139622	-0,066396222
19/8/2019 17:47	37,685	37,6975537	-0,012553701	37,74589798	-0,060897979
19/8/2019 17:57	37,285	37,39379582	-0,108795821	37,60405443	-0,319054425
19/8/2019 18:07	36,755	37,08290897	-0,327908967	37,3298217	-0,574821705
19/8/2019 18:17	36,415	36,82923931	-0,414239306	37,12948416	-0,714484164
19/8/2019 18:27	36,295	36,58929329	-0,294293292	36,8658614	-0,570861398
19/8/2019 18:37	36,075	36,3248879	-0,249887897	36,72093461	-0,645934609
19/8/2019 18:47	35,67	36,04634313	-0,376343133	36,45571918	-0,785719175
19/8/2019 18:57	35,315	35,78268145	-0,467681448	36,26665929	-0,951659291
19/8/2019 19:07	35,075	35,53140999	-0,456409987	35,99373961	-0,918739608
19/8/2019 19:17	34,84	35,5300004	-0,6900004	35,82840703	-0,988407027
19/8/2019 19:27	34,59	35,2959972	-0,7059972	35,5703703	-0,980370302
19/8/2019 19:37	34,28	35,0073488	-0,7273488	35,40132278	-1,121322785
19/8/2019 19:47	33,985	34,78409628	-0,799096277	35,12656611	-1,14156611
19/8/2019 19:57	33,785	34,61105245	-0,826052455	34,96507494	-1,180074935
19/8/2019 20:07	33,64	34,40352122	-0,763521224	34,73074461	-1,090744606
19/8/2019 20:17	33,52	34,28531693	-0,765316932	34,6133099	-1,093309902
19/8/2019 20:27	33,36	34,09037312	-0,730373119	34,40339017	-1,04339017
19/8/2019 20:37	33,215	33,97473131	-0,759731307	34,30033044	-1,085330438
19/8/2019 20:47	33,13	33,82272041	-0,692720413	34,11960059	-0,98960059
19/8/2019 20:57	32,975	33,71568288	-0,74068288	34,0331184	-1,0581184
19/8/2019 21:07	32,815	33,48403683	-0,669036833	33,84428744	-1,029287435
19/8/2019 21:17	32,725	33,40398014	-0,678980136	33,76958482	-1,044584824
19/8/2019 21:27	32,585	33,23994114	-0,654941142	33,59260176	-1,007601757
19/8/2019 21:37	32,45	33,14083902	-0,690839018	33,51282926	-1,062829258
19/8/2019 21:47	32,385	33,01092497	-0,625924973	33,3479615	-0,962961497
19/8/2019 21:57	32,32	32,95336209	-0,633362086	33,29440321	-0,97440321
19/8/2019 22:07	32,25	32,83391673	-0,583916734	33,14833344	-0,898333437
19/8/2019 22:17	32,14	32,7647622	-0,624762195	33,10117261	-0,961172608

19/8/2019 22:27	31,955	32,58999603	-0,634996033	32,93191697	-0,976916973
19/8/2019 22:37	31,85	32,51261667	-0,662616669	32,86941026	-1,01941026
19/8/2019 22:47	31,81	32,40456415	-0,594564145	32,72471407	-0,91471407
19/8/2019 22:57	31,73	32,34216276	-0,612162756	32,67178886	-0,941788856
19/8/2019 23:07	31,67	32,23761946	-0,56761946	32,54326071	-0,873260708
19/8/2019 23:17	31,615	32,19732481	-0,582324807	32,51088432	-0,895884319
19/8/2019 23:27	31,51	32,07101423	-0,561014228	32,37309881	-0,863098812
19/8/2019 23:37	31,335	31,97291006	-0,637910064	32,3164001	-0,981400098
19/8/2019 23:47	31,145	31,64663125	-0,501631248	32,1482625	-1,003262496
19/8/2019 23:57	31,06	31,57210291	-0,512102908	32,08420582	-1,024205817

Anexo F. Plano de diseño del intercambiador Slinky



Anexo G. Resultados simulación intercambiador Slinky

Fecha Hora	Temperatura de entrada [°C]	Capa 4-5 m		Capa 5-6 m	
		Temperatura de salida [°C]	Gradiente [°C]	Temperatura de salida [°C]	Gradiente [°C]
19/8/2019 0:07	30,31	30,31	0	30,31	0
19/8/2019 0:17	30,255	30,07248998	0,127510025	30,01609828	0,183901725
19/8/2019 0:27	30,115	30,39989081	-0,369890806	30,24583843	-0,215838427
19/8/2019 0:37	30,02	30,25280492	-0,242804917	30,14071077	-0,130710767
19/8/2019 0:47	29,965	30,18326664	-0,263266643	30,09264689	-0,172646891
19/8/2019 0:57	29,95	30,1494174	-0,169417398	30,0718402	-0,0918402
19/8/2019 1:07	29,955	30,1697631	-0,239763096	30,06522768	-0,135227675
19/8/2019 1:17	29,87	30,15512327	-0,345123265	30,02805237	-0,218052374
19/8/2019 1:27	29,785	30,11074991	-0,350749909	29,98777228	-0,227772284
19/8/2019 1:37	29,715	30,05965084	-0,389650843	29,93955748	-0,269557484
19/8/2019 1:47	29,75	30,06299231	-0,232992306	29,93356759	-0,103567594
19/8/2019 1:57	29,875	30,10715559	-0,187155589	29,95707442	-0,037074416
19/8/2019 2:07	29,945	30,15311177	-0,183111774	29,99587065	-0,02587065
19/8/2019 2:17	29,955	30,16127212	-0,221272123	30,00646485	-0,066464847
19/8/2019 2:27	29,93	30,16589726	-0,245897262	30,018239	-0,098239
19/8/2019 2:37	29,88	30,13681564	-0,29681564	29,9984563	-0,158456303
19/8/2019 2:47	29,835	30,11568192	-0,285681921	29,98626908	-0,156269076
19/8/2019 2:57	29,83	30,09437394	-0,264373937	29,97111385	-0,141113853
19/8/2019 3:07	29,815	30,08661609	-0,286616087	29,96464384	-0,16464384
19/8/2019 3:17	29,77	30,0538101	-0,313810095	29,94238798	-0,202387983
19/8/2019 3:27	29,675	30,00964746	-0,399647456	29,90715027	-0,297150273
19/8/2019 3:37	29,625	29,96265252	-0,322652516	29,86703681	-0,227036814
19/8/2019 3:47	29,625	29,95137668	-0,341376681	29,85690771	-0,246907714
19/8/2019 3:57	29,625	29,93146642	-0,291466415	29,83827078	-0,198270782
19/8/2019 4:07	29,635	29,93146642	-0,301466415	29,83827078	-0,208270782
19/8/2019 4:17	29,62	29,91520955	-0,305209547	29,82573278	-0,215732779
19/8/2019 4:27	29,585	29,89869676	-0,338696756	29,81074163	-0,250741634
19/8/2019 4:37	29,475	29,83855629	-0,448556285	29,7674661	-0,377466096
19/8/2019 4:47	29,365	29,77861471	-0,438614708	29,7174114	-0,377411396
19/8/2019 4:57	29,335	29,73641104	-0,406411039	29,67514564	-0,345145639
19/8/2019 5:07	29,29	29,70206349	-0,45206349	29,64622816	-0,396228159
19/8/2019 5:17	29,19	29,63474743	-0,504747432	29,5861567	-0,456156696
19/8/2019 5:27	29,155	29,60186982	-0,421869821	29,55556345	-0,375563447
19/8/2019 5:37	29,105	29,55056398	-0,520563982	29,50959316	-0,479593164
19/8/2019 5:47	29,02	29,50278034	-0,492780337	29,4685009	-0,458500905
19/8/2019 5:57	29,05	29,48521409	-0,395214089	29,44956862	-0,359568622
19/8/2019 6:07	29,06	29,48005873	-0,450058734	29,43854673	-0,408546726
19/8/2019 6:17	29,055	29,46331975	-0,383319753	29,41908522	-0,339085218
19/8/2019 6:27	29,125	29,49178995	-0,321789952	29,44079233	-0,270792329
19/8/2019 6:37	29,175	29,50795581	-0,327955807	29,45123355	-0,271233552
19/8/2019 6:47	29,295	29,57099371	-0,160993714	29,50083129	-0,090831291

19/8/2019 6:57	29,51	29,66860353	-0,058603534	29,57962637	0,03037363
19/8/2019 7:07	29,765	29,81609116	0,103908835	29,70148681	0,218513194
19/8/2019 7:17	29,96	29,94140292	0,05859708	29,81214984	0,187850163
19/8/2019 7:27	30,095	30,05771571	0,132284293	29,91785843	0,272141573
19/8/2019 7:37	30,325	30,195789	0,264211001	30,03619905	0,423800947
19/8/2019 7:47	30,695	30,40850982	0,521490177	30,22050373	0,709496274
19/8/2019 7:57	31,13	30,66765666	0,662343337	30,4361172	0,893882797
19/8/2019 8:07	31,4	30,88664433	0,583355673	30,64222153	0,827778471
19/8/2019 8:17	31,45	31,00133104	0,428668955	30,76476529	0,665234713
19/8/2019 8:27	31,59	31,12412796	0,625872037	30,89001945	0,859980554
19/8/2019 8:37	31,935	31,32116402	0,79883598	31,05791095	1,062089049
19/8/2019 8:47	32,195	31,51121271	0,758787288	31,24130636	1,028693638
19/8/2019 8:57	32,35	31,65883906	0,771160935	31,3828139	1,047186098
19/8/2019 9:07	32,745	31,89086964	1,169130364	31,59484996	1,465150042
19/8/2019 9:17	33,215	32,17965952	1,190340485	31,84437017	1,525629832
19/8/2019 9:27	33,675	32,48671786	1,493282143	32,13240125	1,847598746
19/8/2019 9:37	34,06	32,77693044	1,363069564	32,39456196	1,745438043
19/8/2019 9:47	34,18	32,95674719	1,263252809	32,5894881	1,630511901
19/8/2019 9:57	34,455	33,16736801	1,522631989	32,78179056	1,908209442
19/8/2019 10:07	34,98	33,47474366	1,795256344	33,06535518	2,204644823
19/8/2019 10:17	35,325	33,74877026	1,631229742	33,3138656	2,0661344
19/8/2019 10:27	35,595	33,991752	1,818248004	33,55367389	2,256326105
19/8/2019 10:37	36,025	34,28762263	1,952377369	33,82016446	2,419835536
19/8/2019 10:47	36,235	34,50214828	1,727851721	34,03596333	2,194036668
19/8/2019 10:57	36,415	34,68484378	1,915156216	34,22100478	2,378995223
19/8/2019 11:07	36,595	34,85540459	1,734595407	34,39887437	2,191125635
19/8/2019 11:17	36,825	35,04026324	2,019736762	34,57320685	2,486793153
19/8/2019 11:27	37,125	35,24844551	1,941554489	34,78032452	2,409675476
19/8/2019 11:37	37,17	35,36258416	1,78741584	34,90055918	2,249440823
19/8/2019 11:47	37,23	35,46365281	1,846347193	35,02364097	2,286359028
19/8/2019 11:57	37,555	35,65492368	2,145076325	35,19589305	2,604106951
19/8/2019 12:07	37,745	35,81386621	1,876133788	35,36373387	2,326266132
19/8/2019 12:17	38,005	36,00063205	2,319367952	35,53897496	2,781025043
19/8/2019 12:27	38,305	36,21082212	2,079177884	35,74347397	2,546526026
19/8/2019 12:37	38,665	36,45156619	2,588433809	35,96513476	3,074865244
19/8/2019 12:47	39,035	36,71277999	2,317220007	36,214883	2,815117002
19/8/2019 12:57	39,355	36,958045	2,721955001	36,4469174	3,233082596
19/8/2019 13:07	39,945	37,31108934	2,898910657	36,77164768	3,438352321
19/8/2019 13:17	40,225	37,57315298	2,666847025	37,02542834	3,21457166
19/8/2019 13:27	40,255	37,70938045	2,560619546	37,18584012	3,084159881
19/8/2019 13:37	40,27	37,80940761	2,460592389	37,30172965	2,968270349
19/8/2019 13:47	40,41	37,942152	2,607848002	37,44963936	3,100360635
19/8/2019 13:57	40,575	38,07919459	2,520805406	37,58515201	3,014847989
19/8/2019 14:07	40,34	38,05357514	2,026424859	37,61062741	2,469372591
19/8/2019 14:17	40,48	38,14164242	2,738357578	37,69080758	3,18919242
19/8/2019 14:27	40,785	38,29964946	2,390350542	37,84955045	2,84044955

19/8/2019 14:37	40,575	38,28507928	2,174920717	37,86373286	2,596267141
19/8/2019 14:47	40,69	38,35822582	2,561774178	37,95115393	2,968846074
19/8/2019 14:57	40,975	38,5075267	2,522473303	38,08023381	2,949766191
19/8/2019 15:07	41,12	38,63181511	2,578184885	38,2141413	2,995858699
19/8/2019 15:17	41,15	38,70745854	2,382541465	38,28647356	2,803526445
19/8/2019 15:27	40,865	38,64389004	1,99610996	38,27905592	2,360944075
19/8/2019 15:37	40,455	38,48207589	1,78792411	38,15948355	2,110516454
19/8/2019 15:47	40,175	38,32953267	1,750467326	38,05239086	2,027609144
19/8/2019 15:57	40,07	38,23860083	1,821399167	37,97151966	2,088480343
19/8/2019 16:07	40,005	38,17576995	1,77423005	37,92902045	2,020979546
19/8/2019 16:17	40,045	38,16692143	1,973078566	37,91312152	2,226878478
19/8/2019 16:27	40,14	38,19810372	1,941896281	37,95260836	2,187391638
19/8/2019 16:37	40	38,15347634	1,706523665	37,91632488	1,943675123
19/8/2019 16:47	39,785	38,05654813	1,653451865	37,85890001	1,851099987
19/8/2019 16:57	39,435	37,87175516	1,288244842	37,70993555	1,450064454
19/8/2019 17:07	38,795	37,54842663	0,881573373	37,46268177	0,967318227
19/8/2019 17:17	38,23	37,2121648	0,817835203	37,17216084	0,857839161
19/8/2019 17:27	38	36,99547081	0,974529189	36,97766806	0,992331937
19/8/2019 17:37	37,895	36,84340674	0,976593264	36,82282648	0,997173522
19/8/2019 17:47	37,685	36,68320193	0,866798074	36,68711469	0,862885306
19/8/2019 17:57	37,285	36,45123524	0,568764759	36,47732188	0,542678115
19/8/2019 18:07	36,755	36,13894024	0,351059758	36,22077726	0,269222743
19/8/2019 18:17	36,415	35,88017726	0,459822737	35,97674599	0,363254006
19/8/2019 18:27	36,295	35,71090729	0,539092707	35,81560683	0,434393168
19/8/2019 18:37	36,075	35,52306058	0,376939416	35,64595785	0,254042146
19/8/2019 18:47	35,67	35,27100879	0,168991206	35,43677549	0,003224513
19/8/2019 18:57	35,315	35,02994254	0,160057459	35,20488348	-0,014883479
19/8/2019 19:07	35,075	34,81685049	0,143149513	35,01104905	-0,051049045
19/8/2019 19:17	34,84	34,61929989	0,100700113	34,8152447	-0,095244696
19/8/2019 19:27	34,59	34,42870346	0,031296539	34,63417863	-0,174178634
19/8/2019 19:37	34,28	34,20719412	-0,107194122	34,42388624	-0,323886236
19/8/2019 19:47	33,985	33,98479564	-0,11479564	34,22371231	-0,353712314
19/8/2019 19:57	33,785	33,80591713	-0,105917126	34,03302125	-0,333021255
19/8/2019 20:07	33,64	33,65195603	-0,071956033	33,88538329	-0,30538329
19/8/2019 20:17	33,52	33,528696	-0,068695997	33,74074484	-0,280744837
19/8/2019 20:27	33,36	33,39917018	-0,139170175	33,61071187	-0,350711874
19/8/2019 20:37	33,215	33,27351923	-0,103519234	33,47531777	-0,305317766
19/8/2019 20:47	33,13	33,1754148	-0,085414796	33,3725389	-0,282538904
19/8/2019 20:57	32,975	33,05563408	-0,195634076	33,24749111	-0,387491113
19/8/2019 21:07	32,815	32,92936438	-0,159364384	33,13107011	-0,361070106
19/8/2019 21:17	32,725	32,83656772	-0,156567723	33,01816778	-0,338167778
19/8/2019 21:27	32,585	32,72440891	-0,234408912	32,91272649	-0,422726495
19/8/2019 21:37	32,45	32,61277391	-0,202773914	32,79394494	-0,383944935
19/8/2019 21:47	32,385	32,53385247	-0,173852466	32,70896222	-0,348962218
19/8/2019 21:57	32,32	32,45433207	-0,174332074	32,62070484	-0,340704837
19/8/2019 22:07	32,25	32,38009763	-0,160097635	32,55238674	-0,332386737

19/8/2019 22:17	32,14	32,30063981	-0,240639807	32,46581842	-0,405818418
19/8/2019 22:27	31,955	32,17983904	-0,329839038	32,35751863	-0,507518626
19/8/2019 22:37	31,85	32,08158456	-0,231584557	32,25393542	-0,403935417
19/8/2019 22:47	31,81	32,01761505	-0,247615054	32,17494546	-0,404945463
19/8/2019 22:57	31,73	31,94366708	-0,253667082	32,1025426	-0,412542598
19/8/2019 23:07	31,67	31,87833282	-0,228332824	32,0304382	-0,380438204
19/8/2019 23:17	31,615	31,8246433	-0,244643303	31,96344302	-0,383443022
19/8/2019 23:27	31,51	31,74696791	-0,30696791	31,89311843	-0,453118427
19/8/2019 23:37	31,335	31,63208515	-0,402085148	31,78750356	-0,557503556
19/8/2019 23:47	31,145	31,50775698	-0,447756976	31,6674363	-0,607436304
19/8/2019 23:57	31,06	31,41209334	-0,352093341	31,57408189	-0,514081893