



Benemérita Universidad Autónoma de Puebla

Facultad de Ciencias de la Electrónica

Ingeniería en Energías Renovables

Tesis presentada para obtener el grado de: Licenciatura

**Diseño y simulación de una secadora solar para aplicación
en lavanderías en la ciudad de Puebla**

Presenta :Méndez García Marvin Eduardo 201618278

Asesores: Dra. Téllez Méndez Nallely, Dr. Moreno Coria Luis Armando

Noviembre 2023

I Tabla de contenido

I	Tabla de contenido	2
II	Dedicatoria	5
1	Introducción	6
1.1	Antecedentes	6
1.1.1	Fuentes primarias	6
1.1.2	Fuentes secundarias	8
1.1.3	Demanda energética.....	9
1.1.4	Dependencia energética	12
1.2	Lavanderías	13
1.3	Consumo energético de lavanderías en Puebla 2020	15
1.4	Planteamiento del problema	15
1.5	Objetivo.....	15
1.6	Objetivos particulares.....	16
1.7	Justificación.....	16
1.8	Hipótesis.....	16
2	Estado del arte.....	17
2.1	Energía solar.....	17
2.1.1	El sol	17
2.2	Sistemas fotovoltaicos.....	17
2.2.1	Interconectados	17
2.2.2	Aislados.....	18
2.3	Módulos fotovoltaicos.....	18
2.3.1	Irradiancia	20
2.3.2	Irradiación	20
2.4	Componentes de un sistema fotovoltaico.....	21
2.4.1	Inversores	21
2.4.2	Baterías	21

2.4.3	Regulador o controlador	22
2.5	Energía Solar Térmica.....	23
2.5.1	Principio de Fresnel	23
2.5.2	Convección	24
2.5.3	Colectores solares	26
2.5.4	Irradiación en México	36
2.5.5	Características del estado de Puebla	39
2.6	Tipos de secadoras	39
2.6.1	Secadora de evacuación	39
2.6.2	Secadoras de condensación.....	40
2.6.3	Secadoras de bomba de calor	41
2.6.4	Proceso de secado de una secadora.....	42
2.6.5	Temperatura de secado	44
2.7	Intercambiadores de calor	44
2.8	Metodología	48
3	Diseño y simulación de los componentes de secado	49
3.1	Primer modelo	50
3.1.1	Primer prueba.....	50
3.1.1.1	Diseño.....	50
3.1.1.2	Simulación.....	54
3.1.2	Segunda prueba.....	56
3.1.2.1	Diseño.....	56
3.1.2.2	Simulación.....	58
3.2	Segundo modelo.....	60
3.2.1	Primer prueba.....	60
3.2.1.1	Diseño.....	60
3.2.1.2	Simulación.....	65
3.2.2	Prueba dos.....	66
3.3	Tercer modelo	71
3.3.1	Diseño	71
3.3.2	Simulación	72
3.4	Modelo final	75
3.4.1	Diseño	75

3.4.2	Simulación	77
3.5	Simulación con temperatura de operación de una secadora.....	81
3.5.1	Simulación	81
4	Dimensionamiento de colectores	86
5	Optimización.....	93
5.1	Diseño	93
5.2	Simulación	96
5.3	Dimensionamiento de los colectores térmicos.....	97
6	Conclusiones y resultados.....	100
7	Recomendaciones	101
8	Anexo.....	103
8.1	Imágenes usadas.....	103
8.2	Medidas de diseños empleados.....	107
8.3	Código de Matlab.....	118
9	Bibliografía	119

II Dedicatoria

Hay muchas personas a las que me gustaría agradecer por el apoyo incondicional que me brindaron al momento de realizar este trabajo, el orden no tiene nada que ver con el amor, respeto y gratitud que les tengo. Primero que nada, quiero dedicar esta investigación a mis padres Daniel y Iliana, siempre me han apoyado en mis proyectos y decisiones, además de haber sido pacientes durante el tiempo que me llevó terminar este trabajo; también a mi hermano Ramsés que me prestaba su computadora cuando la mía ya no funcionaba bien. Después quiero agradecer a mi novia Andrea que me ha motivado a continuar cuando sentía que todavía estaba lejos de finalizar la investigación, por sus consejos y regaños; también quiero agradecer a sus padres Delfino y Janeth por preocuparse por mí de la misma forma como si fuera parte de su familia. Quiero de igual manera agradecer a mis asesores, la Doctora Nallely y el Doctor Coria, que siempre estuvieron al pendiente de mí y me apoyaron en todo momento, incluso cuando los avances realizados no fueran muchos. Otras personas que fueron de gran importancia fueron mis amigos, en especial los miembros de “aber aslo”, Érick, Esteban, Emiliano, Xavier, Luis y Francisco los cuales considero mis hermanos. También, quiero agradecer a todos mis compañeros y colegas, los cuales me ayudaron con las dudas que llegaba a presentar y a su vez confiaban en mis conocimientos y habilidades. Por último, debo dar las gracias a la Secretaría de Medio Ambiente, Desarrollo sustentable y Ordenamiento Territorial y al encargado del área de calidad del aire por permitirme usar los datos sobre el consumo energético de las lavanderías.

1 Introducción

La presente investigación trata el tema del diseño de una alternativa a las secadoras convencionales (que consumen electricidad o gas) que opere con energía solar para ser empleada en el subsector de lavanderías, esto partiendo de la investigación y recolección de datos que servirán para seleccionar los materiales y características que se emplearan en el diseño. La idea surge debido a que, durante mi estancia en la Secretaría de Medio Ambiente, Desarrollo Sustentable y Ordenamiento Territorial (SMADSOT) por motivo de las prácticas profesionales pude notar la cantidad de emisiones y el consumo energético de este subsector que es desapercibido por activistas y programas para la protección ambiental, además de la gran cantidad de establecimientos que existen en el territorio nacional (40 194 para el 2021)[1]. Por último, se espera que el presente trabajo tenga utilidad y sirva como referencia para futuros proyectos, que se puedan mejorar los resultados obtenidos y pueda inspirar a seguir buscando alternativas de insumos energéticos y disminución de emisiones contaminantes introducidas al ambiente.

1.1 Antecedentes

Una forma de clasificar a las fuentes de energía es mediante la primaria y la secundaria. La primera es obtenida de forma directa del ambiente mientras que la secundaria es la transformación de la energía primaria que mediante un proceso se convierte en electricidad o combustibles y derivados. [2].

1.1.1 Fuentes primarias

Durante el año 2020 en México se generaron principalmente petróleo crudo, seguido del carbón, luego el gas natural y en los últimos puestos las energías renovables y la energía nuclear. En la Figura 1 se puede apreciar de forma más simple las enormes diferencias que existen en la producción de energía primaria en el país. En la parte de condensados se encuentran las energías como el biogás o el bagazo de

caña. Dentro de las renovables el 6.34% fue obtenido de la biomasa, el 3.45% al calor de la geotérmica, eólica y la solar. [3].

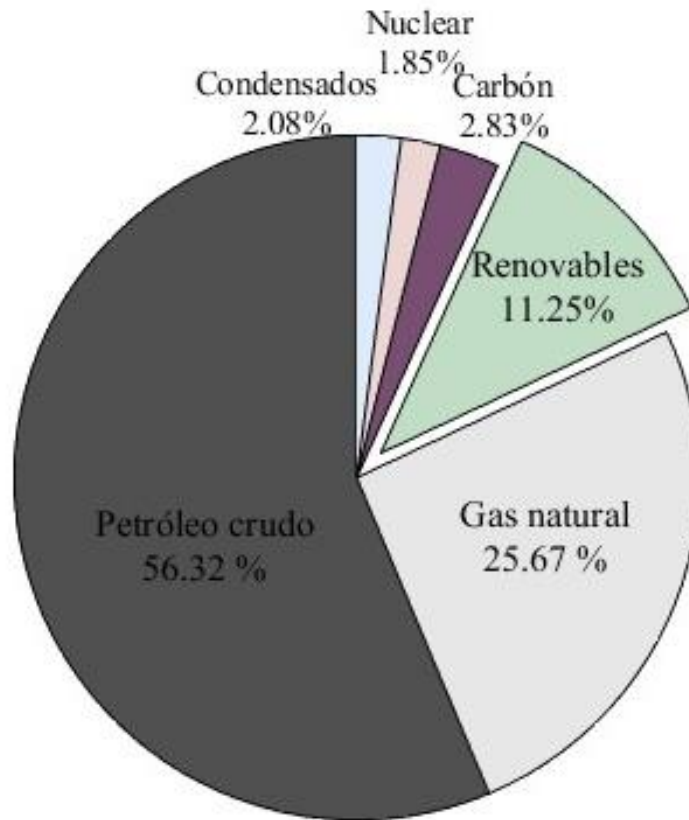


Figura 1. Generación de Energía Primaria en México durante 2020

Fuente: [3]. Elaboración propia.

Como se puede ver actualmente las principales fuentes de este tipo de energías son el carbón y el gas natural; sin embargo, se espera que en los próximos 20 años la solar sea la que lidere el puesto y además exista un aumento en la capacidad instalada de energía eólica.[3]

1.1.2 Fuentes secundarias

Estas fuentes son producto de la transformación de las energías primarias, esto para un mejor aprovechamiento de estas o para un traslado más seguro y eficiente. Las cuales son la energía eléctrica, térmica, mecánica, química y el gas. En México se tiene como principal energía transformada al gas seco, seguido de la electricidad, después las gasolinas y naftas, por último, se encuentran los combustóleos, el diésel y otros, esto se puede ver en la Figura 2. [4].

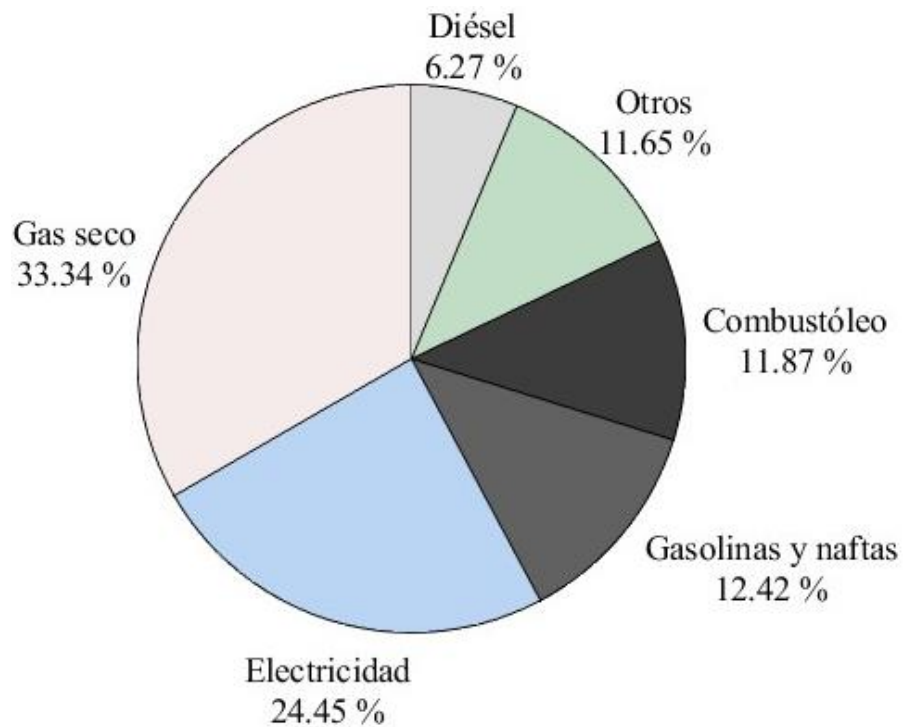


Figura 2. Generación de Energía Secundaria en México durante 2020

Fuente: [4] Elaboración propia.

1.1.3 Demanda energética

Durante el paso de los años la humanidad ha aumentado la cantidad de energía que necesita para satisfacer sus necesidades, esto debido principalmente al aumento poblacional no lineal y al aumento de dispositivos que requieren algún tipo de suministro de energía; principalmente la eléctrica y los combustibles fósiles. En la Figura 3 se puede ver el aumento creciente del consumo total de energía de manera global en megatoneladas equivalentes de petróleo [5]. En la Figura 4 se tienen los mismos parámetros, pero solo de México.

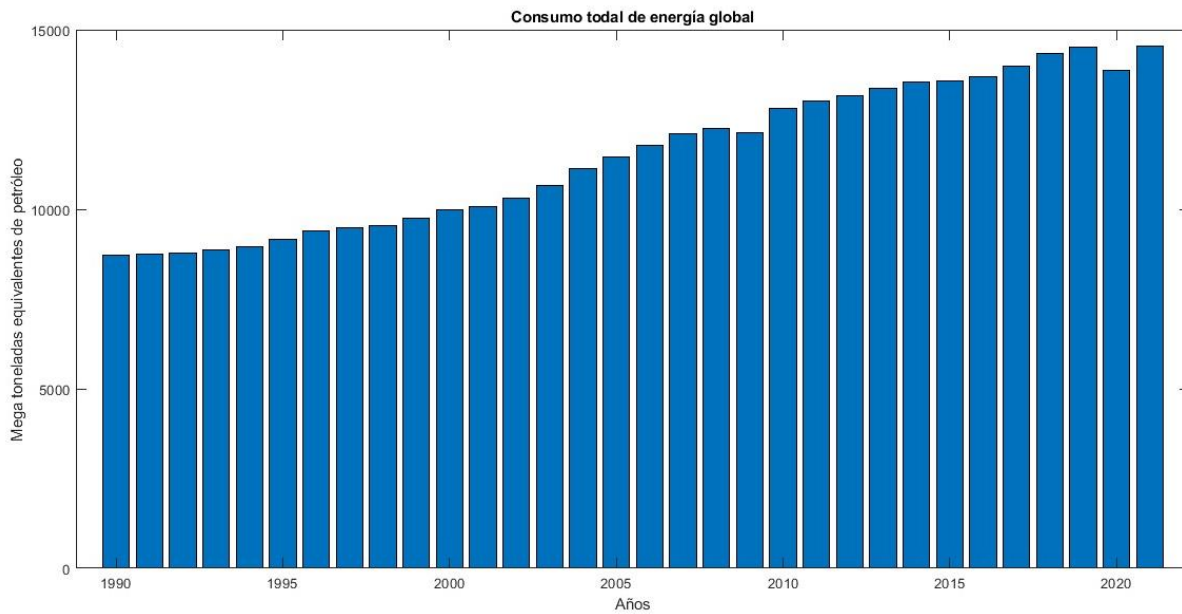


Figura 3. Consumo total de energía global expresado en MTEP.

Fuente: [5]. Elaboración propia.

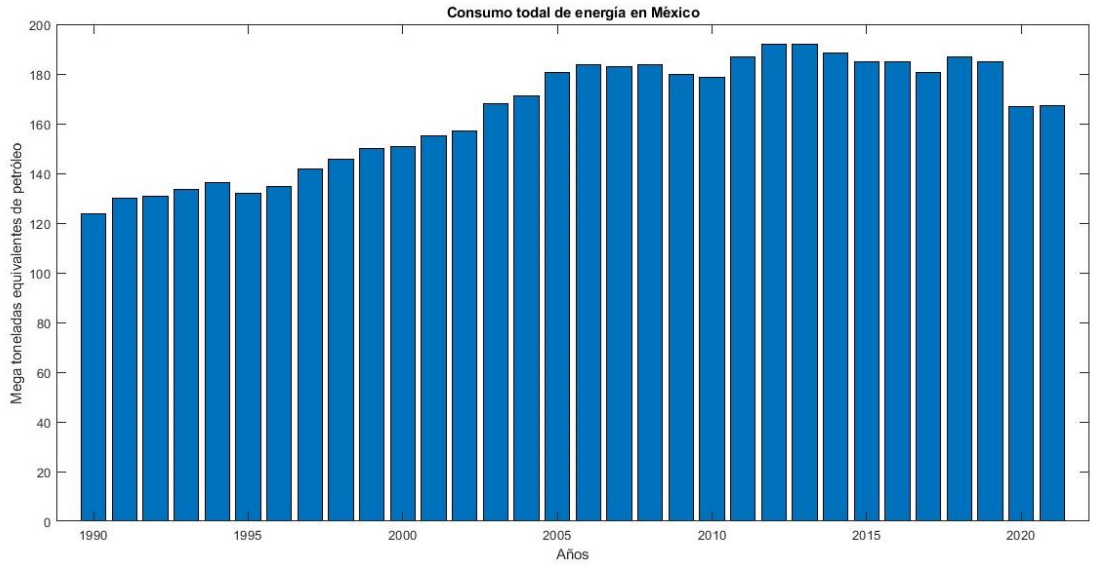


Figura 4. Consumo total de energía en México expresado en MTEP.

Fuente: [6]. Elaboración propia.

En la Figura 5 según datos de (SENER. 2022), durante los años 2018 a 2020 el consumo predominante fue el residencial, seguido por el comercial y en un pequeño porcentaje el público. En la Figura 6 se tiene la gráfica de los TWh consumidos anualmente en el territorio nacional durante el periodo que abarca desde los inicios de la década de los noventa hasta el año 2021, esto en el sector doméstico. [6]

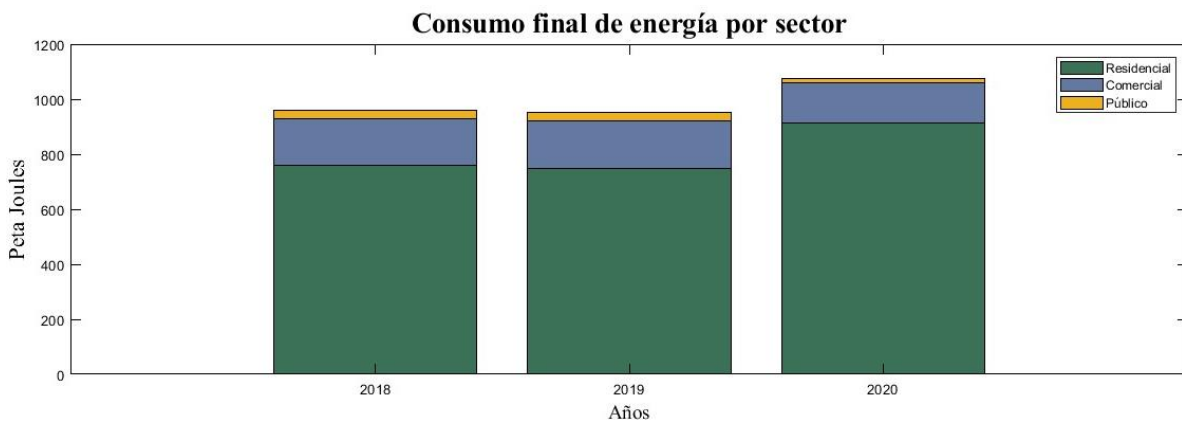


Figura 5. Consumo energético por sector en México.

Fuente: [4]. Elaboración propia.

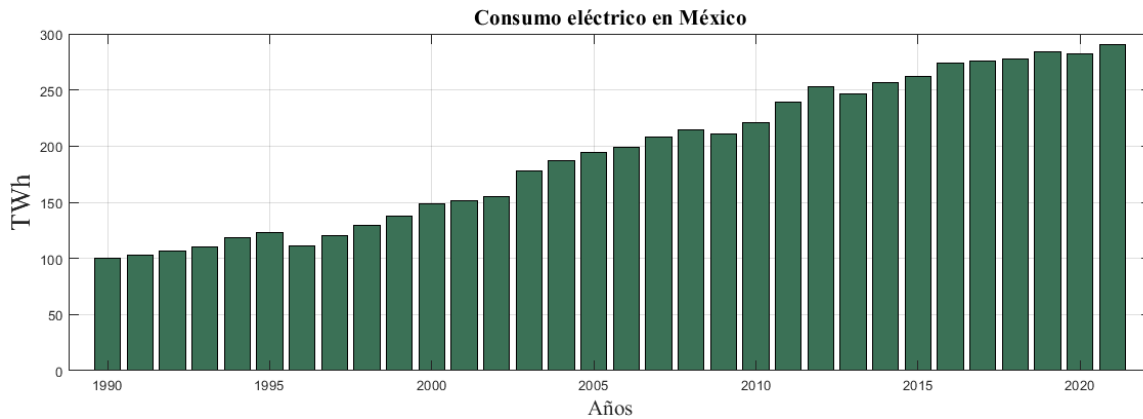


Figura 6. Consumo eléctrico nacional

Fuente: [6]. Elaboración propia.

En la Figura 7 se muestra el consumo energético en los últimos diez años en el sector comercial, en el cual las lavanderías son incluidas. Se consideran únicamente las fuentes energéticas que son usadas en estos establecimientos ya que, las demás no son de interés para este trabajo.

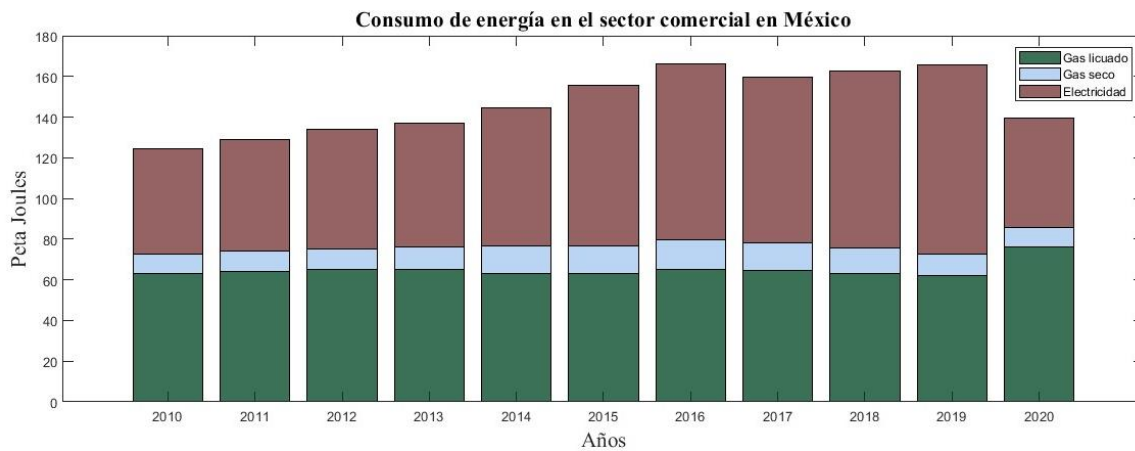


Figura 7. Consumo de energía en el sector comercial durante 2010 a 2020.

Fuente: [3]. Elaboración propia.

1.1.4 Dependencia energética

La dependencia energética es simplemente la cantidad de energía primaria que una nación tiene que importar para poder satisfacer las necesidades energéticas de su población. Durante el año de 2017 en México se tuvo que el consumo supero en un 31.6% a la producción de energía primaria, esto debido a un ligero aumento en el consumo de 1.2% y a una caída de 8.9% de la producción con respecto al año anterior. [7]

En la Figura 8 se muestran las cantidades de importaciones energéticas en el país por tipo de energía durante una década que abarca los años de 2007 hasta el 2017, en esta se ve que la importación de gas seco se ha incrementado a mayor medida con respecto a las demás fuentes.[4]

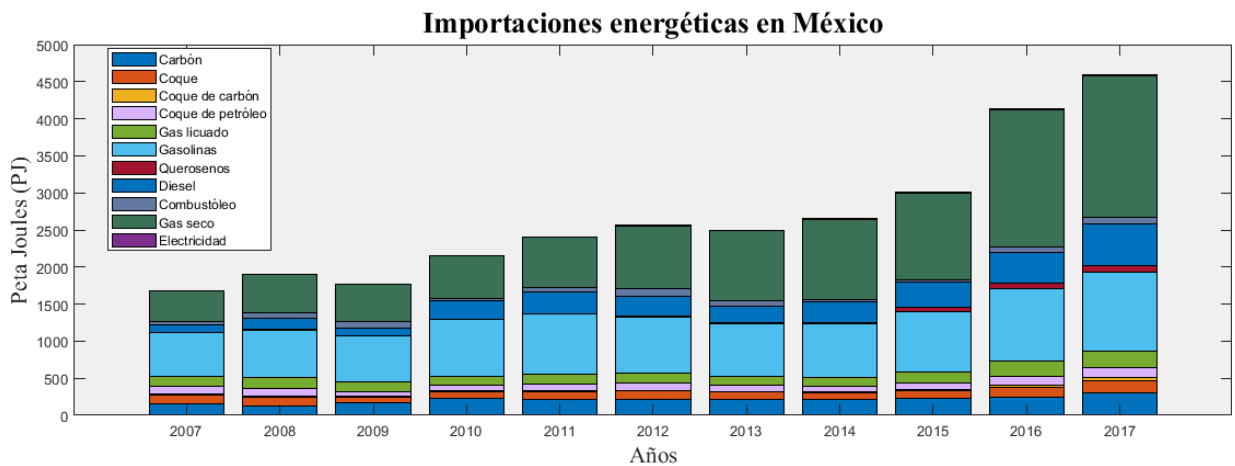


Figura 8. Importaciones en México durante 2007 a 2017.

Fuente: [4]. Elaboración propia.

1.2 Lavanderías

Las lavanderías según el Sistema de Clasificación Industrial de América del Norte (SCIAN) corresponden a la rama 8122 ubicada en el subsector 812 el cual es usado para clasificar a los servicios personales. Dentro de este subsector las lavanderías y tintorerías en el país representan el 13.1 % de los establecimientos totales, el 15.9 % de personal ocupado y el 17.4 % de producción bruta. [1]

En México existen un total de 40 194 establecimientos los cuales han ido en aumento durante el paso de los años, esto se puede observar en la Figura 9 y en la Figura 10 los establecimientos que existen por estado. Se puede ver que a pesar de los eventos ocurridos durante la pandemia no hubo un retroceso en la creación de negocios de este subsector. Otro aspecto para tomar en cuenta es la informalidad de los establecimientos ya que, la gran mayoría pertenecen a esta categoría mientras que una tercera parte son negocios formales, esto hace que no todos los establecimientos aporten datos, el porcentaje de establecimientos se encuentra en la Figura 11.[1]

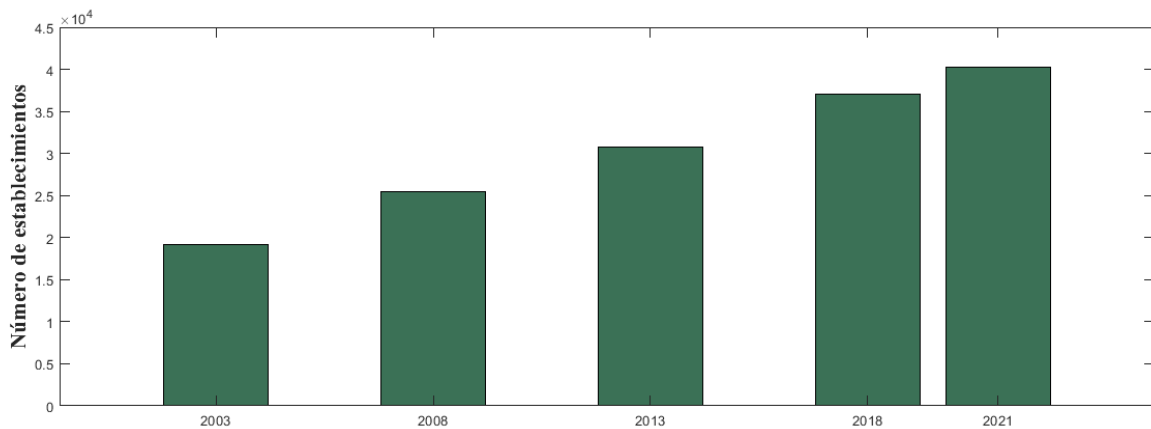


Figura 9. Aumento en el número de establecimientos.

Fuente: [1]. Elaboración propia.

Lavanderías y Tintorerías formales vs informales

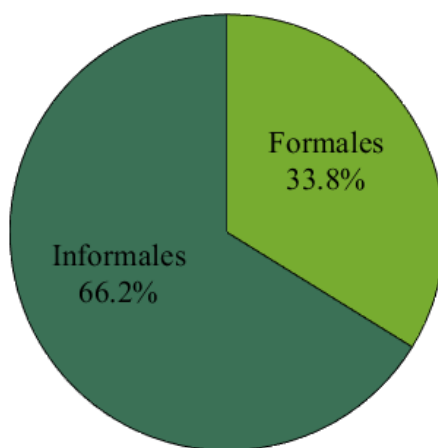


Figura 10. Formalidad e informalidad de los establecimientos.

Fuente: [1]. Elaboración propia.

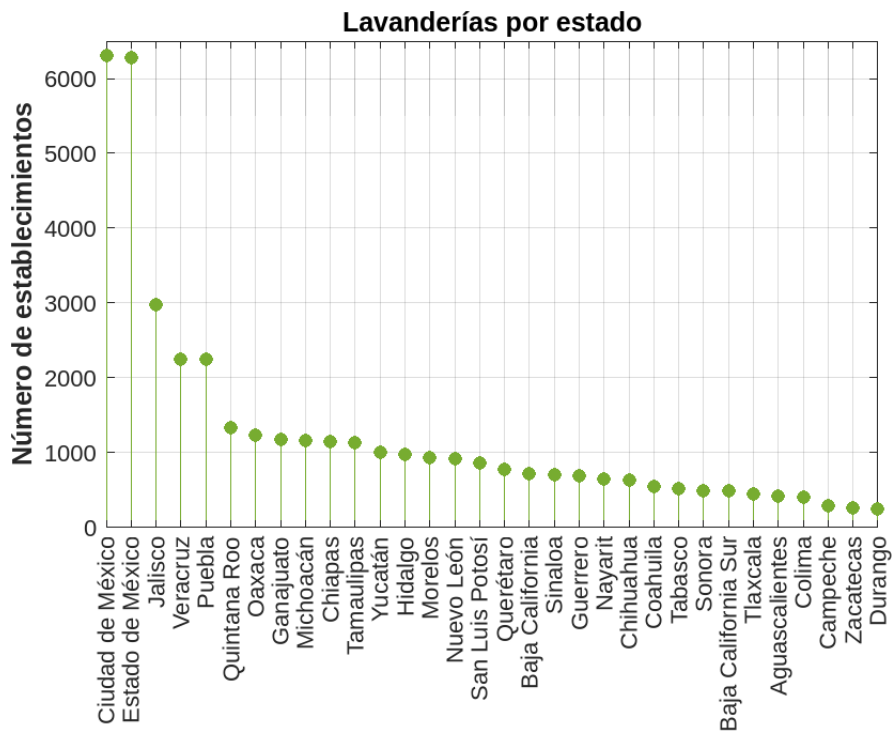


Figura 11. Establecimientos en el país.

Fuente: [1]. Elaboración propia.

1.3 Consumo energético de lavanderías en Puebla 2020

Durante el año de 2020 se tienen los registros que se emplearon 380.15m³ de combustóleo pesado (CBP), 32.06 m³ de Diesel (DI) y un mayor consumo en gas LP con un 32 741.69 m³. Estos datos corresponden a la parte del uso de equipos en el sector lavandería que utilizan combustibles fósiles. Para los que operan con electricidad se tiene un total de 6 505 725 Kw/h. Esto durante lo reportado en el año 2020 por las empresas que participaron en el ejercicio, cabe recalcar que existen otras que no presentan declaraciones de los consumos energéticos y las emisiones generadas. En Puebla el consumo eléctrico anual por vivienda es en promedio 1034 Kw/h, esto quiere decir que se puede suministrar energía a casi 6292 hogares, usando la energía empleada en este sector. [7][8]

1.4 Planteamiento del problema

En el subsector de lavanderías las principales fuentes de energía utilizadas son la eléctrica y el gas; las cuales producen emisiones al ambiente de manera indirecta o directa. Usando la energía solar (térmica y fotovoltaica) se pretende proponer una alternativa que pueda sustituir el insumo energético que se tiene en el subsector de lavanderías, con esto se espera disminuir el consumo energético y por consecuencia las emisiones generadas durante el proceso de operación.

1.5 Objetivo

Diseñar y simular una secadora solar que pueda ser una alternativa a las secadoras convencionales existentes en el mercado, aprovechando el recurso solar mediante paneles fotovoltaicos y térmicos.

1.6 Objetivos particulares

- Investigar la demanda energética de las lavanderías en la ciudad de Puebla, de acuerdo con el recurso energético disponible.
- Simular el comportamiento del diseño propuesto de secadora con un software especializado (Solidworks) mediante la dinámica de fluidos computacional.
- Analizar los resultados obtenidos de las simulaciones, modelo matemático y la temperatura de entrada y salida de la propuesta.

1.7 Justificación

Esta investigación se enfoca en el diseño y simulación de una secadora usada en lavanderías utilizando la energía solar (térmica). Esto se debe a que se ha observado en los estudios y datos proporcionados por la SMADSOT en el estado de Puebla que este sector produce una cantidad considerable de emisiones contaminantes y un consumo significativo de energía (sin contar los establecimientos que operan de manera informal). Esta propuesta nos permitirá ofrecer una alternativa a este subsector para disminuir el uso de energía secundaria (electricidad y gas) que genera altas emisiones al medio ambiente.

1.8 Hipótesis

El diseño propuesto alcanzará un desempeño similar a una secadora convencional con respecto al tiempo de secado de ropa y volumen de agua extraído. El diseño propuesto lograra proporcionar una alternativa al sistema de calentamiento del aire de una secadora. Esto permitirá un ahorro energético durante la operación de la secadora. De no ser así se logrará que el diseño pueda ser un complemento a las secadoras convencionales.

2 Estado del arte

2.1 Energía solar

2.1.1 El sol

A continuación, se presentan algunas de las características del sol. Se encuentra a 149.6 millones de kilómetros aproximadamente de la tierra, su diámetro es de 1.4 millones de kilómetros y su masa es de $(1.9889 \pm 5) \times 10^{30} \text{Kg}$, está compuesto principalmente de hidrógeno y helio, el primero es el combustible que usa el sol para la producción de energía mediante la fusión nuclear, la cual emite energía que llega a la tierra en una composición de 50% de espectro infrarrojo, 40% de visible y 10% de ultravioleta aproximadamente, esta energía emitida es de 1361 W/m^2 y es conocida como la constante solar. La mayoría de las energías renovables proceden del sol, ya sea de forma directa (celdas fotovoltaicas y térmicas) e indirecta (movimiento de las masas de aire, biomasa). [9]

2.2 Sistemas fotovoltaicos.

Dentro de los sistemas fotovoltaicos existen de diferentes capacidades que van de los KWh/anuales a los MWh o TWh. Sin embargo, se pueden clasificar en dos categorías que son los *interconectados* a la red y los que se encuentran *aislados* de esta. Ambos presentan sus respectivas ventajas y desventajas, por lo que no existe una preferencia en particular por alguno de los dos sistemas. [10]

2.2.1 Interconectados

Son los sistemas fotovoltaicos que se encuentran con una conexión bidireccional con el suministro de red eléctrica, lo que significa que puede suministrar energía y a la vez consumirla cuando las celdas fotovoltaicas no puedan satisfacer las necesidades de la instalación, esto sucede normalmente durante la noche o cuando la radiación difusa es la que predomina. La principal ventaja de este sistema es el costo

total del sistema ya que, la conexión bidireccional permite un flujo continuo de energía eléctrica lo cual evita el uso de un banco de baterías.[11]

2.2.2 Aislados

A diferencia de los sistemas interconectados estos se encuentran sin ninguna conexión a la red eléctrica y por ende es necesario implementar un banco de baterías para poder suministrar energía en las horas en las que los paneles fotovoltaicos no tienen una producción de energía.[11]

2.3 Módulos fotovoltaicos

Funcionan bajo el efecto fotoeléctrico y la unión aceptador-portador conocida también como unión p-n), donde se intercambian electrones y huecos en los materiales semiconductores. En la Figura 12 se ve una representación de esta unión, como se puede ver los electrones y “huecos” son atraídos ente sí formando una barrera llamada región de agotamiento y dejando polarizados los otros extremos de ambos materiales con esto se logra una corriente. La corriente que fluye a través de un módulo fotovoltaico se describe en la Ecuación 1. [11]

$$I = I_{ph} - I_0 \left(e^{\frac{e_0 U}{kT}} - 1 \right) \quad \text{Ecuación 1.}$$

donde:

I_{ph} : es la corriente generada por el efecto fotoeléctrico. [A]

I_0 : es la corriente de oscuridad. [A]

e_0 : es la carga elemental, $1.6021 \cdot 10^{-19}$ As.

U: es la corriente del módulo. [A]

K: es la constante de Boltzmann, $1.3806 \cdot 10^{-23}$ J/K.

T: es la temperatura. [K]

2.3.1 Irradiancia

Es la cantidad de energía que incide sobre el área de una superficie, esta se describe mediante la

Ecuación 3. [11]

$$I = \frac{P}{A} \quad \text{Ecuación 3}$$

donde:

P : es la potencia incidente [W]

A : es el área de la superficie [m²]

2.3.2 Irradiación

La irradiación es simplemente la irradiancia a lo largo de un periodo de tiempo, esto es:[11]

$$I = \frac{P}{A} h \quad \text{Ecuación 4.}$$

donde:

h : es el periodo de tiempo [h]

P : es la potencia incidente [W]

A : es el área de la superficie [m²]

2.4 Componentes de un sistema fotovoltaico

2.4.1 Inversores

Se encargan de transformar la energía eléctrica directa proveniente de las celdas fotovoltaicas a una corriente alterna para su utilización. En la Figura 13 se puede ver un inversor típico, existen otros modelos, pero la mayoría son de este tipo. [11]



Figura 13. Inversor solar comercial.

Fuente:[13]

2.4.2 Baterías

Normalmente son empleadas en arreglos de varias de estas para el almacenamiento de la energía solar transformada por las celdas para su futuro uso. Las baterías solamente son implementadas en los sistemas fotovoltaicos de tipo aislado. Además, las baterías deben tener un controlador de carga que regule la corriente proveniente de las celdas o la que es suministrada a las cargas. En la Figura 14 se puede ver un arreglo de baterías. [11]



Figura 14. Banco de baterías.

Fuente: [14]

2.4.3 Regulador o controlador

Se encargan de regular la corriente irregular proveniente de los módulos fotovoltaicos ya que, existen picos de corriente que pueden dañar a las baterías. Además, controlan los ciclos de carga y descarga de las baterías para aumentar su tiempo de vida útil. Existen dos tipos de controladores, el *PWM* (Pulse Width Modulation) y el *MPPT* (Maximum Power Point Tracking), ambos presentan sus respectivas ventajas y desventajas. Para el primero la principal ventaja es el bajo costo por lo que es utilizado normalmente para sistemas donde el voltaje de salida de las celdas no exceda al voltaje de entrada de las baterías. Para el MPPT su mayor ventaja es que es más eficiente, siempre entregará una salida constante y es capaz de modificar el voltaje de salida para ajustarlo a la entrada que requieran las baterías, su desventaja es el costo ya que, es más elevado que el del controlador PWM. En la Figura 15 se pueden ver ambos tipos de controladores. [11]



Figura 15. Controlador PWM (izquierda) y MPPT (derecha).

Fuente: [15]

2.5 Energía Solar Térmica

Además de la transformación de la energía proveniente del sol para obtener electricidad existen otros usos que tienen una extensa implementación en el sector industrial y residencial. El calor proveniente del sol es aprovechado para diferentes procesos, desde agua caliente, sistemas de calefacción, fundición de metales y secado o deshidratación de productos. Las diferentes aplicaciones tienen sus propias características por lo que es necesario implementar distintos tipos de colectores solares térmicos. [16]

2.5.1 Principio de Fresnel

Se refiere al comportamiento que tienen las ondas electromagnéticas cuando éstas atraviesan algo durante su trayectoria de incidencia, esto se puede ver de manera sencilla en la Figura 16 donde una onda electromagnética es proyectada en la trayectoria I a O esta onda además pasa del medio n_1 y atraviesa el medio n_2 . Después un porcentaje de la onda original es reflejado en la dirección OR y otra

parte es refractada en la dirección. Con esto existe la relación entre los ángulos de reflexión y el ángulo de incidencia como se muestra en la Ecuación 16. Esta relación es la que es usada en los sistemas de concentradores solares tipo Fresnel. [17]

$$\theta_i = \theta_r \quad \text{Ecuación 5}$$

donde:

θ_i : es el ángulo de incidencia.

θ_r : es el ángulo de reflexión,

2.5.2 Convección

Es una de las tres formas de transferencia de calor que existen. Esta transmisión de calor ocurre por parte de un fluido ya sea líquido o gaseoso que cede calor o lo extrae de la superficie adyacente. Existen dos tipos de convección, la forzada y la natural. En la forzada se aplica una fuerza para aumentar su velocidad y este tenga una mayor transmisión de calor; mientras que en la natural no se aplica una fuerza externa para incrementar la velocidad del fluido, en la Figura 17 se ve de manera simplificada los dos tipos de convección. Esta transferencia de calor depende de variables y características del fluido como su viscosidad dinámica, conductividad térmica, densidad específica, calor específico y la velocidad a la que se encuentra el fluido. Además, también depende de la geometría, rugosidad y su conductividad de la superficie. [19]

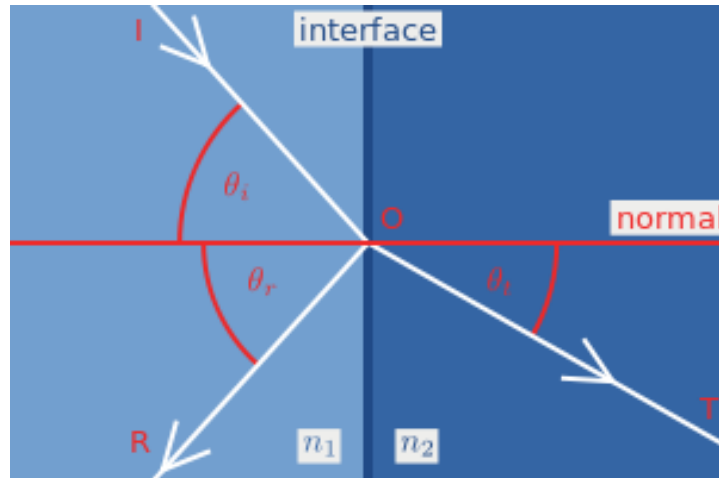


Figura 16. Propagación de la refracción de las ondas de luz al incidir por rendijas.

Fuente: [18]

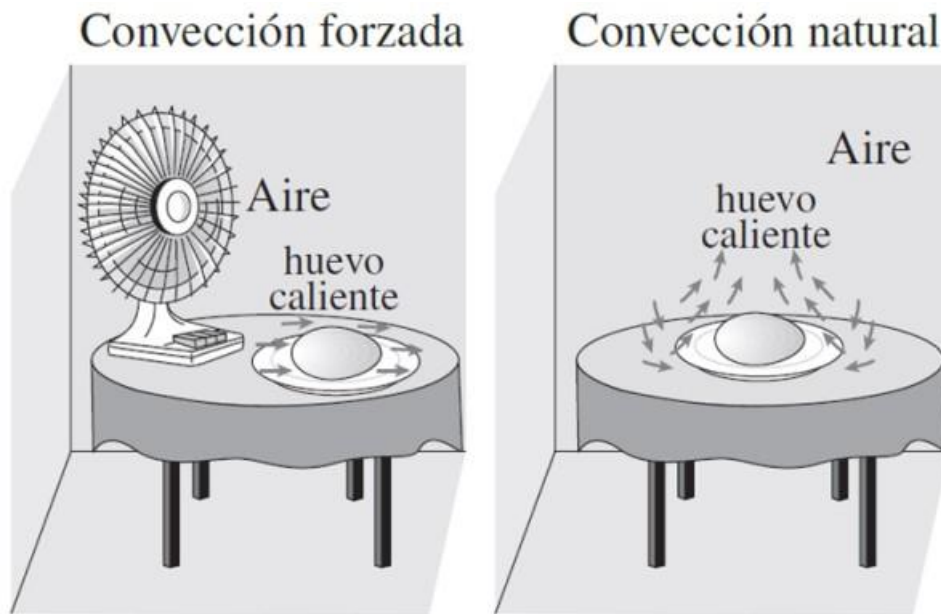


Figura 17. Convección forzada y natural.

Fuente: [20]

2.5.3 Colectores solares

Es importante antes de conocer los diferentes tipos de concentradores la diferencia entre estos y los colectores solares ya que, si bien pueden parecer sinónimos la diferencia radica en que un colector tiene un factor de concentración usualmente de uno, este factor es adimensional y se refiere a la cantidad de energía que es transmitida al área de recepción con respecto al área de colección. Existen diferentes tipos de concentradores solares, los cuales se presentan a continuación:[16]

- Colectores cilindro parabólicos (PTC)
- Colectores lineales de Fresnel (LFC)
- Torres solares
- Discos parabólicos
- Colector de placa plana (FPC)
- Colector de tubos de vacío (ETC)
- Colector parabólico compuesto (CPC)
- Colector de placa plana evacuado (EFPC)

Algunos principios y conceptos empleados en los colectores se presentan a continuación para un mejor entendimiento de lo presentado a continuación.

2.5.3.1 Colectores cilindro parabólicos

Está compuesto por espejos, una estructura, un receptor, un fluido de trabajo y un sistema de seguimiento. A diferencia de los concentradores parabólicos o las torres solares estos tienen una concentración lineal a lo largo de un cilindro en vez de un solo punto.[21]

El colector dispone de una lámina en forma de parábola que refleja la radiación solar directa y la concentra en el tubo receptor ubicado a lo largo de la línea focal. Por lo general, el tubo absorbente de metal es cubierto de un material selectivo (cobre) que mejora la transferencia de calor al interior del tubo por donde circula el fluido caloportador. Este conducto absorbente es aislado al vacío con un tubo de vidrio para disminuir las pérdidas térmicas por convección a pesar de originarse pérdidas ópticas por efecto de la reflexión. Estos colectores deben acoplarse a un sistema de seguimiento para alinearse a la trayectoria del sol durante el día. Los componentes de este tipo de colector se pueden ver en la Figura 18.[22]

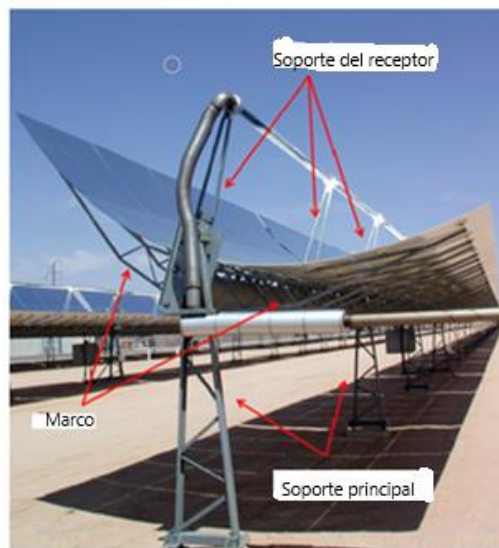


Figura 18. Componentes de la estructura del colector PTC.

Fuente:[23]

2.5.3.2 Colectores lineales de Fresnel

Estos se componen típicamente de un arreglo de espejos planos o con una concavidad mínima que siguen el principio de Fresnel con respecto a la propagación de las ondas, por lo que el diseño de estos es diferente en cada sistema con respecto a las dimensiones de los espejos y las características generales del concentrador. La principal desventaja que presentan este tipo de colectores es la baja eficiencia térmica/óptica con respecto a los concentradores con una forma más parabólica, esto debido a que se tiene un receptor fijo y un eje de seguimiento en el plano horizontal, lo que provoca pérdidas, por eso el costo de los espejos tiene que ser bajo para compensar esta desventaja. [24] En la Figura 19 se tiene un esquema de este tipo de colector.

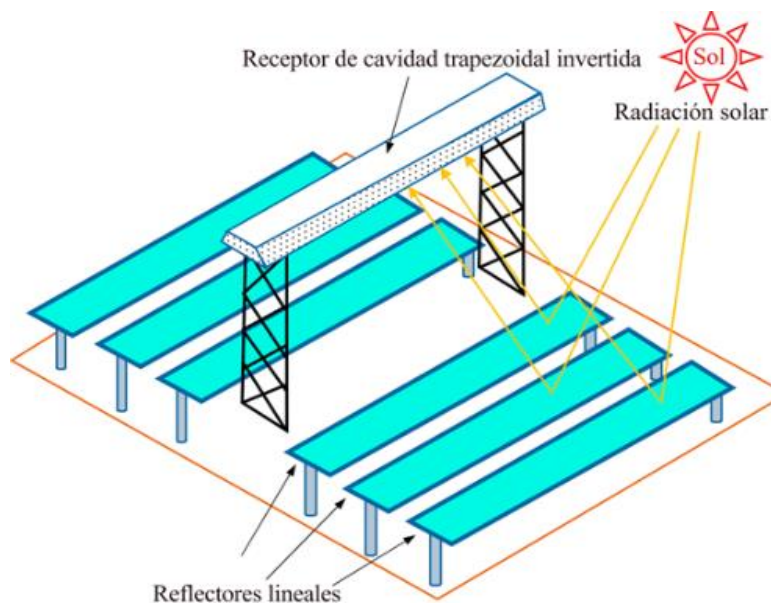


Figura 19. Estructura de un colector LFC

Fuente: [24]

2.5.3.3 Torre solar

Una torre solar es un sistema óptico compuesto de espejos con superficies cuadráticas ubicados en la parte inferior del sistema, los cuales apuntan a un espejo con forma elíptica a hiperbólica los cuales a su vez tienen apuntando en su foco a un concentrador el cual recibe toda la energía acumulada. En la Figura 20 se tiene un pequeño esquema del proceso de una torre solar para la producción de electricidad mediante la evaporación del agua.[25]

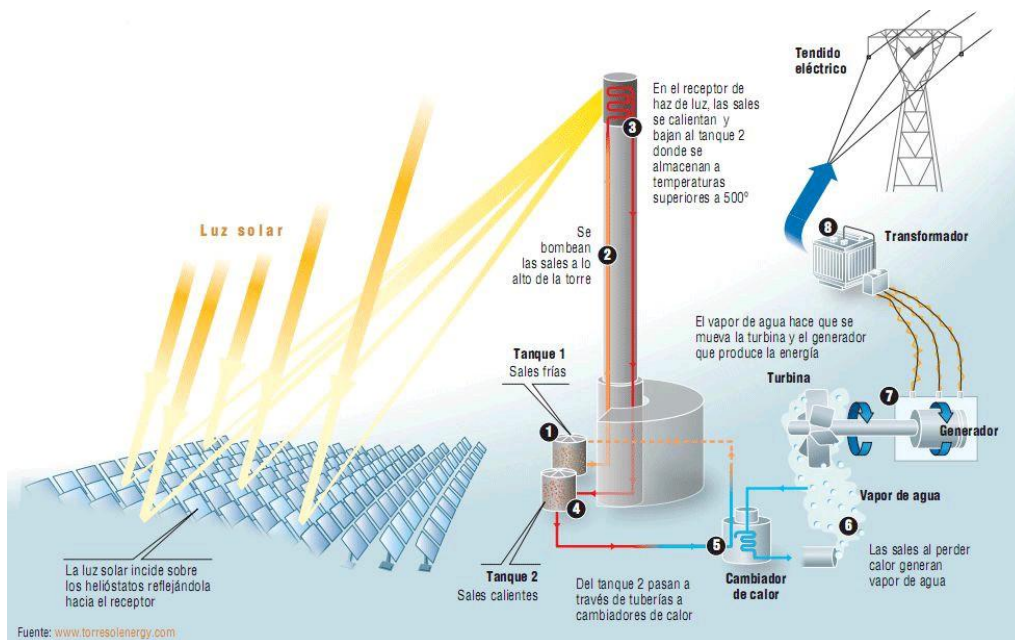


Figura 20. Estructura y funcionamiento de una Torre solar.

Fuente: [26]

2.5.3.4 Discos parabólicos

Como su nombre lo dice, estos tipos de concentradores de energía tienen una forma parabólica la cual permite mandar la energía a un punto focal. Sus aplicaciones varían desde la generación de electricidad, el calentamiento de agua o la cocción de alimentos. En la Figura 21 se tiene una imagen de un colector de este tipo, el cual tiene un motor para generar electricidad.[27]



Figura 21. Colector de tipo LFC.

Fuente: [28]

2.5.3.5 Colector de placa plana

Se trata de una carcasa compuesta de un material aislante para evitar pérdidas de calor, dentro de esta se encuentran los receptores de calor, estos en su mayoría son tubos metálicos por los que conducen los fluidos caloportadores. En la parte superior se encuentra una cubierta de cristal que permite la incidencia de radiación a los receptores de calor y al mismo tiempo evita la pérdida de calor mediante la convección del aire exterior y la radiación del mismo receptor, en la Figura 22 se pueden ver los componentes de un FPC por medio de un corte transversal de este. Al igual que su diseño, su funcionamiento es sencillo, la radiación del sol calienta a los receptores, estos transfieren la energía al

fluido caloportador y este puede ser usado de manera directa o pasar a un sistema de almacenamiento. Este tipo de colector se encuentra fijo en una posición, por lo que su rendimiento cambiará a lo largo del día, sin embargo, su bajo costo hace que sea una excelente opción para procesos que no requieran una temperatura elevada, esto es a menos de 100°C. [29]

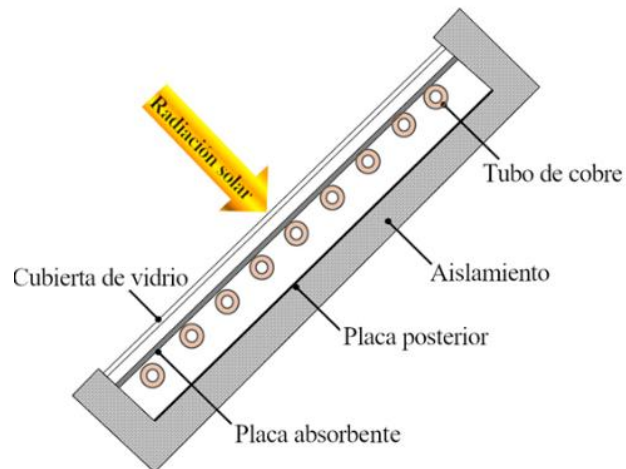


Figura 22. Estructura de un FPC mediante un corte transversal.

Fuente: [29]

2.5.3.6 Colector de tubos de vacío

Estos colectores utilizan tubos de vacío. Estos están conformados por dos tubos, uno absorbe la radiación solar y se encuentra dentro de otro tubo, este último se encuentra concéntrico al otro y separado mediante un vacío, esto para reducir las pérdidas de calor por convección y conducción. Su temperatura de operación puede llegar hasta los 120°C y al igual que los colectores de placa plana sus costos en el mercado son bajos. Existen dos tipos diferentes de este tipo de colectores, de tipo *flujo directo* y *heat pipe*.

Para caso de los colectores de *flujo directo* el fluido caloportador puede ser empleado directamente. En los tubos de vacío de este tipo de colector la tubería interna es diseñada en forma de U por donde circula el fluido caloportador, esta tiene un recubrimiento que permite una mayor conducción de calor al fluido

y a su vez evitar pérdidas por radiación. La estructura interna y el principio de funcionamiento se pueden apreciar en la Figura 23. [30]

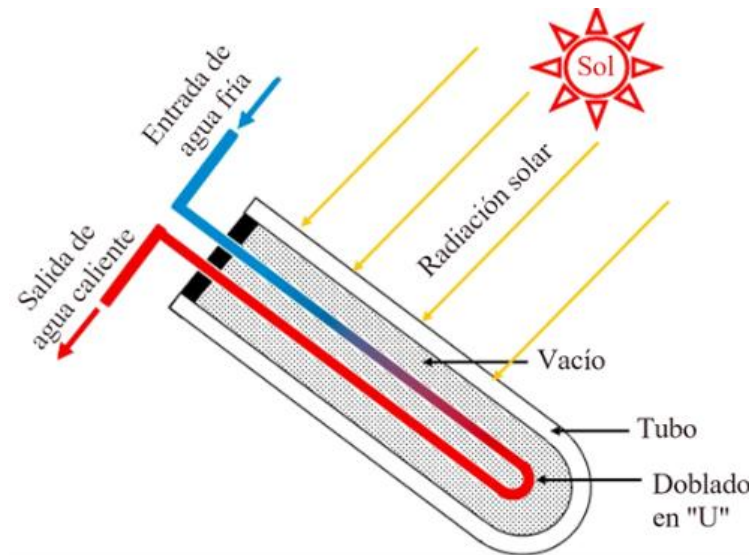


Figura 23. Estructura interna y principio de operación de tubos de colectores ETC de flujo directo.

Fuente: [30]

Para los colectores de tipo de *flujo directo* el principio de funcionamiento es mediante la evaporación y condensación de un fluido caloportador con una alta volatilidad, en este caso el fluido caloportador no es empleado de manera directa ya que, solo se transfiere calor. El funcionamiento consiste en usar la radiación solar para calentar un fluido en estado líquido para que logre su evaporación y esta suba, través del tubo, en donde un condensador lo volverá a su estado líquido e intercambiando el calor a otro fluido. El fluido caloportador en estado líquido y con una menor temperatura volverá al fondo del tubo colector para repetir el ciclo. La estructura y el principio de operación del colector se pueden ver en la Figura 24.[30]

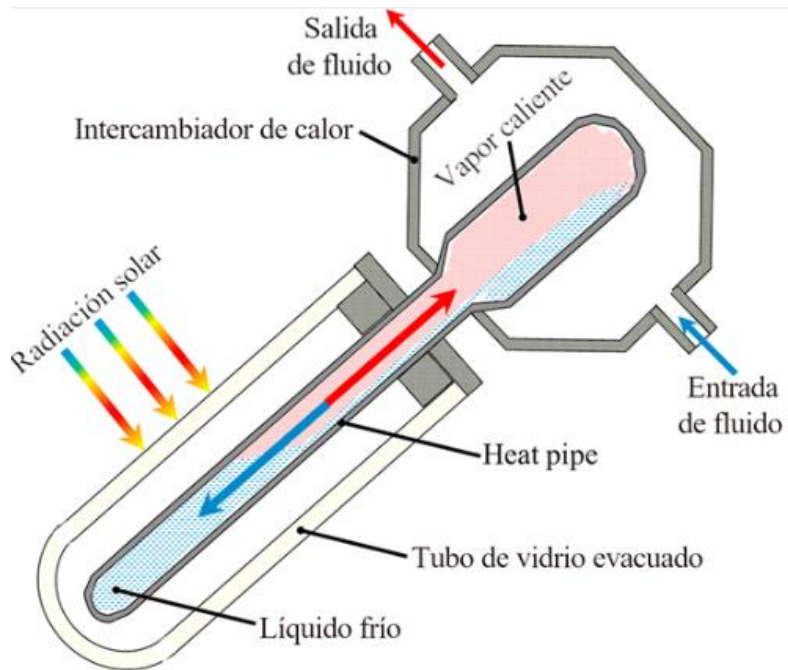


Figura 24. Estructura interna y principio de operación de tubos de colectores ETC tipo heat pipe.

Fuente: [30]

2.5.3.7 Colector parabólico compuesto

Está conformado por dos superficies parabólicas que reflejan la radiación a un mismo centro. En el centro se sitúa un tubo denominado absorbedor que recibirá toda la energía precedente de estas superficies. Las ventajas de este tipo de colector es que puede utilizar la radiación solar difusa y se evita la necesidad del uso de un sistema de seguimiento. Su temperatura de operación no supera los 150°C. En la Figura 25 se plasma gráficamente y simple el funcionamiento de operación de este tipo de colector.[30]

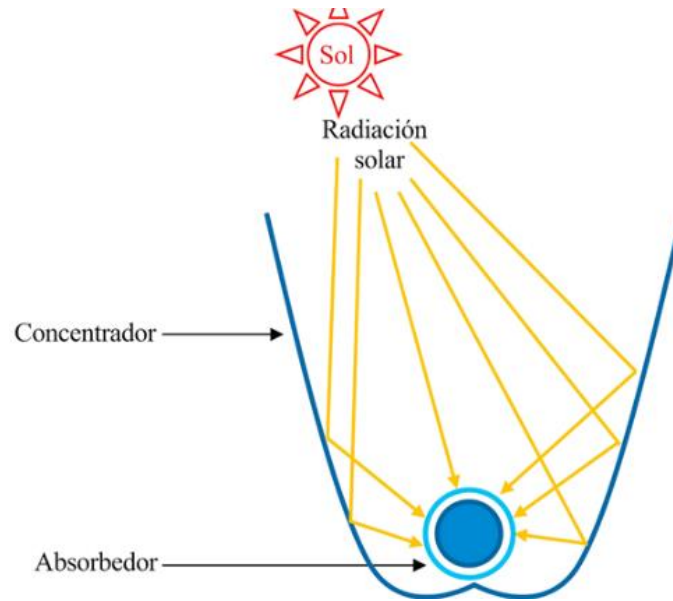


Figura 25. Representación de un colector tipo CPC.

Fuente: [6]

2.5.3.8 Colector de placa plana evacuado

El colector de placa plana evacuado (*Evacuated flat plate collector*) como su nombre lo indica es una combinación de los colectores de placa plana FPC y los que utilizan tubos de vacío en su funcionamiento ETC. El rango de temperatura de operación va de los 120 a los 180°C, además se logra una mayor eficiencia a comparación con los colectores FPC y ETC debido a que se disminuyen las pérdidas de calor por conducción y convección; por último, se reduce el área que ocupa el colector a comparación con estos mismos tipos de colectores. En la Figura 26 se presenta la composición de este tipo de colector.[30]

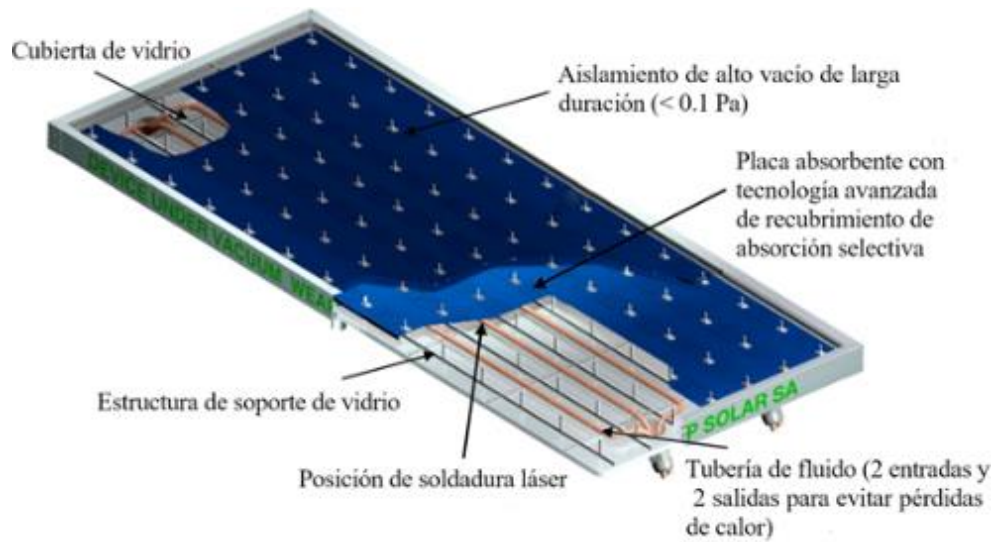


Figura 26. Estructura y componentes de un colector tipo EFPC.

Fuente: [30]

Tabla 1. Temperaturas de operación de los colectores.

Fuente: Elaboración propia.

Colectores	Temperatura de operación (°C)
PTC (Parabolic trough collectors)	350-400
LFC (Linear Fresnel Collectors)	250-350
Torres solares	250-565
Discos parabólicos	550-750
Colector de placa plana (FPC)	100
Colector de tubos de vacío (ETC)	120
Colector parabólico compuesto (CPC)	150
Colector de placa plana evacuado (EFPC)	120-180

En la tabla 1 se presentan la comparativa de la temperatura de operación de los diferentes tipos de colectores presentados anteriormente.

2.5.4 Irradiación en México

En el país existe un alto potencial para la implementación de sistemas solares fotovoltaicos y también aprovechando también la energía térmica debido a los buenos niveles de irradiación solar en el territorio nacional, esto se puede apreciar en los mapas de las Figuras 27, 28 y 29.

En la Figura 27 se tiene el mapa de irradiación normal directa (DNI) del país durante los años 1999 a 2018. Este tipo de irradiación se caracteriza por ser medida con una superficie que se encuentra de manera perpendicular al sol, además no toma en cuenta la irradiación difusa. Se puede ver que el norte del país es la zona que más alto índice de irradiación, después sigue la zona centro, en especial el estado de Puebla y Oaxaca. [31]

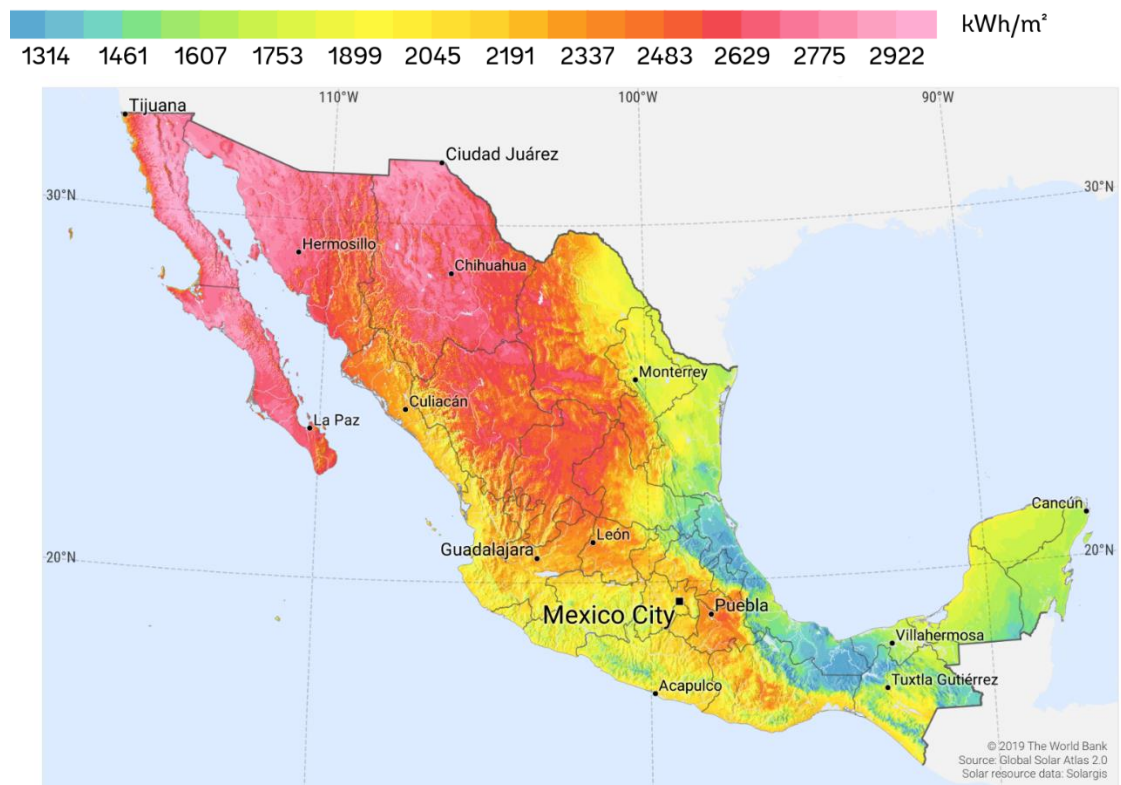


Figura 27. Mapa de México de irradiación normal directa promedio en un periodo de 1999 a 2018.

Fuente:[31]

En la Figura 28 está el mapa de la irradiación horizontal global que es simplemente la suma de la DNI y la irradiación difusa. En este caso se puede ver un mejor nivel de irradiación en la mayoría del territorio nacional, también se puede ver que en el estado de Puebla se tiene un aumento en este tipo de irradiación. En la Figura 29 se tiene un aumento del mapa para enfocar la región del estado de Puebla y poder visualizar mejor la irradiación en esta zona. [31]

Por último, en la Figura 30 se tiene el mapa con el potencial de instalación fotovoltaica y para uso de colectores en el país el cual toma como unidades el kWh/kWp donde kWp son kW pico. [31]

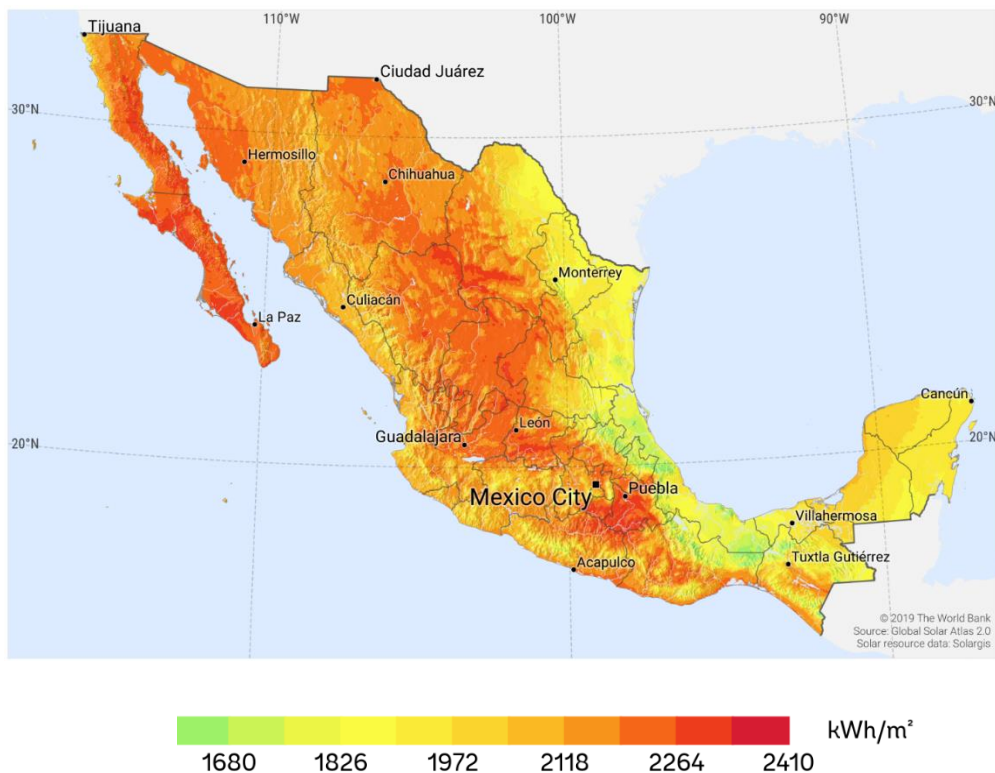


Figura 28. Mapa de México de irradiación horizontal global en un periodo de 1999 a 2018.

Fuente: [31]

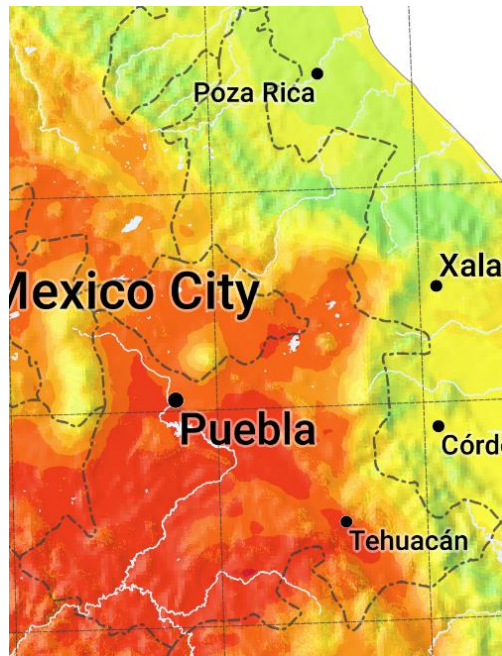


Figura 29. Irradiación horizontal global en un periodo de 1999 a 2018 en el estado de Puebla.

Fuente: [31]

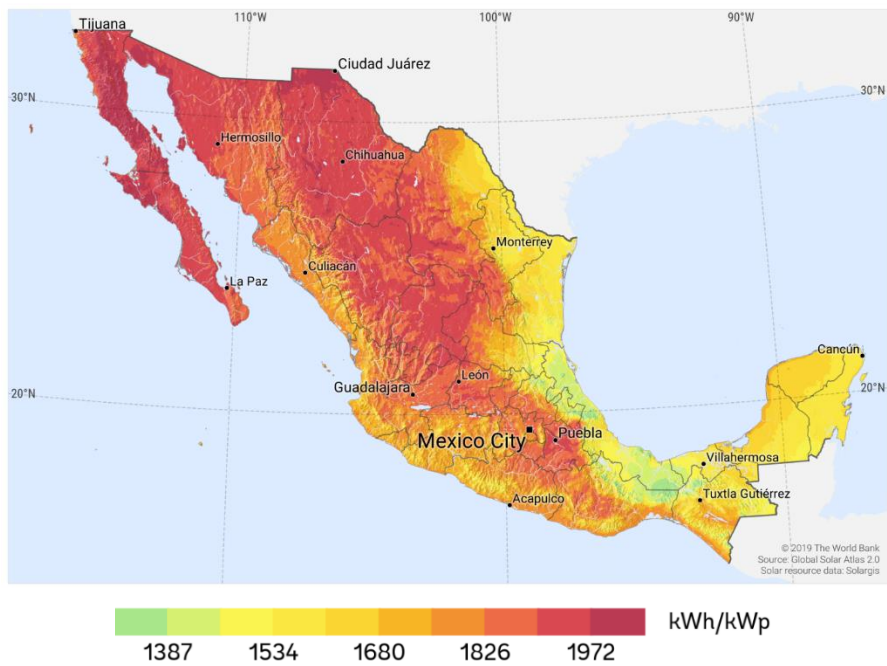


Figura 30. Mapa de México de potencia de potencia fotovoltaica de 1999 a 2018.

Fuente: [31]

2.5.5 Características del estado de Puebla

El estado de Puebla cuenta con una superficie de 34 306 m². Cuenta con una precipitación anual promedio de 1270 mm. Su temperatura anual media es de 17.5 °C, con un máximo promedio de 28.5°C y un mínimo de 6.5°C. [32]

2.6 Tipos de secadoras

Existen hoy en día tres tipos diferentes de secadoras, las de evacuación, condensación y bomba de calor, cada una presenta sus ventajas y desventajas, por eso a continuación se presenta una explicación de cada tipo de secadora.

2.6.1 Secadora de evacuación

Esta secadora es la más simple que existe, su funcionamiento consiste en calentar una corriente de aire que es tomada del exterior, esta es calentada ya sea por medio del calentamiento de una resistencia o por la combustión de gas; el aire ya con una mayor temperatura pasa a la recámara o tambor, donde se encuentra la ropa, después comienza a tomar la humedad de esta, y al finalizar el aire húmedo es expulsado de la secadora al ambiente. En la Figura 31 se puede ver el funcionamiento de la secadora anteriormente explicado. [33]



Figura 31. Principio de funcionamiento de una secadora de evacuación.

Fuente:[34]

2.6.2 Secadoras de condensación

De igual manera que las secadoras de evacuación, esta secadora funciona calentando aire para extraer la humedad, pero con unos pasos adicionales que permiten recuperar parte del calor empleado en el calentamiento del aire. Esto se puede ver en la Figura 32, en donde los pasos adicionales consisten en un sistema de condensación para extraer la humedad del aire que sale del tambor de la secadora para una recirculación de este y así tener una corriente de aire a una mayor temperatura que la inicial, esto permite un mayor ahorro energético al momento de iniciar un nuevo ciclo de secado. Por las anteriores características el precio de estas secadoras es un poco más elevado, sin embargo, es compensado con su ahorro energético.[35]

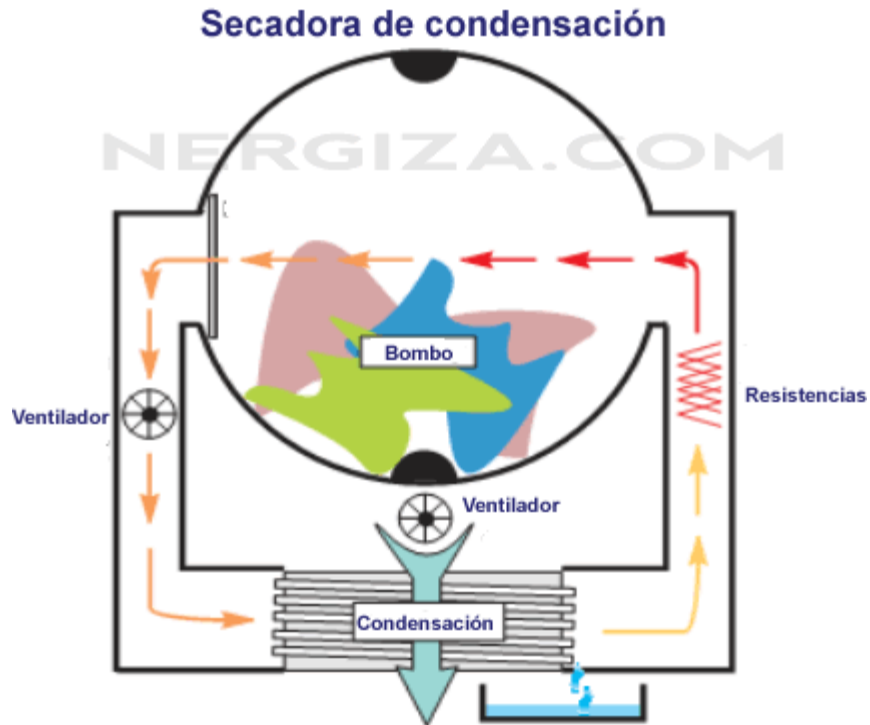


Figura 32. Principio de funcionamiento de una secadora de condensación.

Fuente: [34]

2.6.3 Secadoras de bomba de calor

Este tipo de secadora es la más eficiente de todas, utiliza el principio de bomba de calor utilizando dos circuitos separados en la secadora, uno para la circulación del aire y otro para el fluido intercambiador de calor. En la Figura 33 se puede ver el ciclo de esta secadora, en el punto 1 se encuentra la ropa húmeda la cual es secada mediante la introducción de aire caliente y seco; después el aire ya con mayor humedad pasa al evaporador en donde se extrae su contenido de humedad y es enfriado, posteriormente pasa al siguiente paso, en donde gracias al intercambiador y a la bomba se le puede agregar el calor extraído anteriormente y comenzar el proceso de nuevo. Las desventajas de este tipo de secadora es el mayor tiempo de secado debido a la temperatura menor de operación y el costo que tiene.

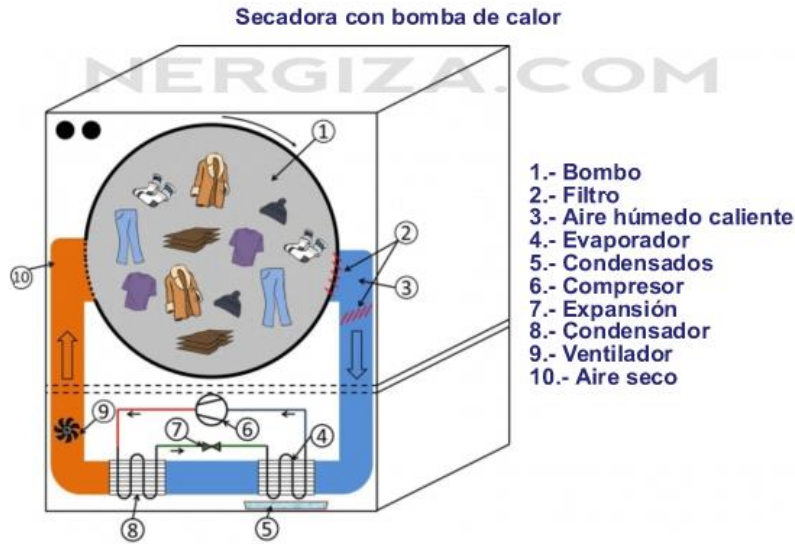


Figura 33. Principio de funcionamiento de una secadora de tipo bomba de calor.

Fuente: [34]

2.6.4 Proceso de secado de una secadora

Independientemente del tipo de secadora que se tenga, todas siguen un mismo proceso de secado. Este proceso consiste en 4 etapas; la primera de estas es la fase de calentamiento en donde, se tiene el mayor consumo energético ya que se eleva la temperatura de escape (línea azul), además de la transferencia de calor a otros elementos de la secadora, algunas veces el proceso de secado puede empezar a ocurrir desde esta etapa; la segunda etapa es la de proceso de secado constante en la que la temperatura y la humedad relativa que salen del sistema permanece con pocas variaciones, en esta fase es donde se produce el mayor porcentaje de secado de la ropa; al final de esta etapa el proceso de secado comienza a decrecer y la temperatura del sistema comienza a incrementar, a esta fase se le conoce como la etapa de disminución del secado; la última fase es la de enfriamiento en la cual la secadora deja de producir calor para disminuir la temperatura de la ropa y del sistema. Todo este proceso se puede ver en la Figura 34.

Además de lo ya mencionado se puede ver en la misma Figura 34 el comportamiento del consumo energético (línea roja) del proceso de secado, el cual comienza bastante elevado debido a la fase de *calentamiento* y a la de *secado constante* (1 y 2 respectivamente); después comienza a disminuir en la fase 3 y tiene dos picos negativos debido a que las secadoras tienen un sistema que previene el sobrecalentamiento dejando de suministrar energía a los calentadores de la secadora; por último en la fase 4 el sistema consume muy poca energía debido a la inactividad de los calentadores. [36]

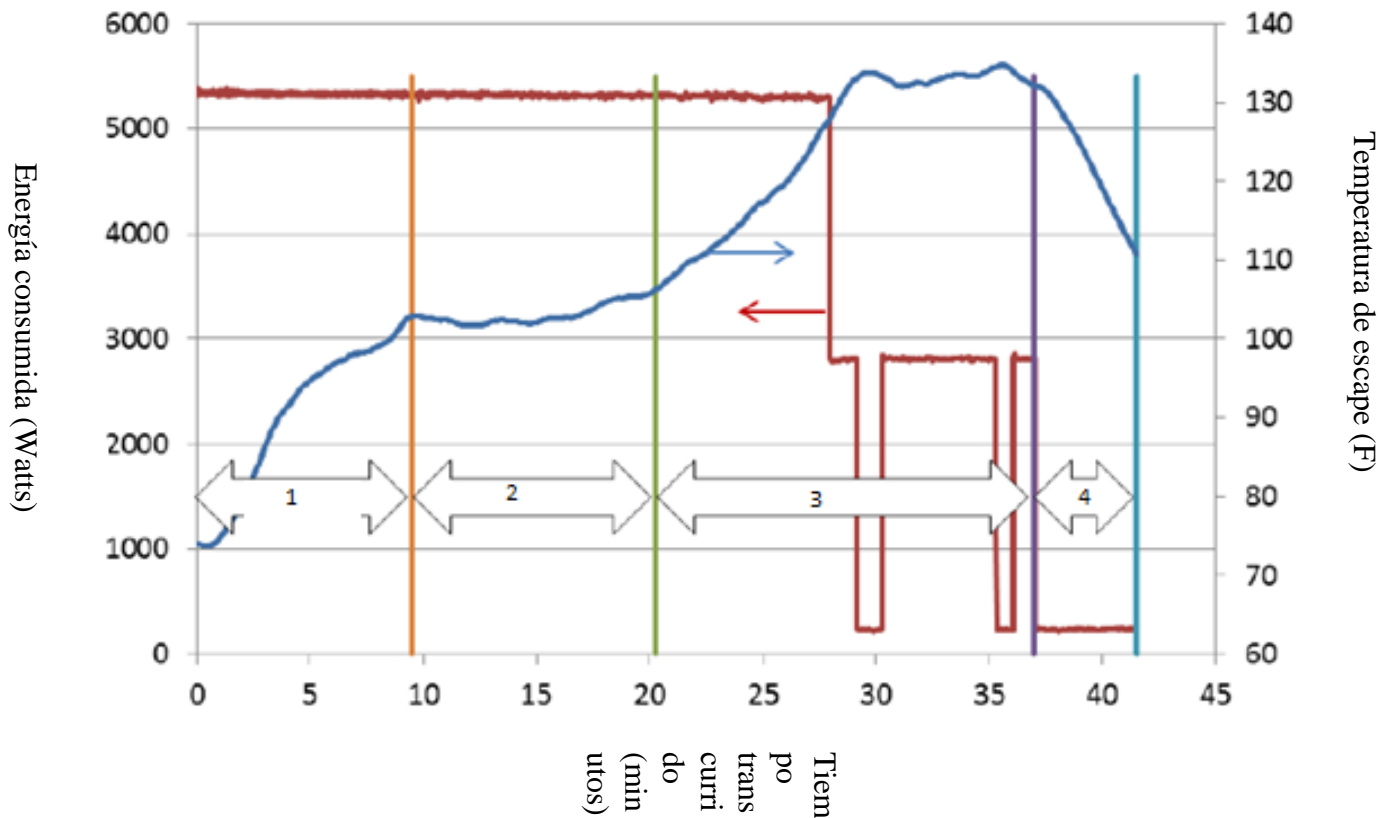


Figura 34. Diagrama de las fases del secado en una secadora. La numeración corresponde a las fases; la línea roja la energía consumida y la azul la temperatura.

Fuente: [36]

2.6.5 Temperatura de secado

Esta temperatura es muy importante ya que existen diferentes tipos telas y de composiciones textiles por lo que existen diferentes niveles de secado para evitar dañar las prendas más ligeras y con telas delgadas y para lograr secar la ropa con telas más gruesas como toallas, edredones o las que están compuestas por algodón puro. En la Tabla 2 se presentan los diferentes niveles de secado, sus características, sus temperaturas de operación y el tipo de tela en los que estos se ocupan.[37]

Tabla 2. Diferentes niveles de operación y sus características de una secadora.

Fuente: [37]

Nivel	Temperatura de operación	Tipo de tela
Bajo	50 °C	Seda, Lana, ropa tejida, ropa deportiva, tela tipo gasa.
Medio	57-60 °C	Prendas de algodón y de material sintético.
Alto	63-70 °C	Mezclilla, algodón pesado, toallas, edredones.

2.7 Intercambiadores de calor

Existen diversas formas de clasificar a los intercambiadores de calor ya sea por su forma, la dirección que tienen los fluidos involucrados, etc. Por eso, a continuación, se presentan algunos tipos de intercambiadores de calor y sus características.

- Intercambiador de calor de tubo: en este, uno de los fluidos pasa a través de los cilindros internos que se encuentran dentro del intercambiador y el otro fluido en la parte externa. [38]



Figura 35. Intercambiador tipo tubo

Fuente: [39]

- Intercambiador de calor de placas: En este, dos fluidos con diferentes temperaturas atraviesan una serie de placas que se encuentran una sobre otra. [38]

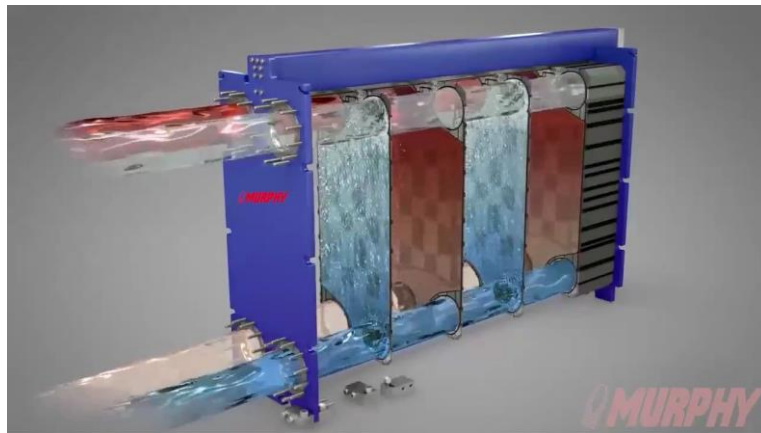


Figura 36. Intercambiador tipo placas.

Fuente: [40]

Dependiendo del tipo de operación de los fluidos que tienen los intercambiadores se clasifican de la siguiente manera.

- De flujo paralelo: En estos, ambos fluidos se mueven en la misma dirección, de igual manera ambos entran al intercambiador por el mismo lado, como se muestra en la Figura 37. [38]

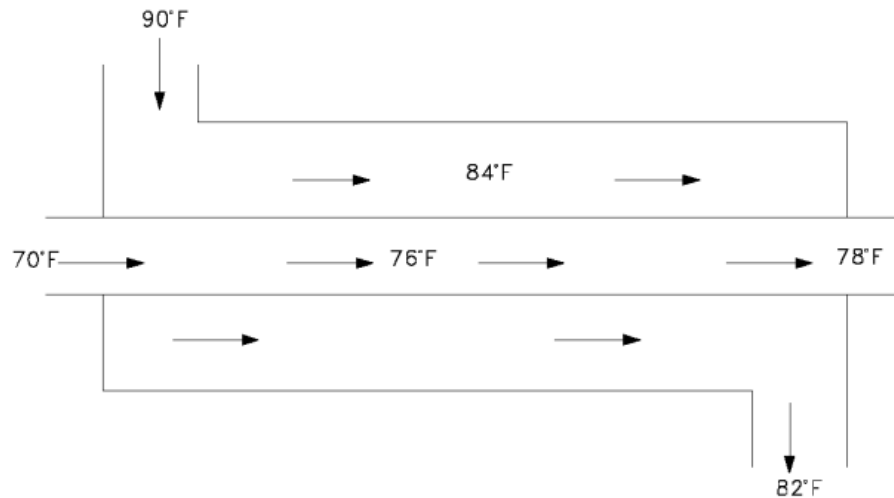


Figura 37. Intercambiador flujo paralelo.

Fuente: [38]

- De contraflujo: en este caso los fluidos van en dirección contraria uno del otro, las salidas y entradas de cada fluido están en extremos opuestos. [38]

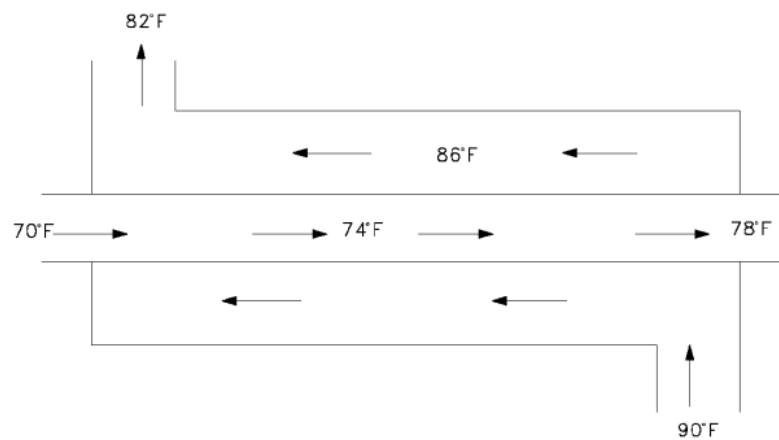


Figura 38. Intercambiador de contraflujo

Fuente: [38]

- De flujo cruzado: en este tipo, un fluido pasa por dentro del tubo y el otro por fuera en un ángulo de 90°, como se puede ver en la Figura 39. [38]

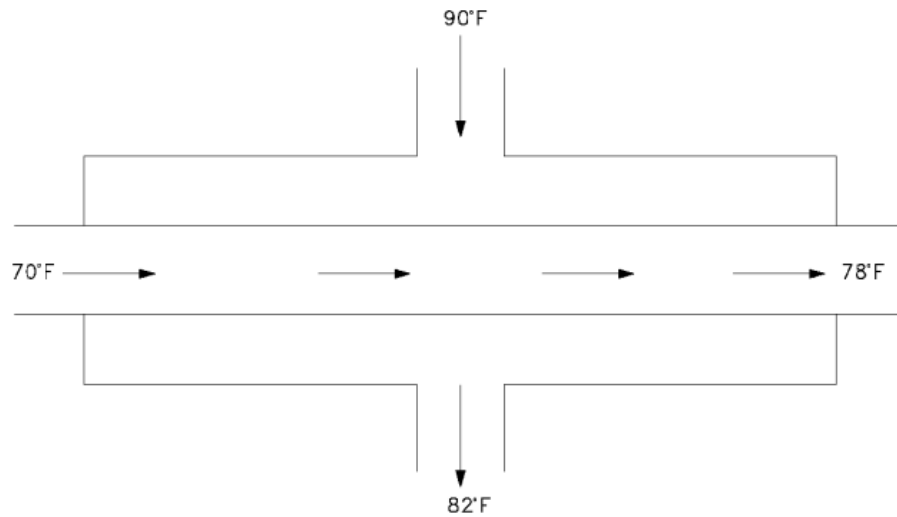


Figura 39. Intercambiador de flujo cruzado.

Fuente: [38]

- Intercambiadores de calor de un solo paso: es cuando los fluidos intercambian calor en el sistema una sola vez durante todo su recorrido. [38]

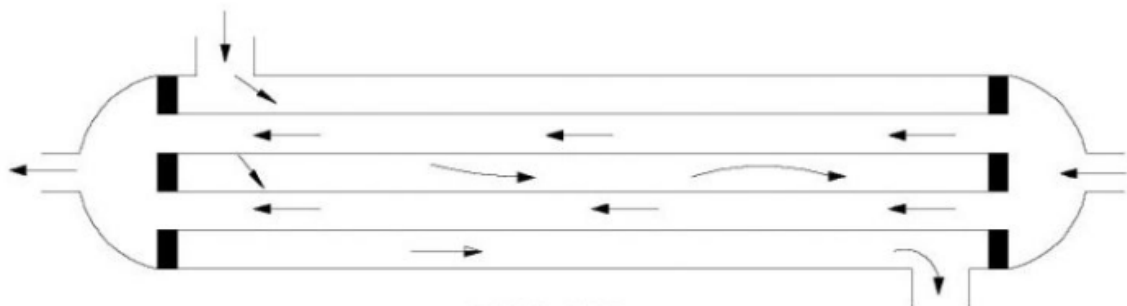


Figura 40. Intercambiador de un solo paso.

Fuente: [38]

- Intercambiadores de calor de múltiples pasos: es cuando los fluidos intercambian calor más de una vez a lo largo de su recorrido dentro del sistema. [38]

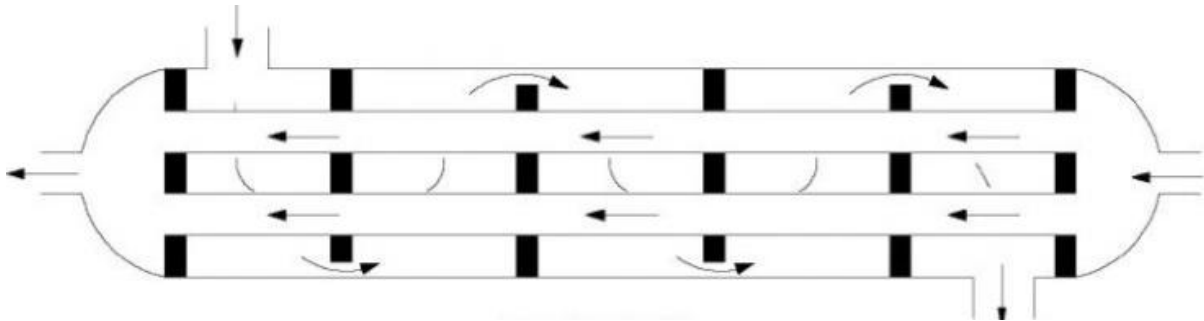


Figura 41. Intercambiador de un solo paso.

Fuente: [38]

2.8 Metodología

- Recolección de datos: Se solicitará a la secretaría la base de datos para el desarrollo y análisis por medio de oficio el acceso a la información para el análisis de estos.
- Diseño de prototipo en software especializado (Solidworks).
- Elección de materiales, fluido conductor de calor, y otras variables para optimizar el diseño.
- Simulación del diseño por medio de la dinámica de fluidos computacional (CFD).
- Evaluación de resultados y generación de conclusiones.
- Análisis de colectores solares para el desarrollo del prototipo.

3 Diseño y simulación de los componentes de secado

Para la realización del diseño de los componentes de y la simulación de estos fue empleado el software *Solidworks* y un complemento de este programa, *Flow simulation*. Durante este capítulo se tienen diferentes modelos de los diseños con sus respectivos comportamientos en las simulaciones, esto debido a que fue necesario ir implementando cambios en el diseño original para obtener mejores resultados con el fin de optimizar el rendimiento del sistema.

Revisando e investigando sobre los tipos de secadora y el proceso de secado de la ropa se decide enfocar el diseño a los siguientes aspectos:

- Se diseña un modelo que se enfoque en expulsar aire a una temperatura que pueda ser óptima para el secado de ropa.
- Solamente se simulará el intercambio de calor entre el aire y el sistema y no un secado de ropa.
- El análisis es de tipo estado estacionario, debido a que solo se requiere la temperatura de salida del aire y no el tiempo en que tarda en alcanzarla.
- Las dimensiones de la caja y el serpentín serán propuestas de acuerdo con un promedio de las dimensiones de diferentes tipos de resistencias de secadoras con el propósito de que solamente sean remplazadas las resistencias con el diseño que se propone a cualquier tipo de secadora visto con anterioridad.
- El tipo de intercambiador es de múltiples pasos, de contraflujo y de tipo tubular.
- No se toma en cuenta el recorrido que tiene el agua que va de los colectores al prototipo y viceversa ya que, no se tienen datos sobre las dimensiones de un establecimiento.
- Los planos y medidas de los prototipos se tomaron con base a las resistencias de una secadora real y se encuentran en los anexos al final de este trabajo.

- El aire se obtiene del medio ambiente y es incorporado al sistema con ayuda de la secadora mediante convección forzada.
- El número de pasos de la tubería empleada es de seis.
- No se toma en cuenta la utilización de un tanque para almacenar el agua utilizada.

3.1 Primer modelo

3.1.1 Primer prueba

3.1.1.1 Diseño

Para una primera aproximación al comportamiento deseado en la simulación se optó por la utilización de dos piezas elaboradas en el programa de *Solidworks*; la primera es una tubería con forma de serpentín que servirá para simular el comportamiento por donde pasará el agua caliente proveniente de los colectores solares; la segunda pieza es una caja en la cual se encuentra la tubería de serpentín y cuenta con aperturas en la parte superior e inferior, una para la entrada del aire del exterior con una menor temperatura y la otra para el aire que entrará al interior del tambor de la secadora ya con una temperatura adecuada para la extracción de humedad de la ropa. En la Figura 42 se puede ver la tubería en una vista isométrica, se elige el diseño de una tubería en forma de serpentín para una mayor transferencia de calor; en la Figura 43 se tiene la misma tubería, pero con una vista frontal para verla desde un diferente ángulo.

Para el diseño de la caja se eligió un modelo básico el cual sirve como soporte de la tubería de serpentín y que permite el paso de flujo de aire, para esto se hicieron tres extrucciones en la parte superior e inferior de la caja, además se realizaron cortes en el interior de la caja para formar un canal y con esto aumentar el flujo del aire. En la Figura 44 se puede ver la caja desde el exterior en una vista isométrica, en la cual se pueden observar las salidas.

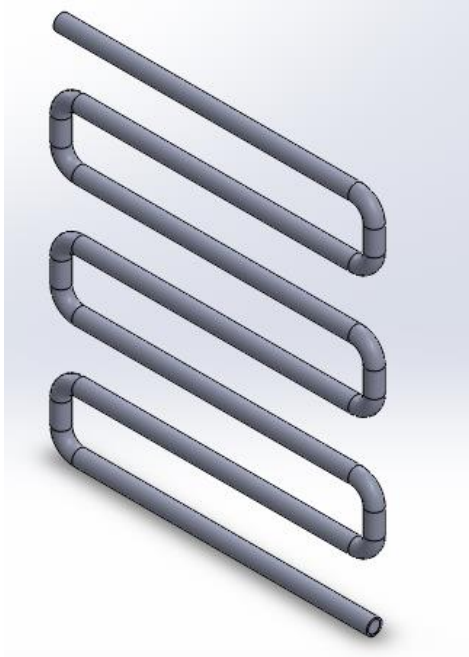


Figura 42. Tubería, vista isométrica.

Fuente: Elaboración propia.

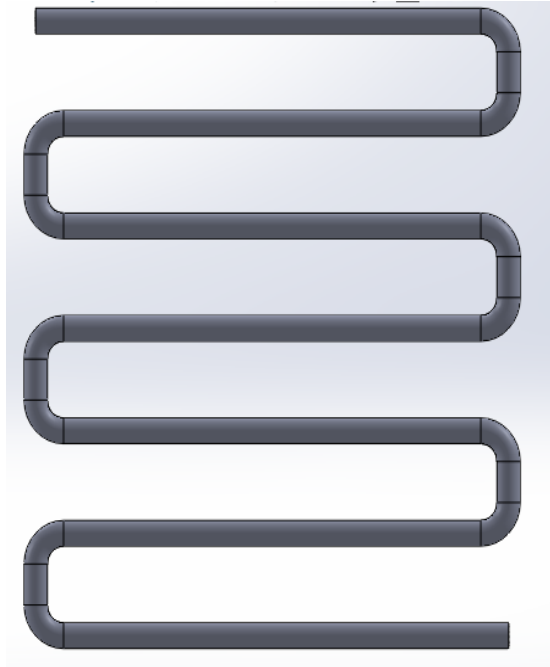


Figura 43. Tubería, vista frontal.

Fuente: Elaboración propia.

Debido a las formas en U de la tubería, el intercambiador se considera como tipo de múltiples pasos ya que, la dirección del fluido caloportador cambia durante todo su recorrido, lo que hace que también el intercambiador sea de tipo flujo cruzado. Además de que este tipo de intercambiador logra una mayor transferencia de calor. [38]

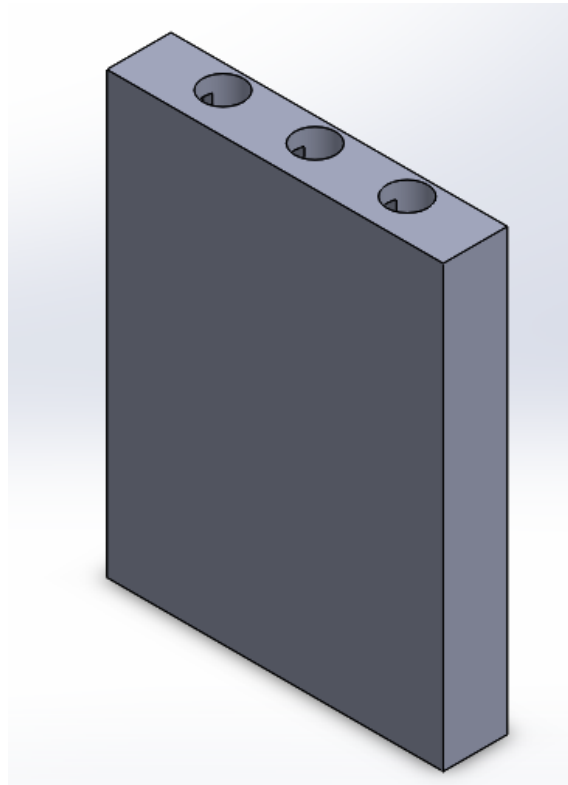


Figura 44. Caja, vista isométrica.

Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 45 se ve de igual manera la caja con una vista isométrica pero ahora con un corte transversal para observar el interior de esta, se pueden apreciar los canales internos por donde fluye el aire, así como las entradas y salidas de este. En la Figura 46 se tiene otro ángulo de la caja con un corte para poder ver de mejor manera el interior, en esta vista se puede observar que existen unos cuadrados en las esquinas superior izquierda e inferior derecha, éstos corresponden a la entrada y salida de la tubería.

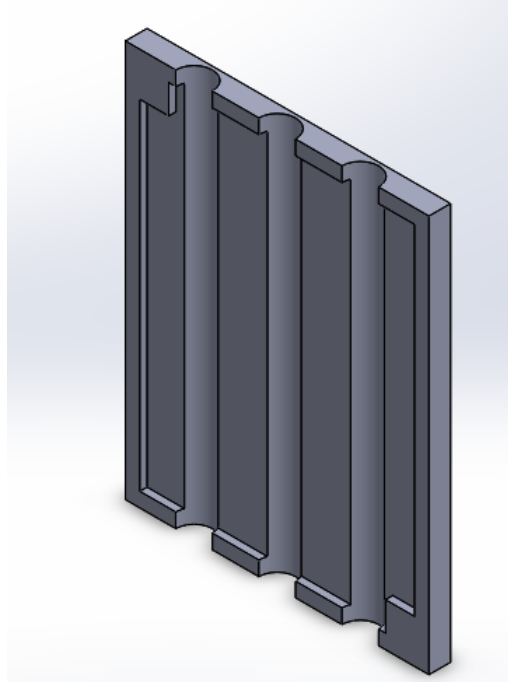


Figura 45. Caja, vista isométrica con un corte transversal.

Fuente: Elaboración propia.

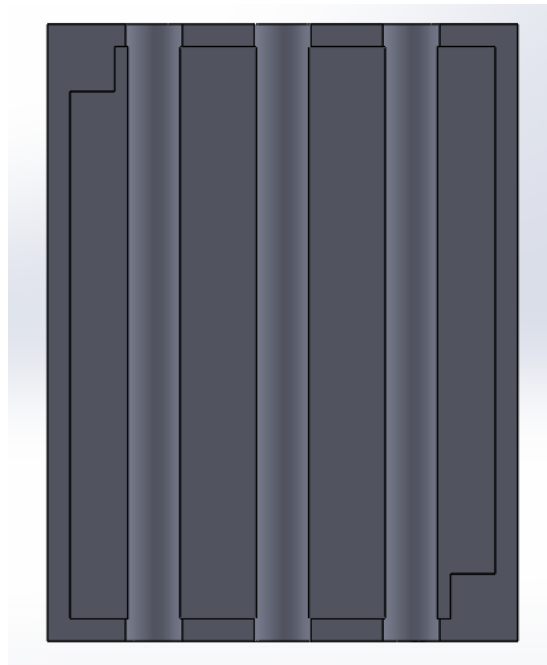


Figura 46. Caja, vista isométrica con un corte transversal.

Fuente: Elaboración propia.

Como ya fue mencionado las dimensiones de la tubería y de la caja fueron pensadas para parecerse a las resistencias comerciales de una secadora de ropa convencional; a continuación, se presentan tres modelos en los cuales se decide basar las dimensiones del sistema, la primera tiene las siguientes medidas 290x200x35mm [41], la segunda 233x35x175mm [42], y la última 137x80x53mm [43]. Se puede ver que, aunque las diferentes resistencias no tienen las mismas dimensiones se puede ver que las tres son cuadradas, sin embargo, el grosor del diseño propuesto tendrá un grosor un poco más grande. En este diseño no se asigna algún material a las piezas.

3.1.1.2 Simulación

Existen dos tipos diferentes de un análisis de transferencia de calor, estos son:

- *El análisis térmico de estado estacionario:* en el cual solo se tiene interés en las condiciones térmicas que tengan los componentes involucrados cuando estos alcancen su equilibrio térmico, sin importar el tiempo que se tome en llegar. Debido a esta característica la única característica necesaria para este análisis es conocer la conductividad térmica de los involucrados.
- *El análisis térmico transitorio:* en este caso se quiere conocer el estado térmico del objeto de estudio en función del tiempo. Las condiciones y características necesarias para este tipo de análisis son la conductividad térmica, densidad y calor específico del material, además de especificar las temperaturas iniciales, tiempo de solución y el incremento del tiempo. [44]

Para realizar la simulación se toman las siguientes condiciones:

- Se asigna la caja como un material aislante y que no recibe calor.
- En la tubería no existe ningún fluido interno desplazándose en ella y se toma como una simple resistencia que transmite calor.

Como se puede ver las condiciones para esta primera aproximación son muy ideales y un poco alejadas de un comportamiento real, sin embargo, esto servirá para ver las mejoras que se pueden hacer en el diseño para una mejor transferencia de calor y un mejor flujo del aire. En la Figura 47 se puede ver el comportamiento del aire durante la transmisión de calor por parte de la tubería, en esta figura se tiene una vista isométrica. Se puede ver como el aire que entra a una mayor temperatura, alcanza un incremento de un poco más de 50° K, esta transferencia de calor ocurre gradualmente durante el primer tercio de la distancia que recorre el aire a través de la caja desde la entrada a la salida; otro ángulo de la simulación se puede apreciar en la Figura 48, en la cual se nota que existe un mejor flujo del aire en las entradas y salidas laterales de la caja.

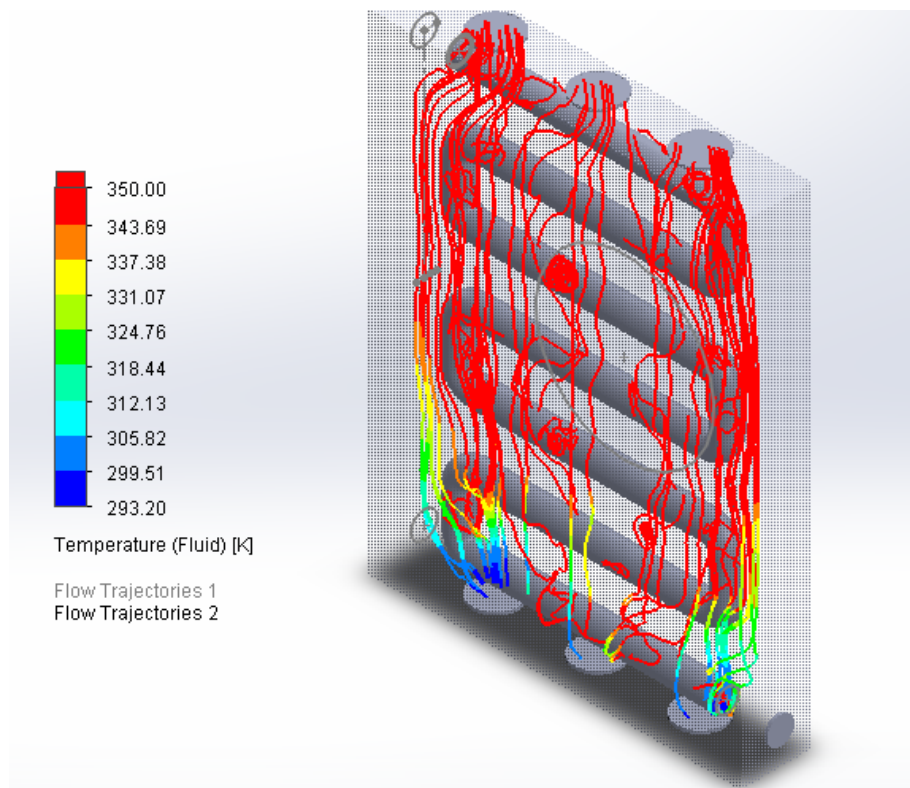


Figura 47. Simulación, vista isométrica.

Fuente: Elaboración propia.

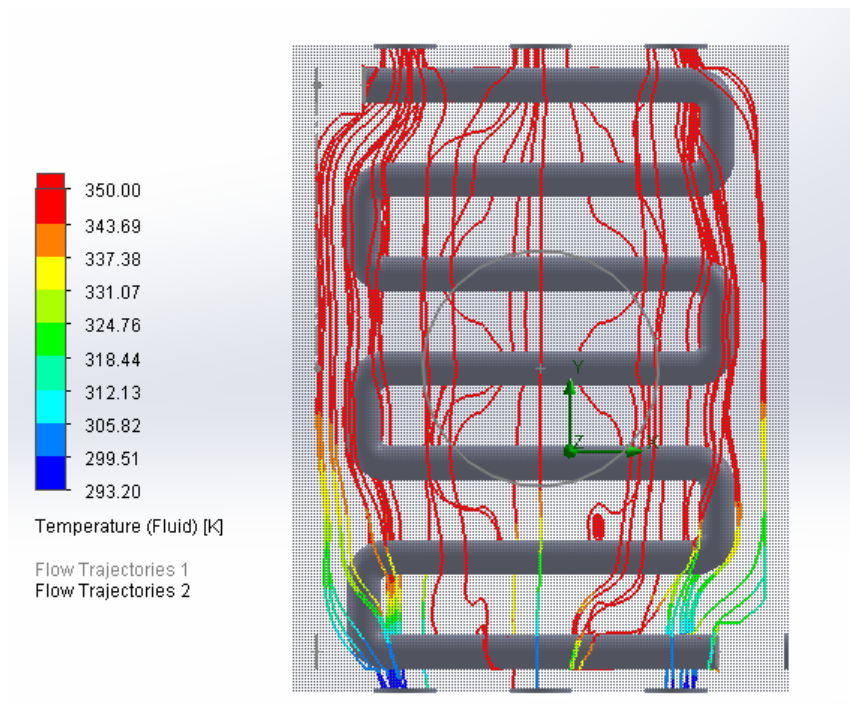


Figura 48. Simulación, vista frontal.

Fuente: Elaboración propia.

3.1.2 Segunda prueba

3.1.2.1 Diseño

En esta simulación se trata de acercarse a un comportamiento más real del sistema, esto se logrará mediante la modificación de lo ya planteado en la primera prueba. Lo primero es el cambio de la tubería que anteriormente era sólida y funcionaba como resistencia entregando calor constante al aire a una tubería que tenga un flujo de agua en su interior; para este caso la tubería tendrá una perforación por el medio para poder conducir el agua en su interior, además esta tendrá un material asignado que será el cobre ya que, es un buen conductor de calor y resiste la corrosión, esto se puede ver en la Figura 49. La caja solo sufre unas pequeñas modificaciones con el propósito de que pueda encajar bien la nueva tubería dentro de la caja. En la Figura 50 se puede ver el nuevo ensamblaje.

Para la realización de esta simulación se toman en cuenta las siguientes condiciones:

- Las piezas son las mismas que en la primera prueba solamente con una modificación a la tubería debido a que fluirá agua dentro de esta.
- Ahora se tienen dos fluidos diferentes involucrados en la simulación; el agua que es la que proviene de los colectores solares a una temperatura mayor que la del medio ambiente, y el aire que tendrá una temperatura igual a la del medio ambiente.
- El flujo de aire va de abajo hacia arriba debido a que el aire caliente tiende a subir.
- El flujo de agua va de la parte inferior derecha del sistema a la superior izquierda para empezar el intercambio de calor desde los primeros instantes del proceso ya que en caso contrario el aire tendría que subir hasta la parte superior o el agua recorrer una mayor trayectoria para empezar a ceder calor al aire.
- De igual manera que en el anterior diseño, no se asignan materiales a la simulación.

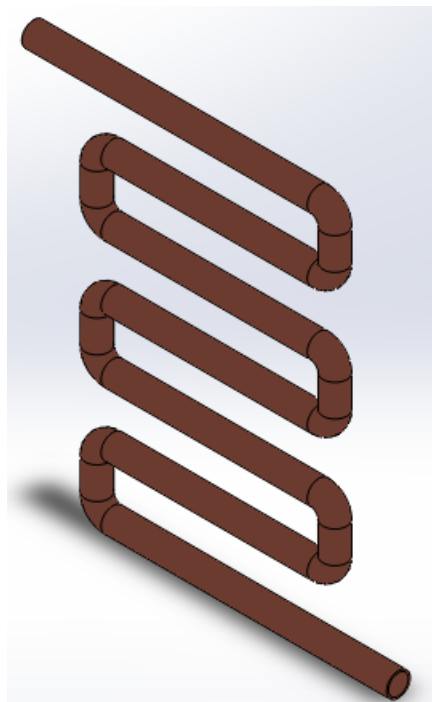


Figura 49. Tubería de cobre.

Fuente: Elaboración propia.

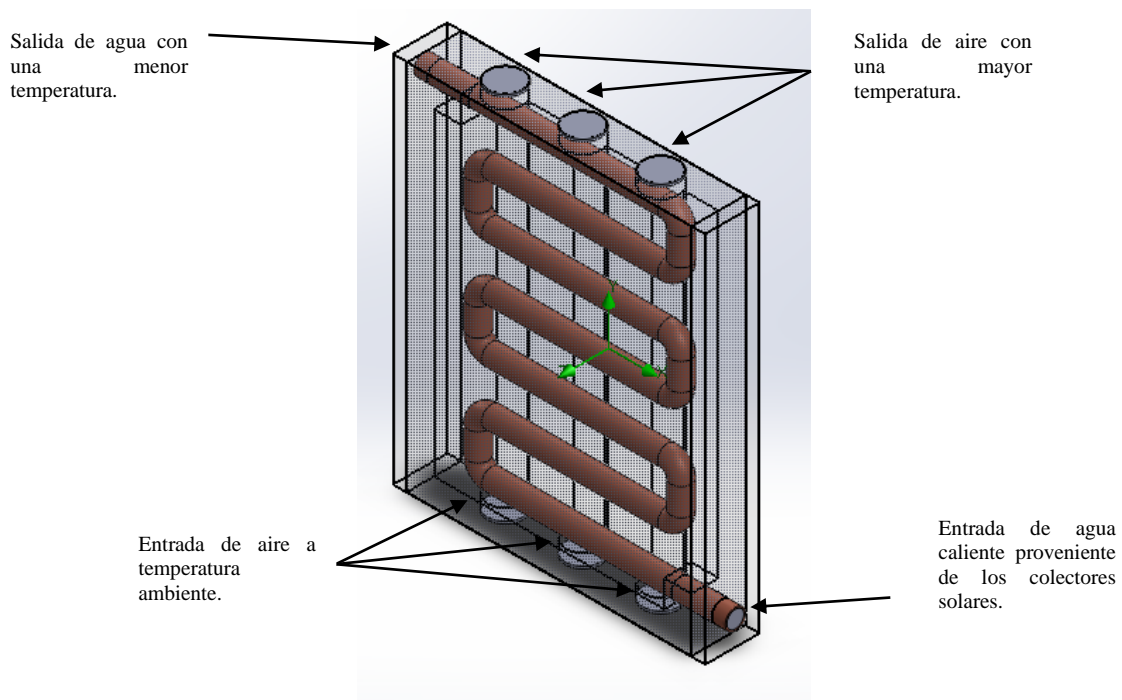


Figura 50. Diseño simulación de la prueba dos, vista isométrica.

Fuente: Elaboración propia.

3.1.2.2 Simulación

Para esta prueba se tiene como condiciones:

- Temperatura del agua proveniente de los colectores solares: 50° C.
- Temperatura del aire proveniente del medio ambiente: 20° C.

Tomando en cuenta las anteriores condiciones se tienen los siguientes resultados. En la Figura 51 se ven todas las trayectorias que toman ambos fluidos y como es intercambiado el calor. Se puede apreciar en la misma figura que el intercambio de calor es evidente desde los primeros centímetros de recorrido de ambos fluidos este es un comportamiento que es muy positivo para los propósitos de secado de ropa. Un

problema que se puede notar es que se logra un equilibrio térmico de 40 ° C aproximadamente, lo que indica que es necesario incrementar la temperatura de salida del agua que viene de los colectores solares. En la Figura 52 se tiene un acercamiento de la vista frontal del sistema donde se aprecia de una mejor manera el intercambio de calor de ambos fluidos.

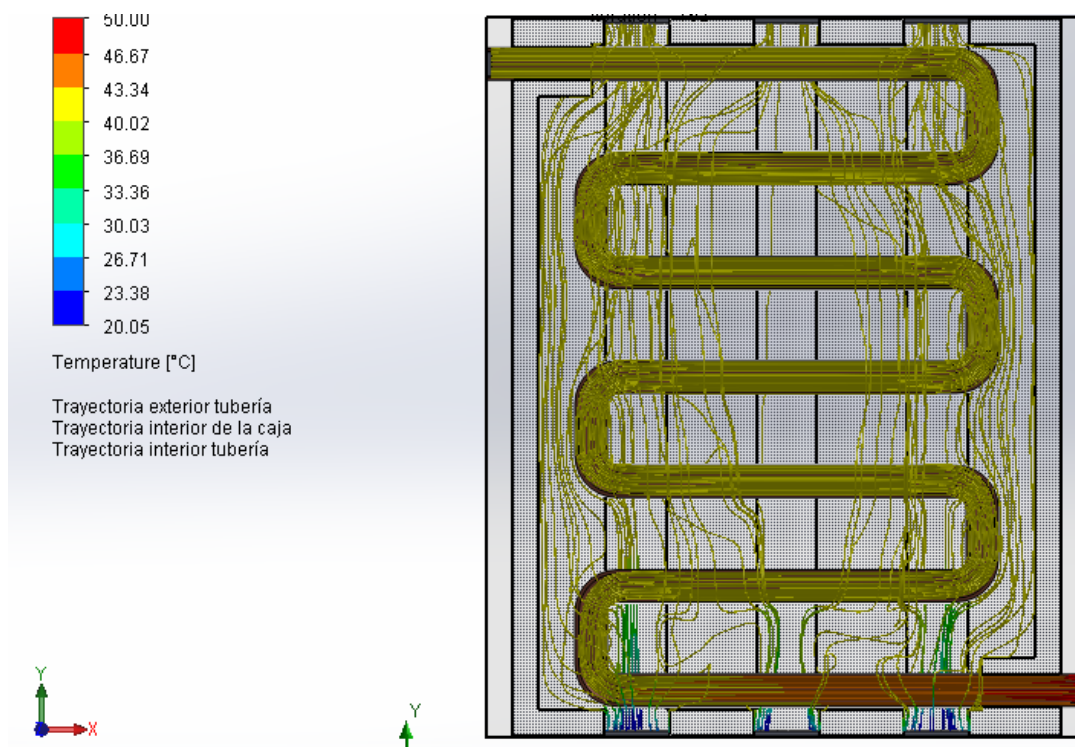


Figura 51. Flujo de entrada de agua a 50°C de operación, vista frontal.

Fuente: Elaboración propia.

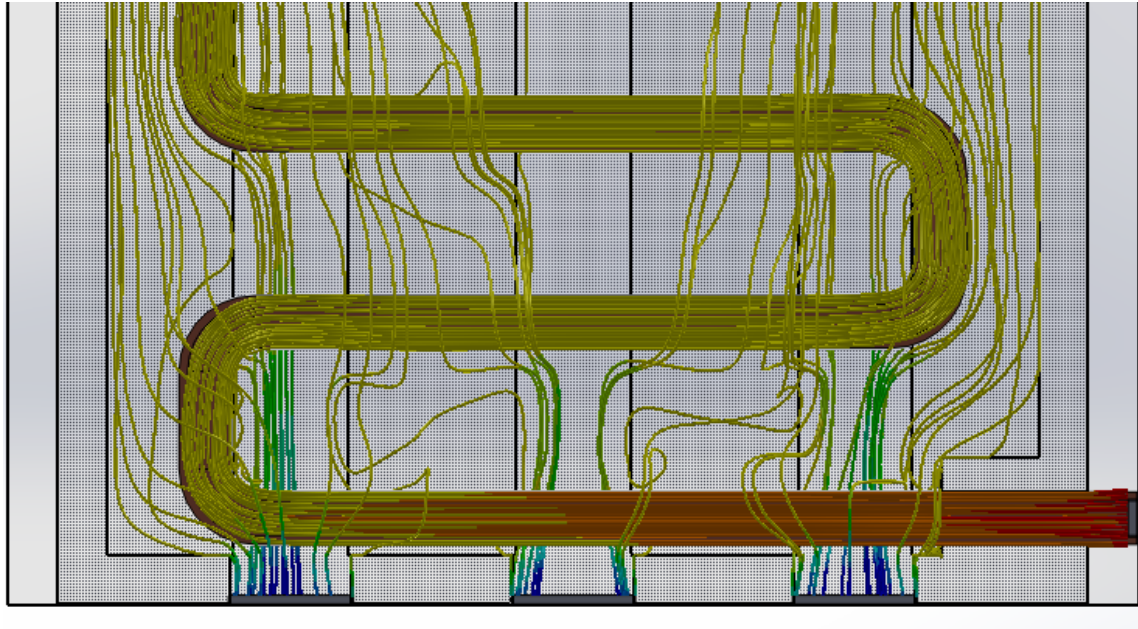


Figura 52. Flujo de entrada de agua a 50°C de operación, vista frontal y con un acercamiento.

Fuente: Elaboración propia.

3.2 Segundo modelo

3.2.1 Primer prueba

3.2.1.1 Diseño

Observando los resultados obtenidos con el primer modelo se cuestiona la eficiencia y desempeño que tiene, por lo que, a continuación, se mencionan los principales inconvenientes detectados de este primer modelo de prototipo.

- En dos de los tres casos presentados la temperatura final del aire era hasta 20° C menor que la que la temperatura con la que inicialmente se encontraba el agua proveniente de los colectores solares.

- Otro problema que se pudo notar es el intercambio de calor, al principio del recorrido que hace el aire dentro del sistema, el fluido obtiene rápidamente el calor proveniente de la tubería, sin embargo, momentos después el intercambio parece constante y el agua sale todavía con una buena cantidad de calor que no pudo ser intercambiado durante todo el proceso.
- Existen algunas turbulencias por parte del aire en diversas partes del sistema, como se observa en la Figura 53.

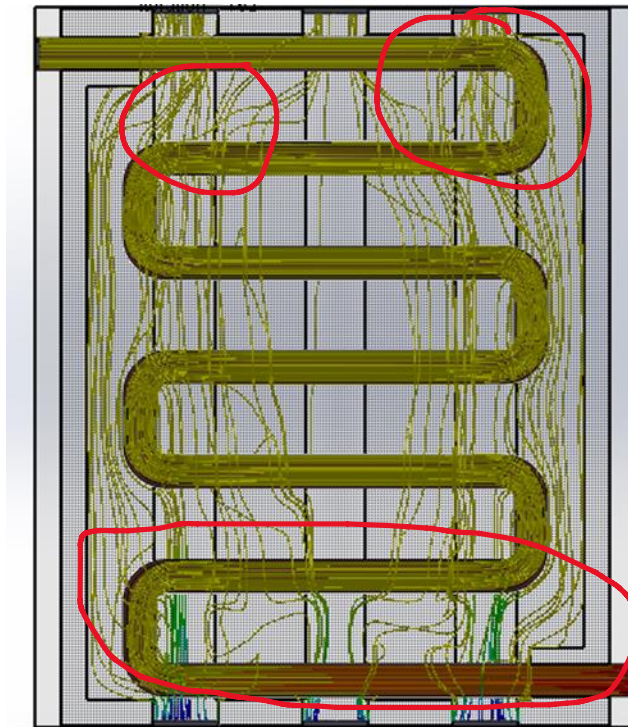


Figura 53. Zonas en las que se produce cierta turbulencia en el aire.

Fuente: Elaboración propia.

Debido a los inconvenientes ya mencionados se tomó la decisión de diseñar un nuevo modelo que pueda operar de una mejor manera y mejorar el desempeño que tenía su predecesor.

Analizando los problemas se llega a la conclusión de que el principal cambio que se tiene que hacer es en la tubería, asignándole el material de cobre con una conductividad térmica de $401 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$

a $393 \text{ W}/(\text{m}^*\text{K})$, este valor ha sido obtenido de Solidworks, además, se propone un diseño que pueda tener una mayor área de impacto, el cual se puede ver en la Figura 54. En la Figura 55 se tiene la misma tubería, pero con una vista superior, en esta se puede ver claramente que el área de impacto mejora considerablemente. Por último, en la Figura 56 se tiene una vista lateral en el lado izquierdo donde se ven la entrada y la salida del agua y la distancia que existe entre las secciones de tuberías que se encuentran en la parte superior y en la inferior.

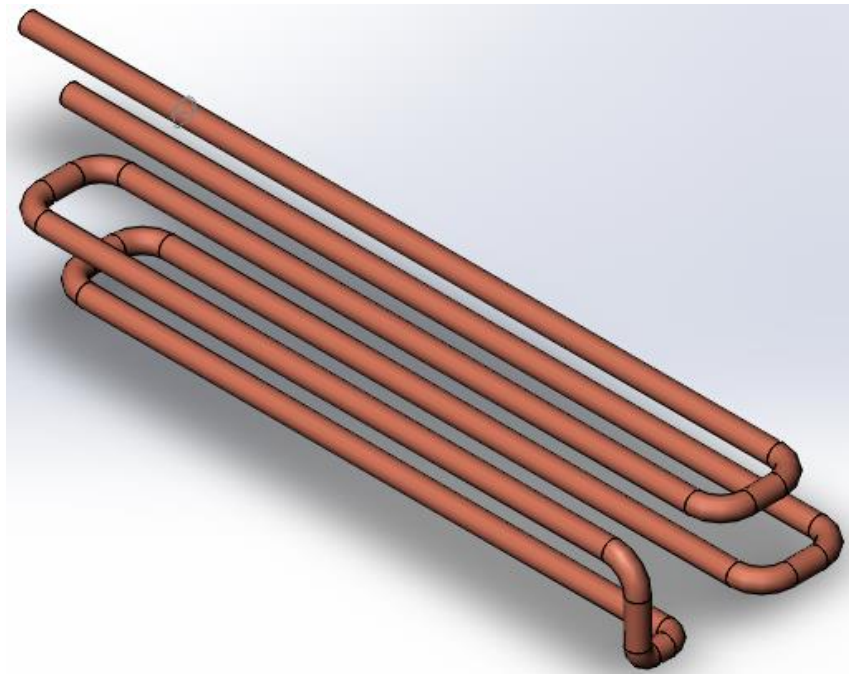


Figura 54. Tubería de modelo dos, vista isométrica.

Fuente: Elaboración propia.

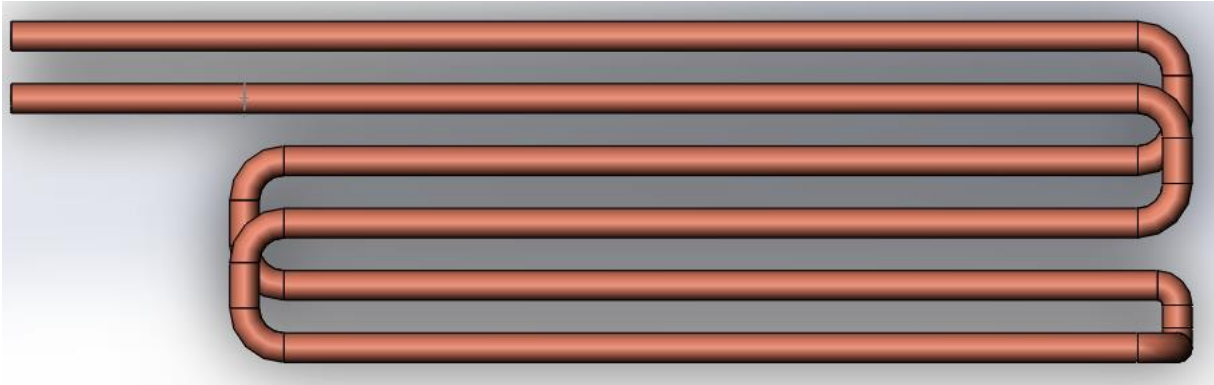


Figura 55. Tubería de modelo dos, vista superior.

Fuente: Elaboración propia.

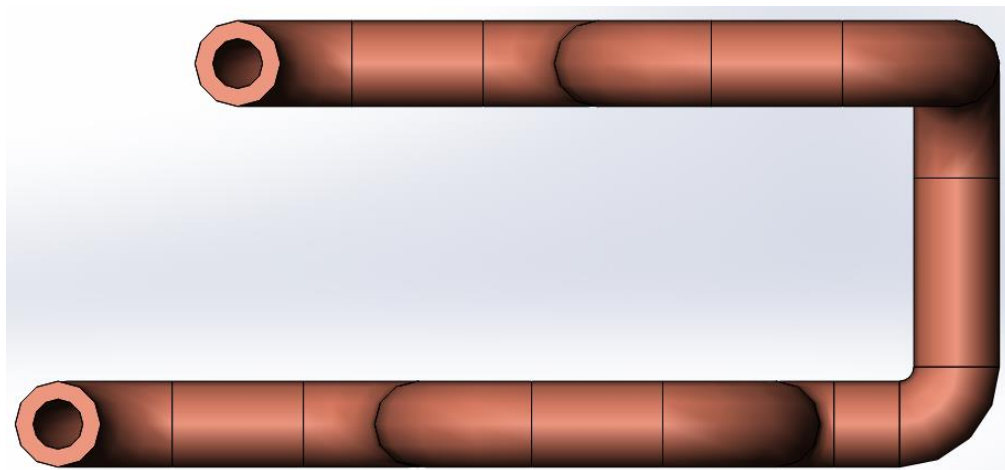


Figura 56. Tubería de modelo dos, vista lateral izquierda.

Fuente: Elaboración propia.

Para la caja se decide conservar la idea inicial de una forma de prisma rectangular, solamente fueron necesarias las modificaciones en las dimensiones debido a que la distancia que existía entre la entrada de aire y la tubería era muy pequeña y no generaba un buen recorrido del aire, haciéndolo turbulento; esto se puede ver en la Figura 57, donde se encuentra encerrada en rojo la zona donde se presenta este problema.

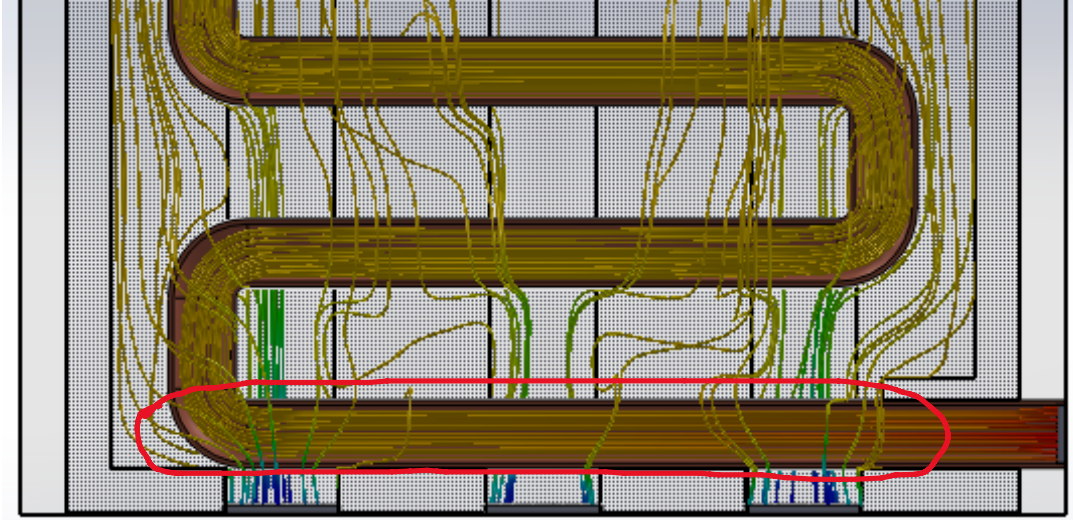


Figura 57. Primer modelo, problemática con la distancia de la tubería y la entrada de aire.

Fuente: Elaboración propia.

Además de la modificación mencionada se opta por cambiar las entradas y salidas del aire haciendo más grandes las circunferencias y reduciendo de tres a dos las entradas y salidas, esto con la intención de aumentar el flujo de aire, como se muestra en la Figura 58.

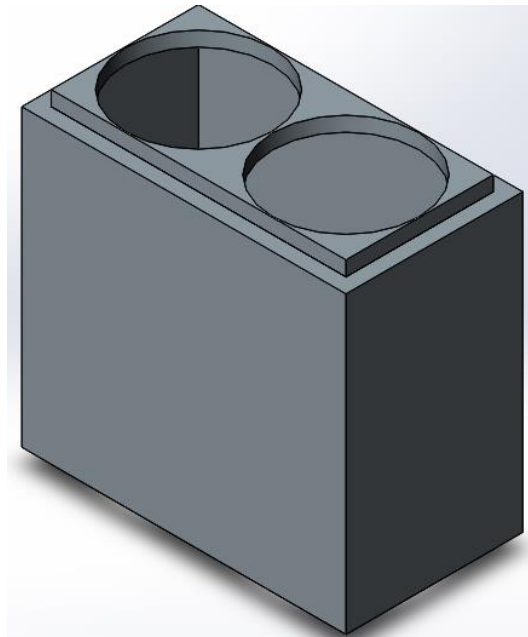


Figura 58. Caja del modelo dos, vista isométrica.

Fuente: Elaboración propia.

Con las nuevas piezas ya diseñadas se procede al ensamble, como se muestra en la Figura 59. Al igual que en el primer diseño la tubería es de cobre.

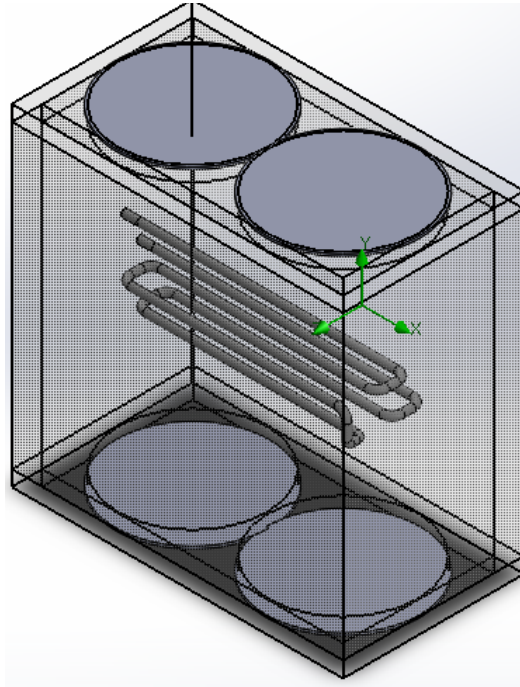


Figura 59. Ensamble de la caja y tubería, vista isométrica.

Fuente: Elaboración propia.

3.2.1.2 Simulación

En los resultados obtenidos de esta simulación se observan mejorías ya que, en la transferencia de calor por parte del agua al aire se consigue de un mejor desempeño, como se puede ver en la Figura 60; además, se llega a una temperatura final del aire aproximadamente de 43 °C e incluso llega a una temperatura mayor en algunos puntos.

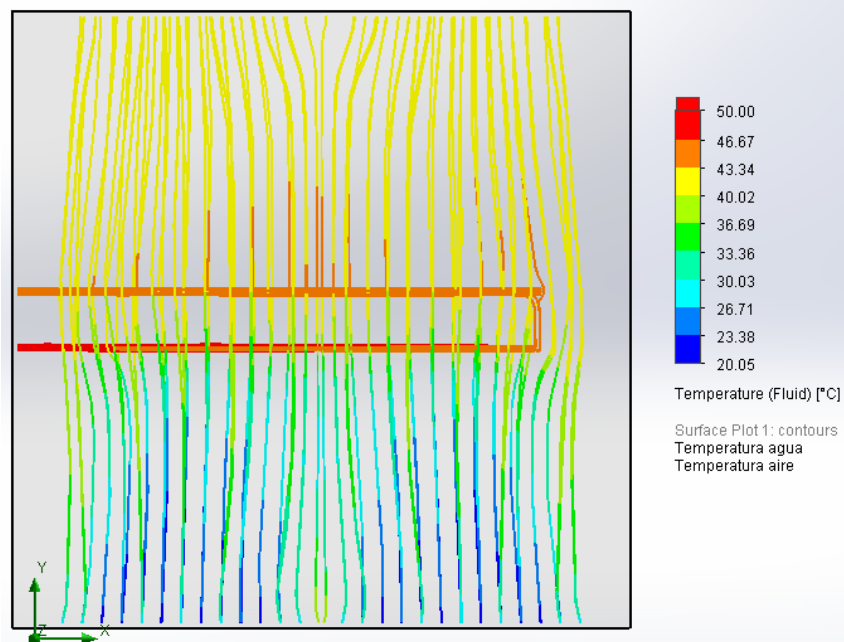


Figura 60. Resultados a una temperatura de agua inicial a 50 °C, vista frontal.

Fuente: Elaboración propia.

3.2.2 Prueba dos

Como se vio en los resultados de la Figura 61 del nuevo diseño del prototipo, el intercambio de calor del agua a la tubería de cobre y después al aire, se consigue un buen rendimiento, sin embargo, en todas las simulaciones anteriores del primer prototipo y del segundo, el material del que está compuesta la caja no se toma en consideración, haciendo que la transferencia de calor pueda parecer ideal. Por esta razón se opta por realizar una simulación que tome en cuenta un material para la caja, uno que tenga una baja conductividad térmica para que se reduzcan las pérdidas de calor; el material seleccionado fue un polímero de alta densidad (UF foam2,) con un coeficiente de conductividad térmica 0.029 W/m K, este valor fue obtenido directamente del software Solidworks.

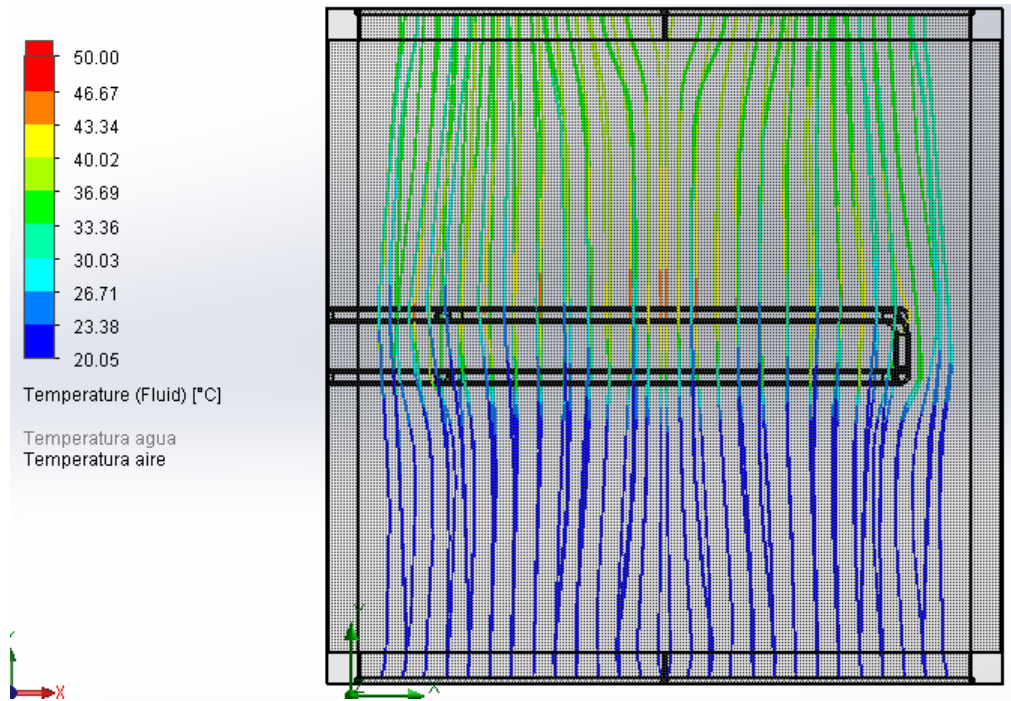


Figura 61. Resultados a una temperatura de agua inicial a 50 °C, vista frontal.

Fuente: Elaboración propia.

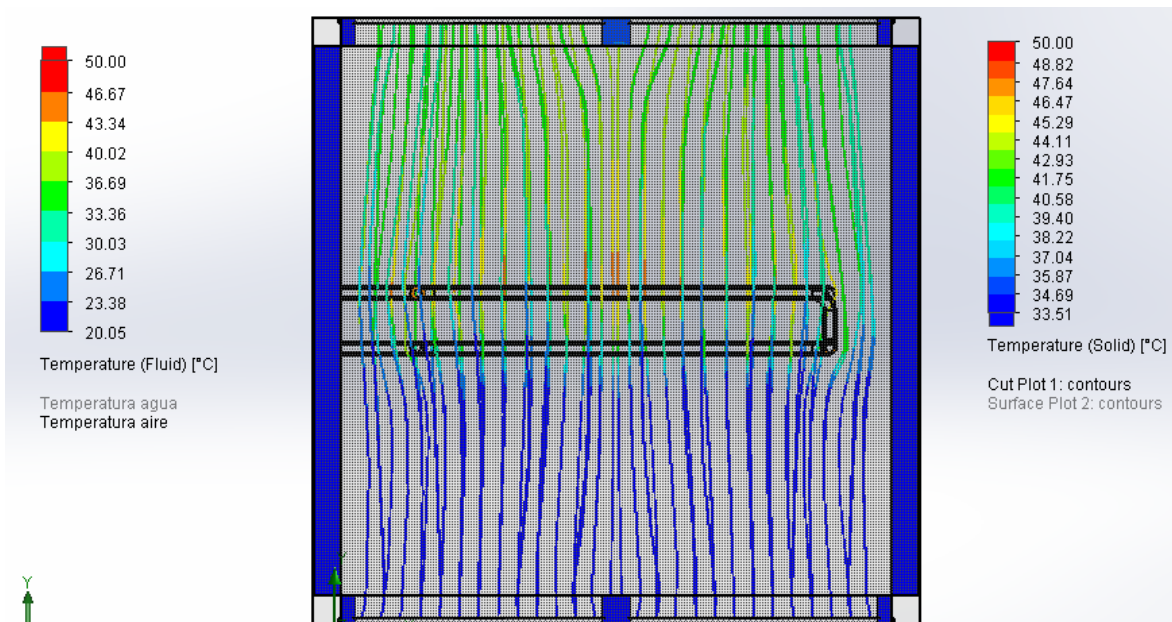


Figura 62 . Resultados a una temperatura de agua inicial a 50 °C con una caja de polímero de alta densidad y temperatura de la caja, vista frontal.

Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 62 se tiene la temperatura del aire y la caja, en la parte de la izquierda se encuentra la barra de colores correspondiente a la temperatura el aire y a la derecha de la caja.

Ahora, en la Figura 63 se tiene la temperatura que alcanza la superficie de la tubería de plata y la temperatura que tiene el aire a la salida.

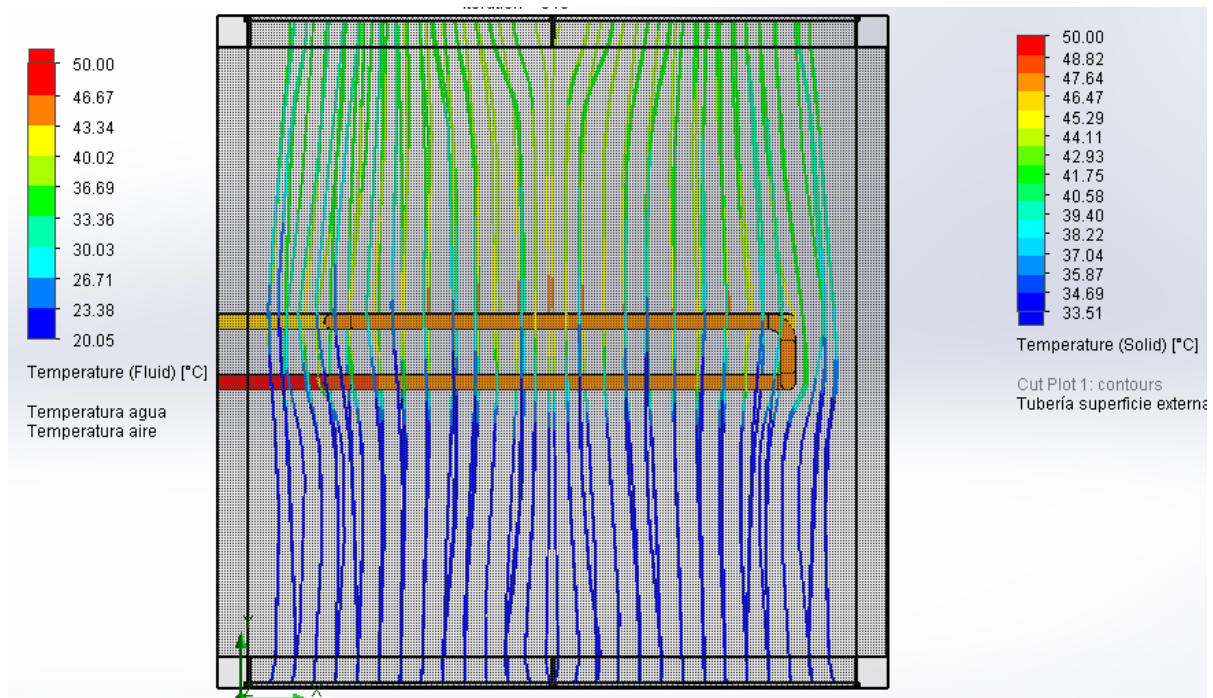


Figura 63. Resultados a una temperatura de agua inicial a 50 °C con una caja de polímero de alta densidad y temperatura de la tubería, vista frontal.

Fuente: Elaboración propia.

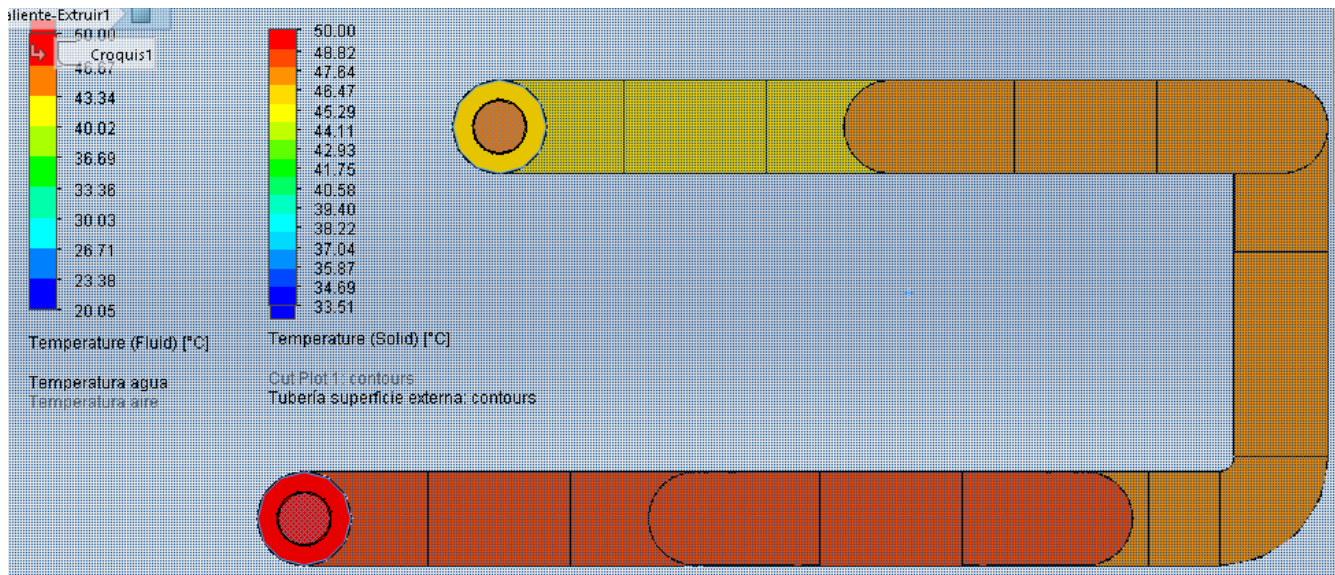


Figura 64. Temperatura de la superficie de la tubería y del agua, vista frontal.

Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 64 se ve que el calor transmitido a la tubería es muy alto ya que, se logra una temperatura máxima de 48° C y una mínima de 45° C, esto deja en claro que la plata es una buena elección y se debe enfocar en otros ajustes al diseño para mejorar la eficiencia en la transmisión de calor al aire.

En la Figura 65 se ven las temperaturas promedio y máxima de cada material involucrado en el sistema, además se tienen las relaciones con respecto a la transmisión de energía en unidades de Watts; las flechas azules corresponden a una transmisión de calor por convección y la roja por conducción; los valores positivos son debido a una ganancia y los negativos a una pérdida de calor.

Con la estructura de los cuadros del diagrama de la Figura 65 se tiene el siguiente balance de energía de la Ecuación 5

$$Agua_{Conv} = T_{Conv} + T_{Cond} + C_{Conv} + C_{Cond} + Aire_{Conv} + Aire_{Cond} \quad \text{Ecuación 5}$$

donde:

$Agua_{Conv}$: es la transmisión de calor por convección por parte del agua.

T_{Conv} : es la transmisión de calor por convección por parte de la tubería.

T_{Cond} : es la transmisión de calor por conducción por parte de la tubería.

C_{Conv} : es la transmisión de calor por convección por parte de la caja.

C_{Cond} : es la transmisión de calor por conducción por parte de la caja.

$Aire_{Conv}$: es la transmisión de calor por convección por parte del aire.

$Aire_{Cond}$: es la transmisión de calor por conducción por parte del aire.

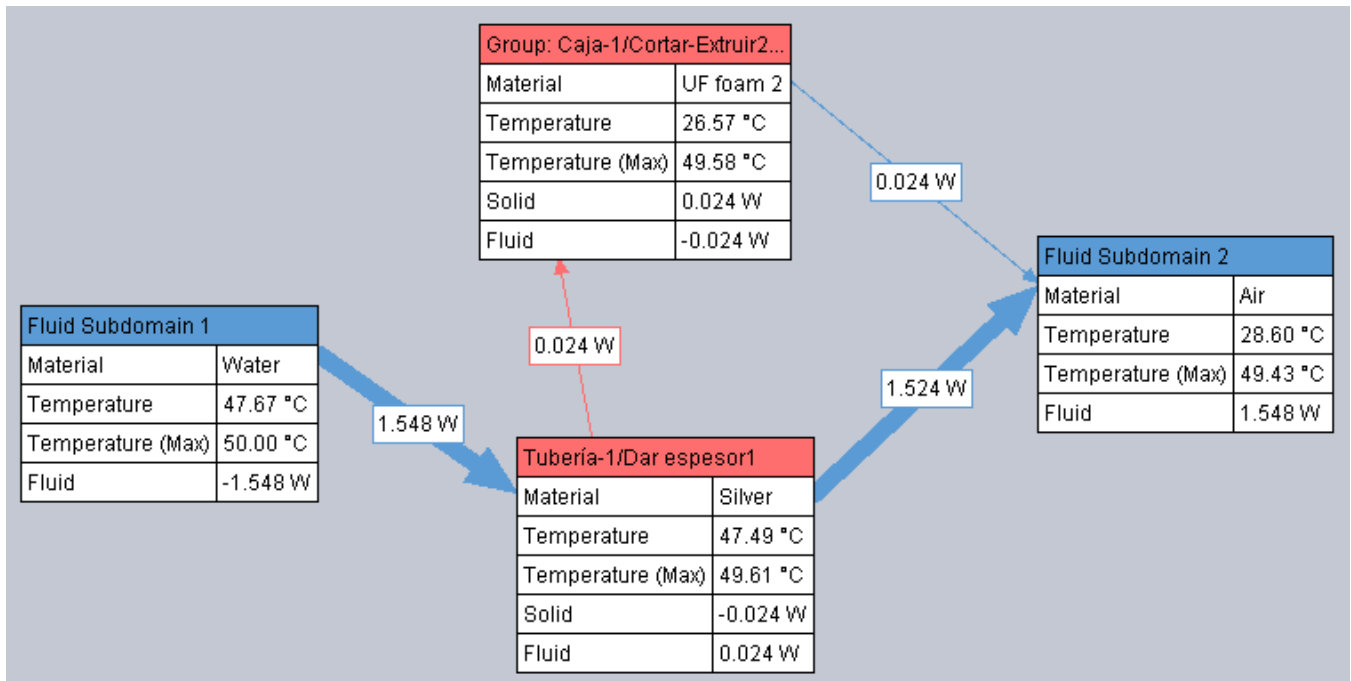


Figura 65. Temperatura promedio, máxima e intercambio de calor entre los componentes del sistema.

Fuente: Elaboración propia.

Sustituyendo los valores de la Ecuación 5 con los mostrados en la Figura 65 se tiene la Ecuación 6; se puede apreciar que la transmisión de calor por parte de la tubería es cancelada ya que, la energía entregada a la caja es devuelta al aire.

Ecuación 6

3.3 Tercer modelo

3.3.1 Diseño

Debido a que los resultados anteriores que utilizaron características que volvieron al sistema más cercano a un comportamiento real no fueron muy eficientes y que la temperatura del aire disminuía, se opta por implementar una mejora al ducto por donde pasa el agua. En la Figura 66 se ve que fueron implementadas unas aletas a la tubería para incrementar el área de contacto del aire con esta y así obtener un mejor resultado, se decide por usar paletas solo en la parte superior para primero comprobar si realmente existía un aumento en la temperatura considerable, en casa de que así fuera se añadirían más paletas (seis con un ángulo de 45°), de lo contrario se buscará una mejor alternativa.

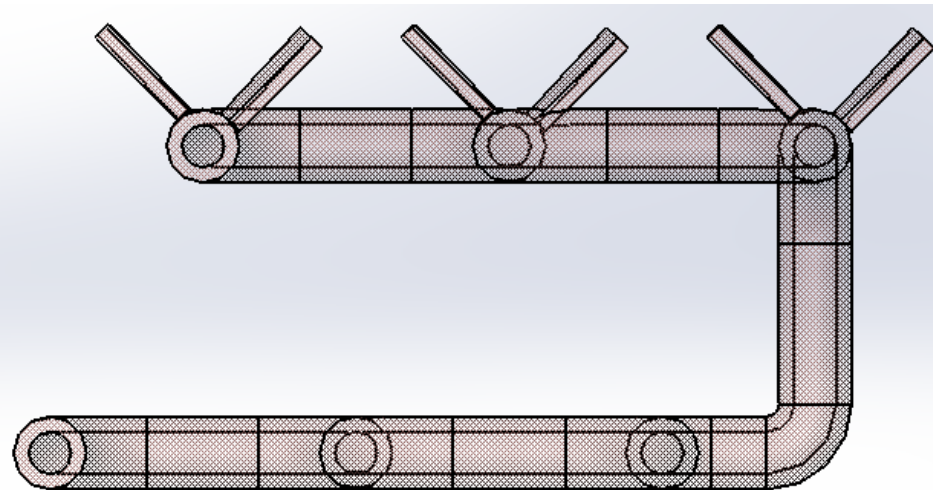


Figura 66. Diseño de tubería, vista lateral.

Fuente: Elaboración propia.

3.3.2 Simulación

En la Figura 67 se ven los resultados de la simulación, se puede observar que la temperatura del aire incrementa más en las zonas donde el aire choca con las paletas añadidas a la tubería, sin embargo, el aumento en la temperatura del aire a la salida del sistema no es muy grande; en la Figura 68 se tienen los resultados pero con una vista lateral, se nota que la turbulencia en el aire aumenta un poco debido a las paletas añadidas a la tubería, sin embargo, esto no afecta a los objetivos deseados que son la transferencia de calor al aire.

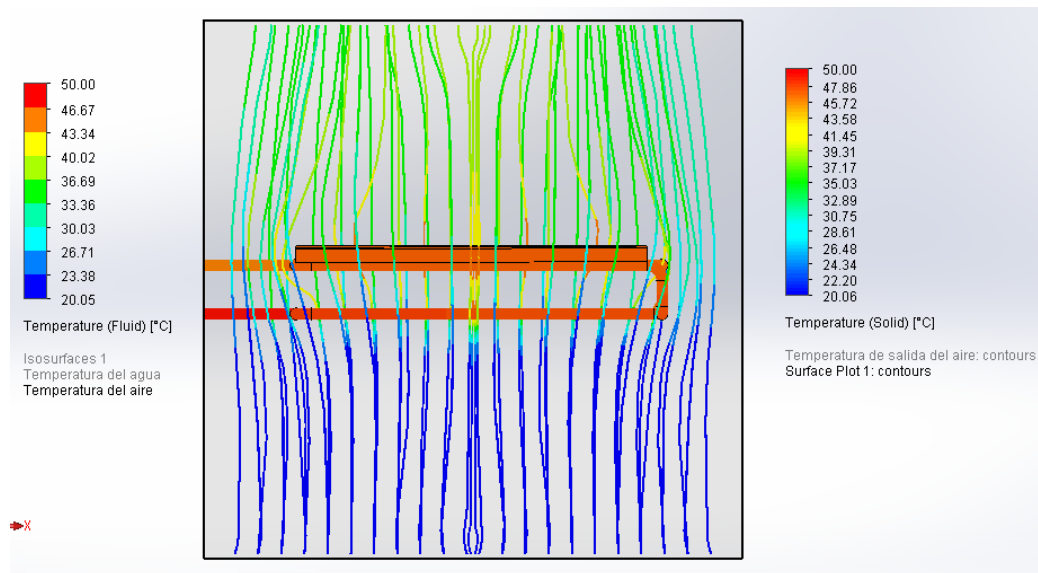


Figura 67. Simulación con temperatura del agua a 50° C, vista frontal.

Fuente: Elaboración propia.

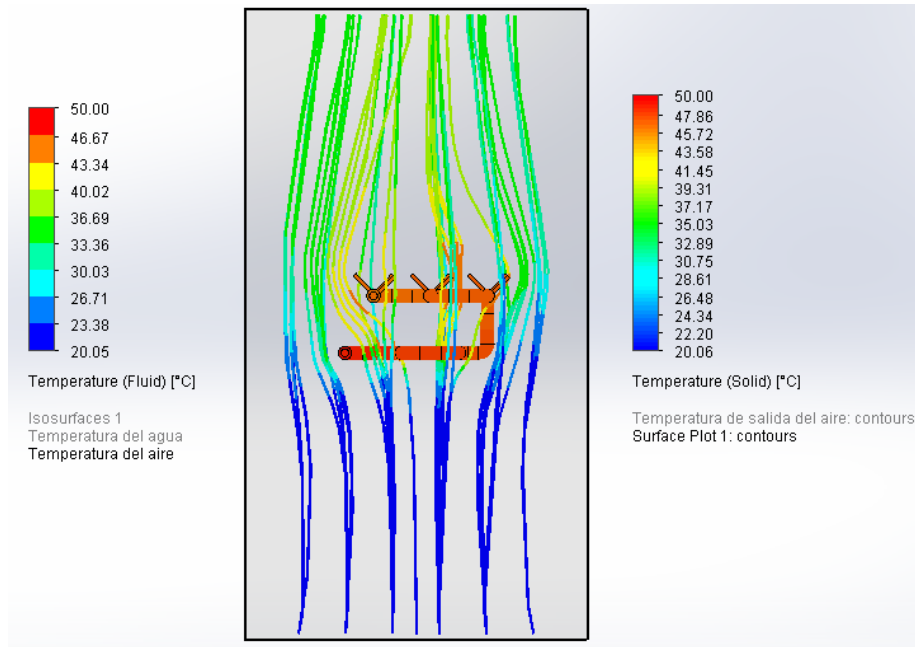


Figura 68. Simulación con temperatura del agua a 50° C, vista lateral.

Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 69 se tiene una nueva gráfica representada por una superficie de la temperatura del aire, esta se encuentra ubicada en la salida del sistema y se pueden apreciar las variaciones en la temperatura del aire, se ve que la mayor temperatura se ubica en el centro, después va decreciendo alrededor, además se nota que las menores temperaturas corresponden a donde no existe un contacto directo del aire con la superficie de la tubería o de las paletas.

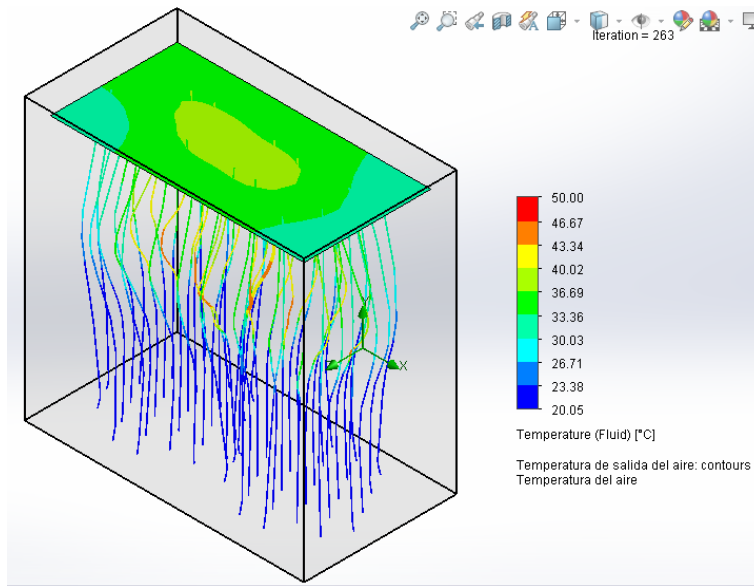


Figura 69. Gráfica de temperatura final del aire representa con una superficie, vista isométrica.

Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 70 se tiene otra vista de la imagen anterior, se pueden apreciar mejor las diferentes zonas de temperatura que tiene el aire a la salida del sistema, obteniéndose una temperatura máxima de 37.7 °C y una mínima de 32.5 °C.

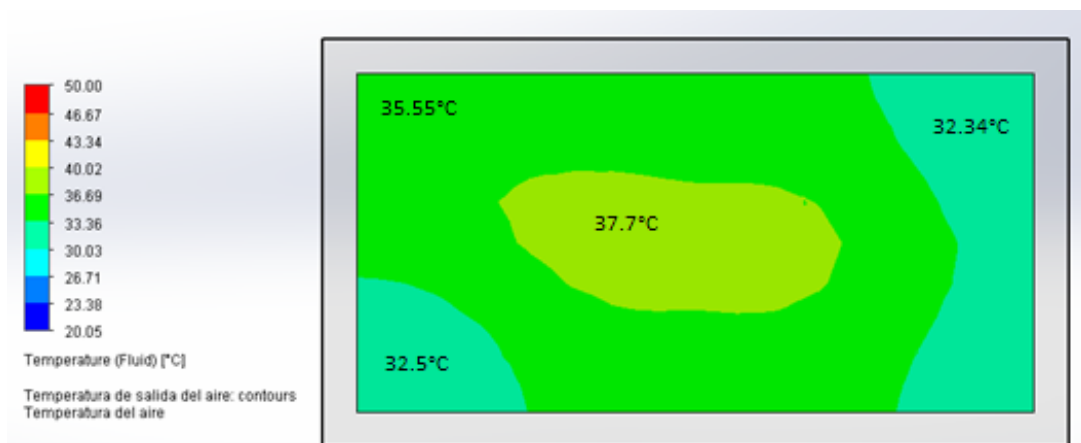


Figura 70. Gráfica de temperatura final del aire representa con una superficie, vista superior.

Fuente: Elaboración propia.

3.4 Modelo final

Como se pudo apreciar en el apartado anterior, la propuesta de agregar las paletas no incrementa demasiado la temperatura, por lo que es necesario un nuevo cambio en el diseño. Para lograr un aumento en la temperatura considerable, por lo que se opta por añadir más tuberías al interior de la caja en lugar de añadir más paletas alrededor de una tubería.

3.4.1 Diseño

Como ya se menciona en el párrafo anterior en este diseño se agregaron tuberías al sistema con la intención de lograr un mayor aumento en la temperatura final del aire, para lograr esto se añaden dos piezas más de tubería, y haciendo un arreglo diferente en la posición de cada tubería, de tal forma que se trata de ocupar la mayor área posible y tener una temperatura final del aire más uniforme, quedando como resultado final se tiene el diseño presentado en la Figura 71, en esta imagen se tiene el ensamble de las tuberías con la caja desde una vista isométrica; en la Figura 72 se tiene el diseño con una vista frontal en la que se aprecia de mejor manera el arreglo escalonado de las tuberías que fue implementado; por último en la Figura 73 se tienen las vistas superiores e inferiores de este nuevo modelo.

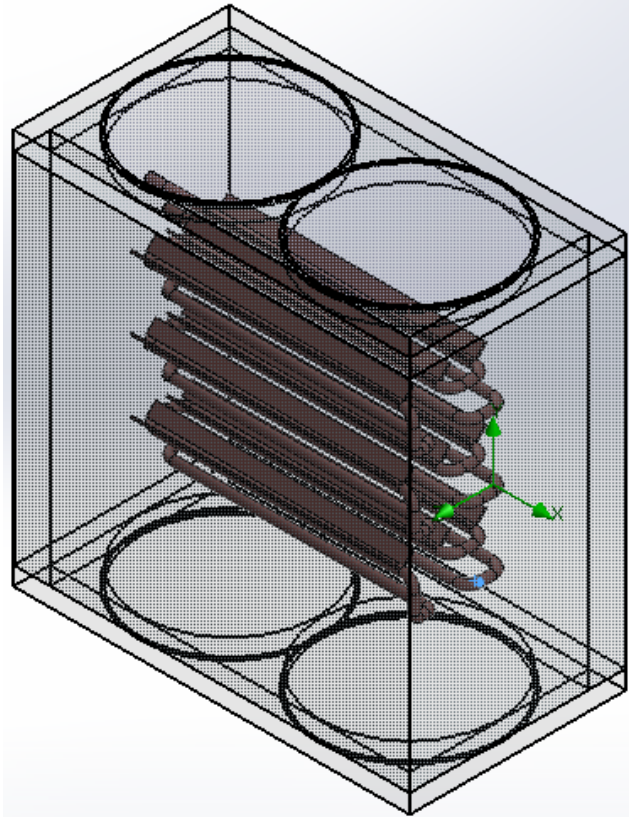


Figura 71. Diseño número cuatro, vista isométrica.

Fuente: Elaboración propia.

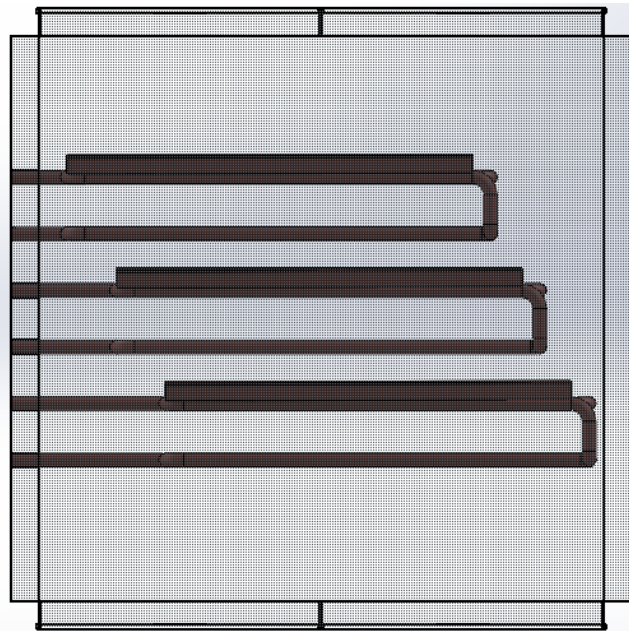


Figura 72. Diseño número cuatro, vista frontal.

Fuente: Elaboración propia.

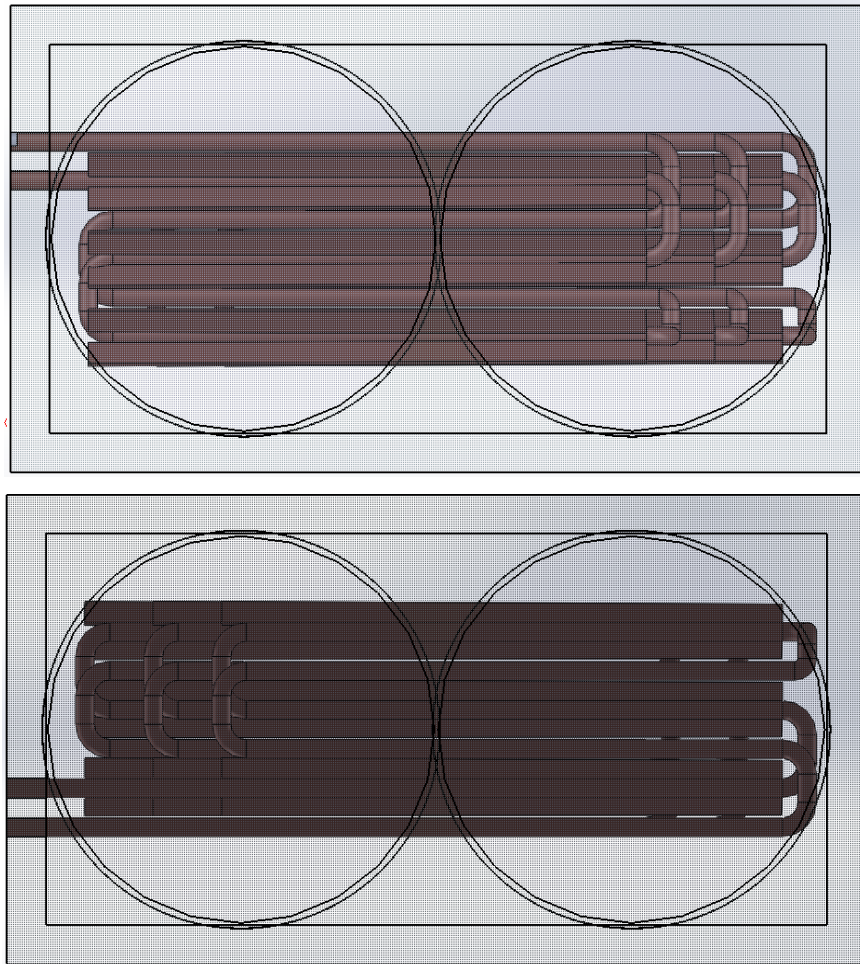


Figura 73. Diseño número cuatro, vistas superior(arriba) e inferior(abajo).

Fuente: Elaboración propia.

3.4.2 Simulación

Este último modelo presenta los resultados visibles en la Figura 74, en los que se nota un incremento en la temperatura del aire que sale del sistema, también se aprecia un incremento en la turbulencia del aire debido a los obstáculos que tiene en su recorrido, sin embargo, esto no afecta a los objetivos del diseño; en la Figura 75 se tiene otra vista donde se ve más clara la turbulencia en la parte central del sistema.

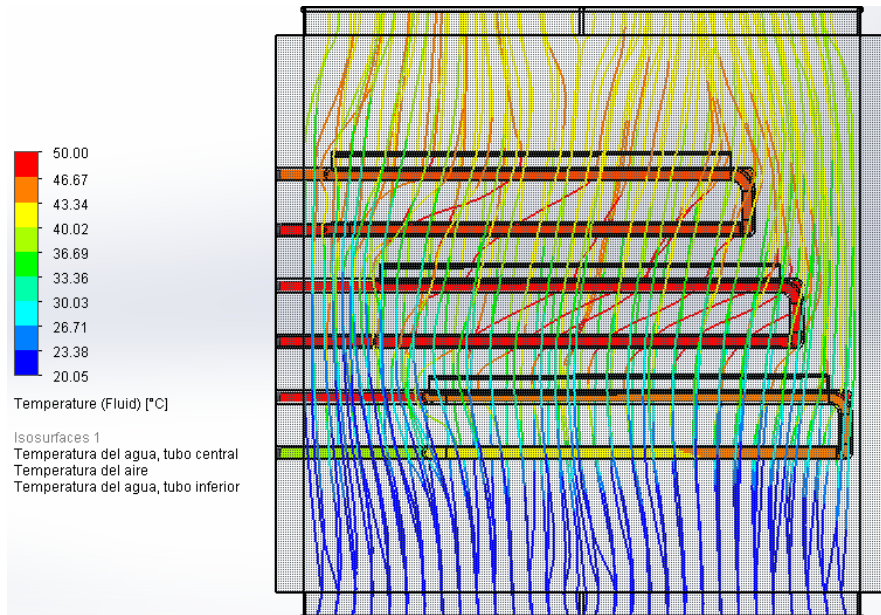


Figura 74. Temperatura del agua y del aire, vista frontal.

Fuente: Elaboración propia.

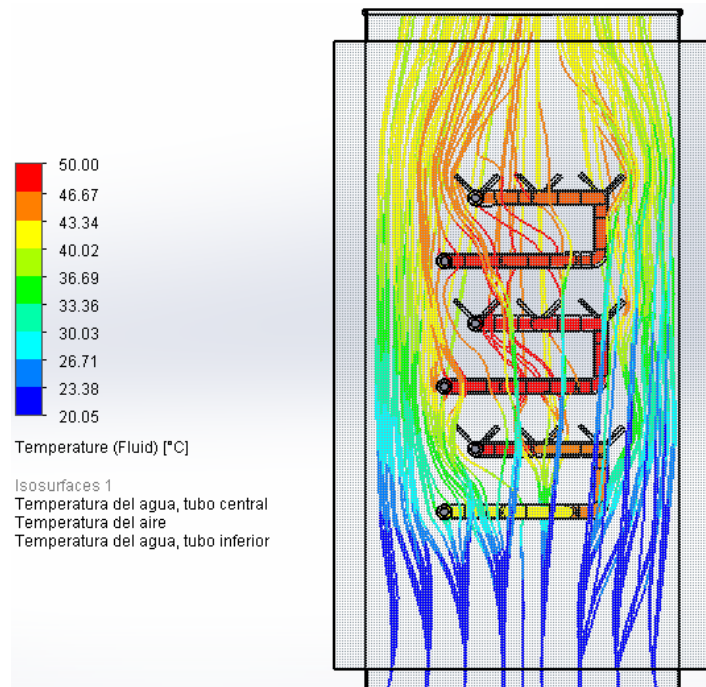


Figura 75. Temperatura del agua y del aire, vista frontal.

Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 76 se tiene de igual manera que en el diseño número tres se tiene un área que representa la temperatura del aire a la salida del sistema, se nota que es más uniforme y de una temperatura más alta comparada con el diseño anterior.

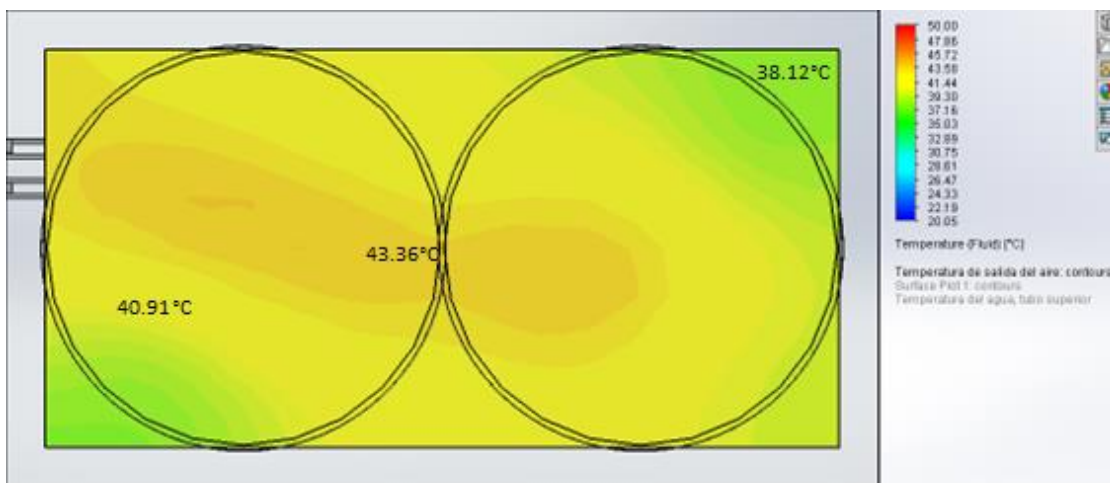


Figura 76. Temperatura del aire a la salida del sistema, vista superior.

Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 77 se tiene un diagrama de los intercambios de calor por convección o conducción y las temperaturas promedio de los componentes involucrados en el sistema; en este caso se tienen más elementos evaluados debido a la introducción de las tuberías adicionales y a la consideración de las tapas que hacen que el sistema pueda ser estudiado como un sistema cerrado; sin embargo, la pérdida de calor por parte de estos componentes es muy poca y no afecta a los resultados finales.

Con estas nuevas consideraciones y tomando en cuenta los datos de la Figura 77 la Ecuación 7 pasa a tener la siguiente relación de energía:

$$\text{Aire} = \text{Tubería 1} + \text{Tubería 2} + \text{Tubería 3} + \text{Caja} \quad \text{Ecuación 7}$$

Esta ecuación simplifica las expresiones y evita las que son redundantes, como sucedió en la Ecuación 6, así solo se muestra la energía entregada al aire que es lo que nos interesa, resultando en la Ecuación 8;

$$2.185W \approx 1.116W + 0.678W + 0.319W + 0.071W \quad \text{Ecuación 8}$$

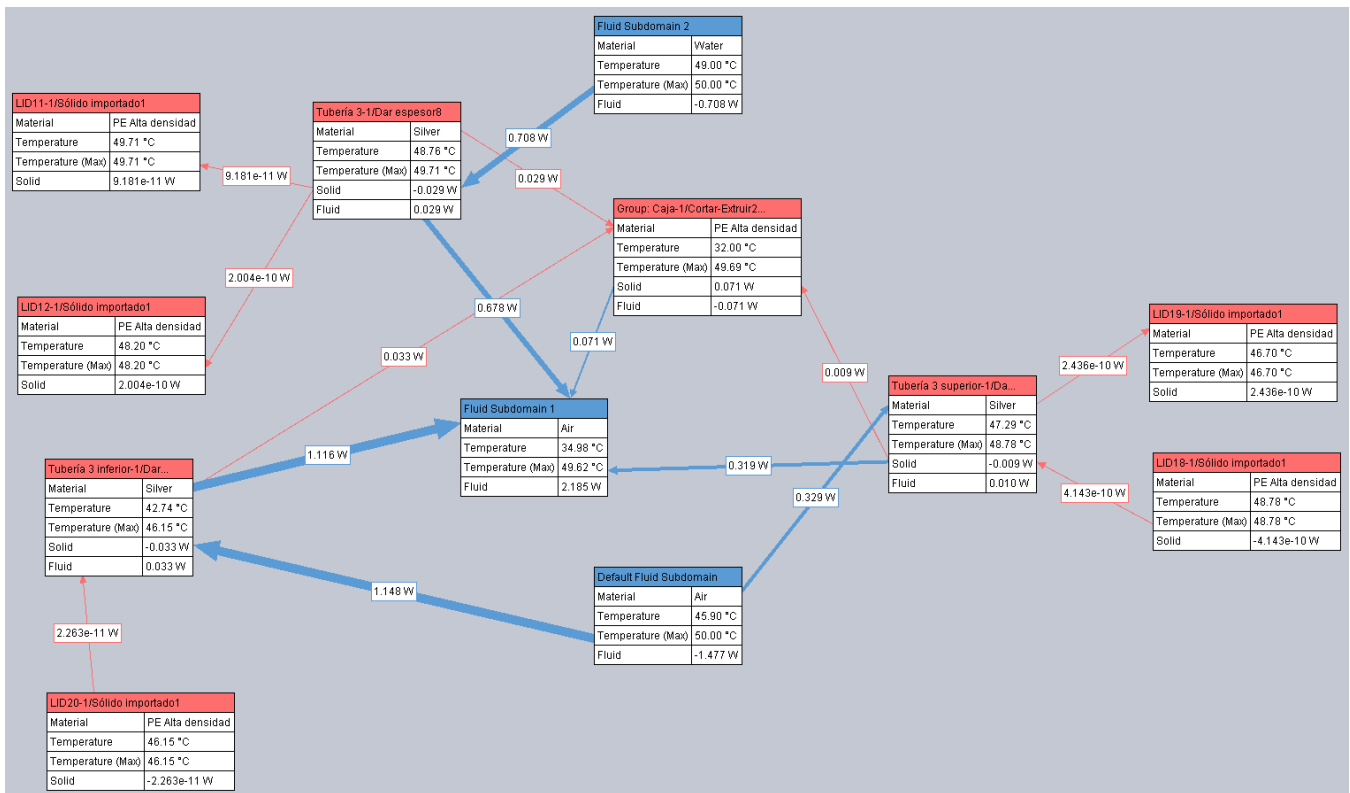


Figura 77. Temperatura promedio, máxima e intercambio de calor entre los componentes del sistema aislado (tapas).

Fuente: Elaboración propia.

3.5 Simulación con temperatura de operación de una secadora

En los anteriores apartados el objetivo principal era obtener un diseño que condujera la mayor cantidad posible de calor proveniente del agua al aire, para esto se usó la temperatura del agua a 50°C para todos los diseños y poder compararlos; sin embargo, como se ve en la Tabla 2 la temperatura de operación de las secadoras convencionales para las prendas más difíciles de secar va de 64°C a 70°C, por lo que en esta sección se simulará el cuarto diseño modificando las temperaturas de entrada para llegar al nivel de temperatura requerido.

3.5.1 Simulación

En la Figura 78 se tiene al sistema desde una vista frontal en la cual se pueden apreciar la trayectoria y las temperaturas del aire. En la Figura 79 se puede ver de una mejor manera las diferentes temperaturas del aire, las cuales rondan entre 64°C y tienen picos de más de 70°C.

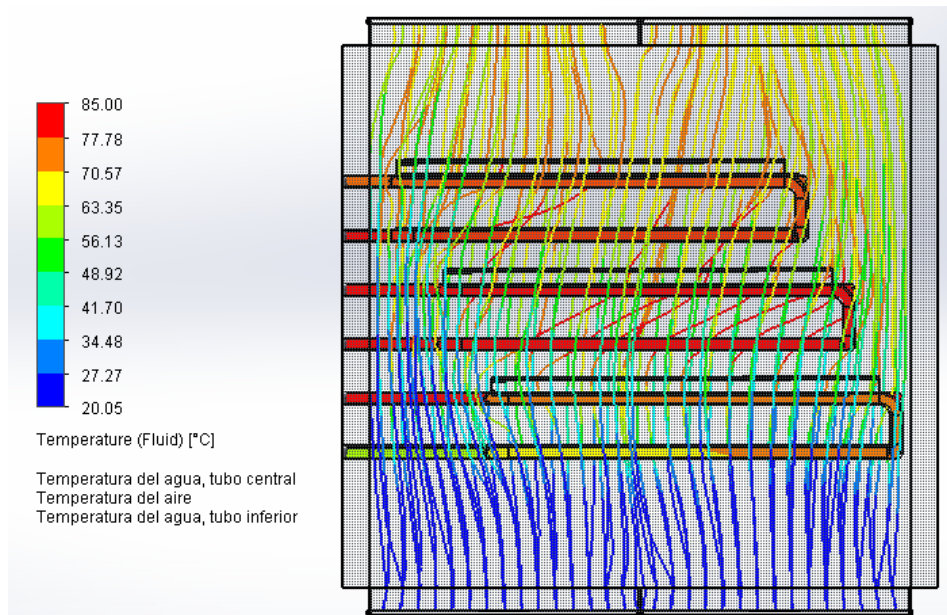


Figura 78. Temperatura del agua y del aire, vista frontal.

Fuente: Elaboración propia.

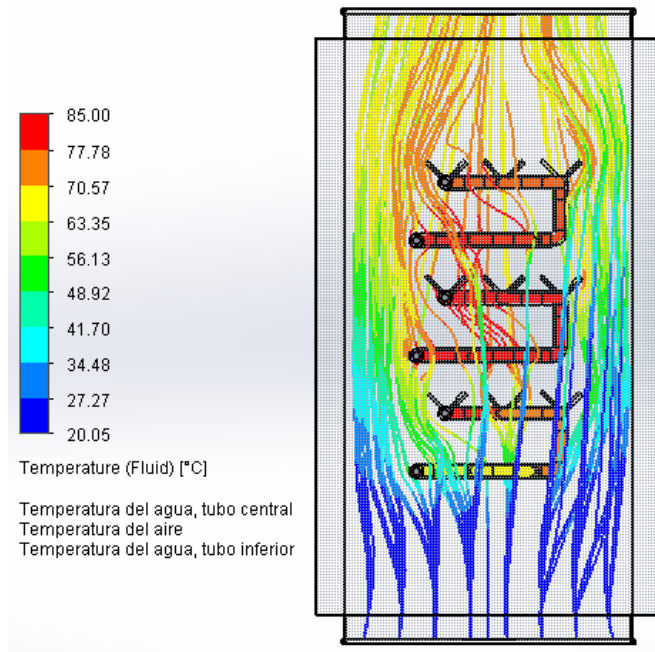


Figura 79. Temperatura del agua y del aire, vista lateral.

Fuente: Elaboración propia.

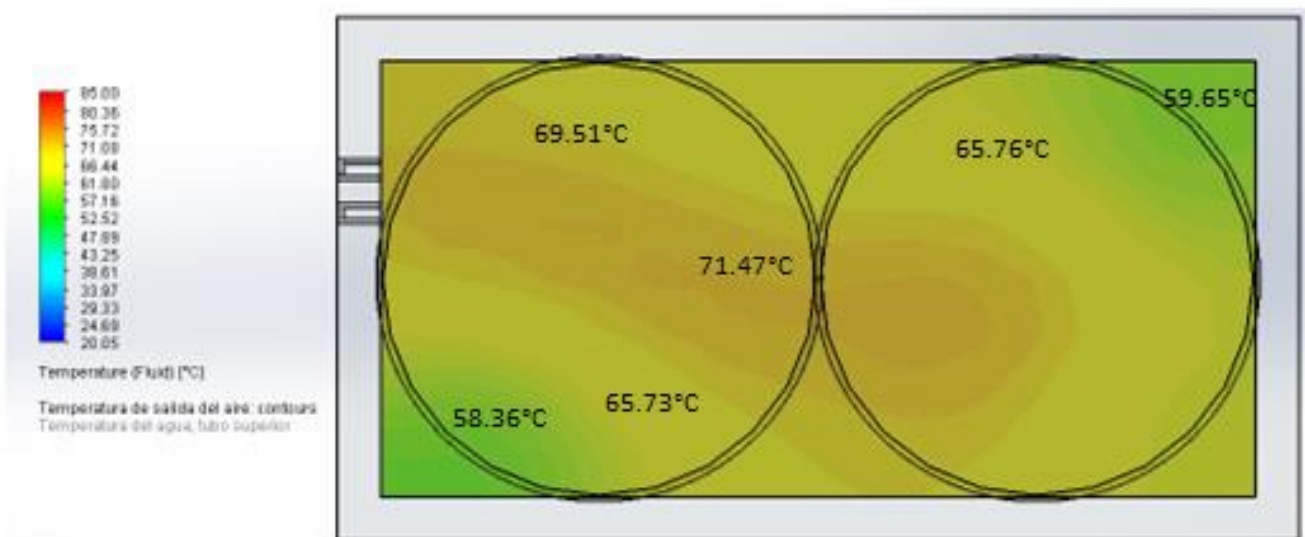


Figura 80. Temperatura final del aire, vista superior.

Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 80 se puede ver la temperatura de salida del aire representada por un área, se puede ver que, en promedio cumple con las temperaturas requeridas por la secadora convencional, por lo que, se concluye que la temperatura a la que tendría que entrar el agua proveniente de los colectores solares debe ser de 85°C.

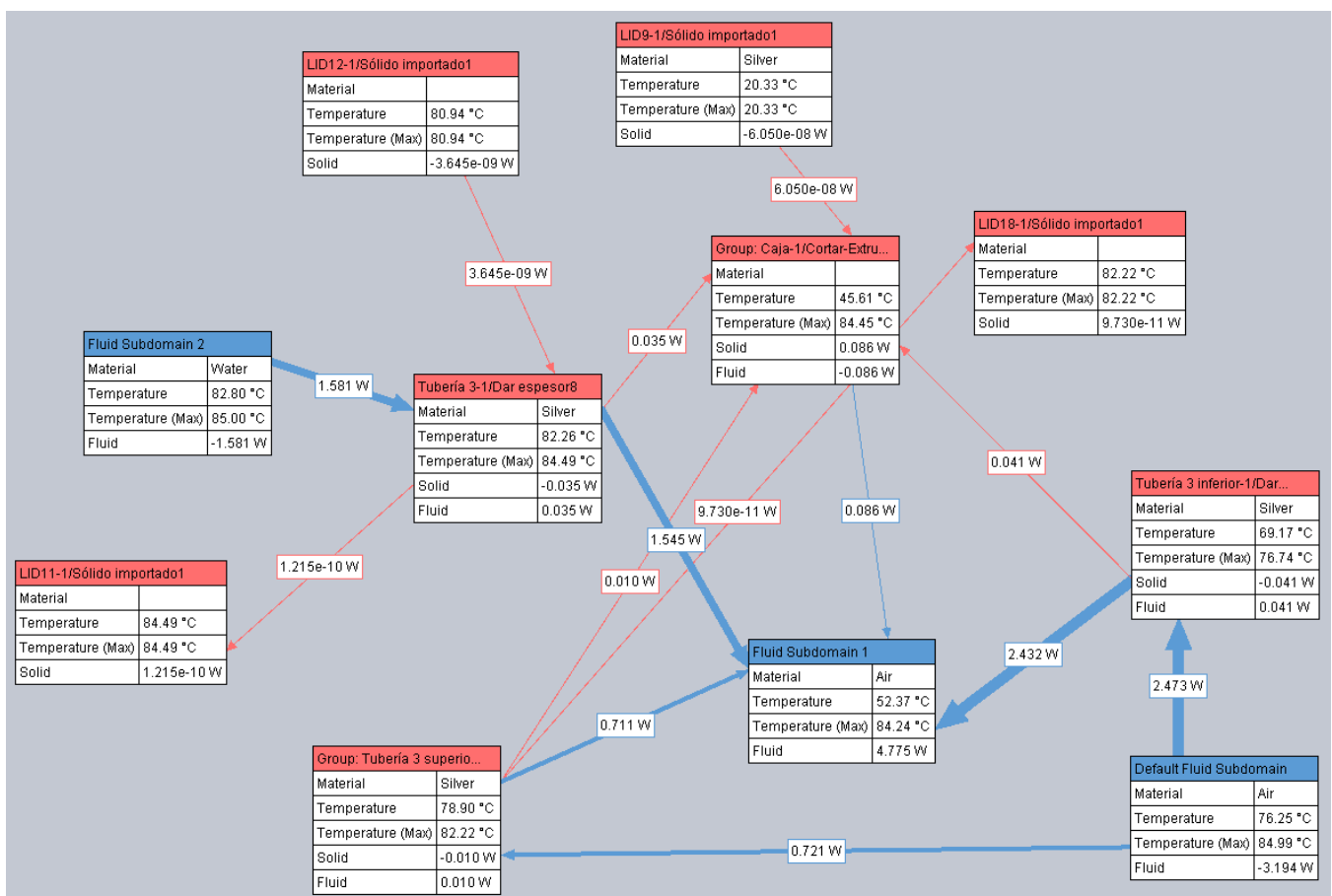


Figura 81. Temperatura promedio, máxima e intercambio de calor entre los componentes del sistema.

Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 81 se tiene el diagrama de temperaturas máximas y promedio, además de la energía transferida por los diversos componentes del sistema, de igual manera que en el apartado del diseño cuatro se obtiene una relación simplificada de la transferencia de calor entre los elementos, para esto se toma la Ecuación 7 y se sustituyen los nuevos valores, lo que resulta en la Ecuación 9.

$$4.775W \approx 2.432W + 1.545W + 0.711W + 0.086W$$

Ecuación 9

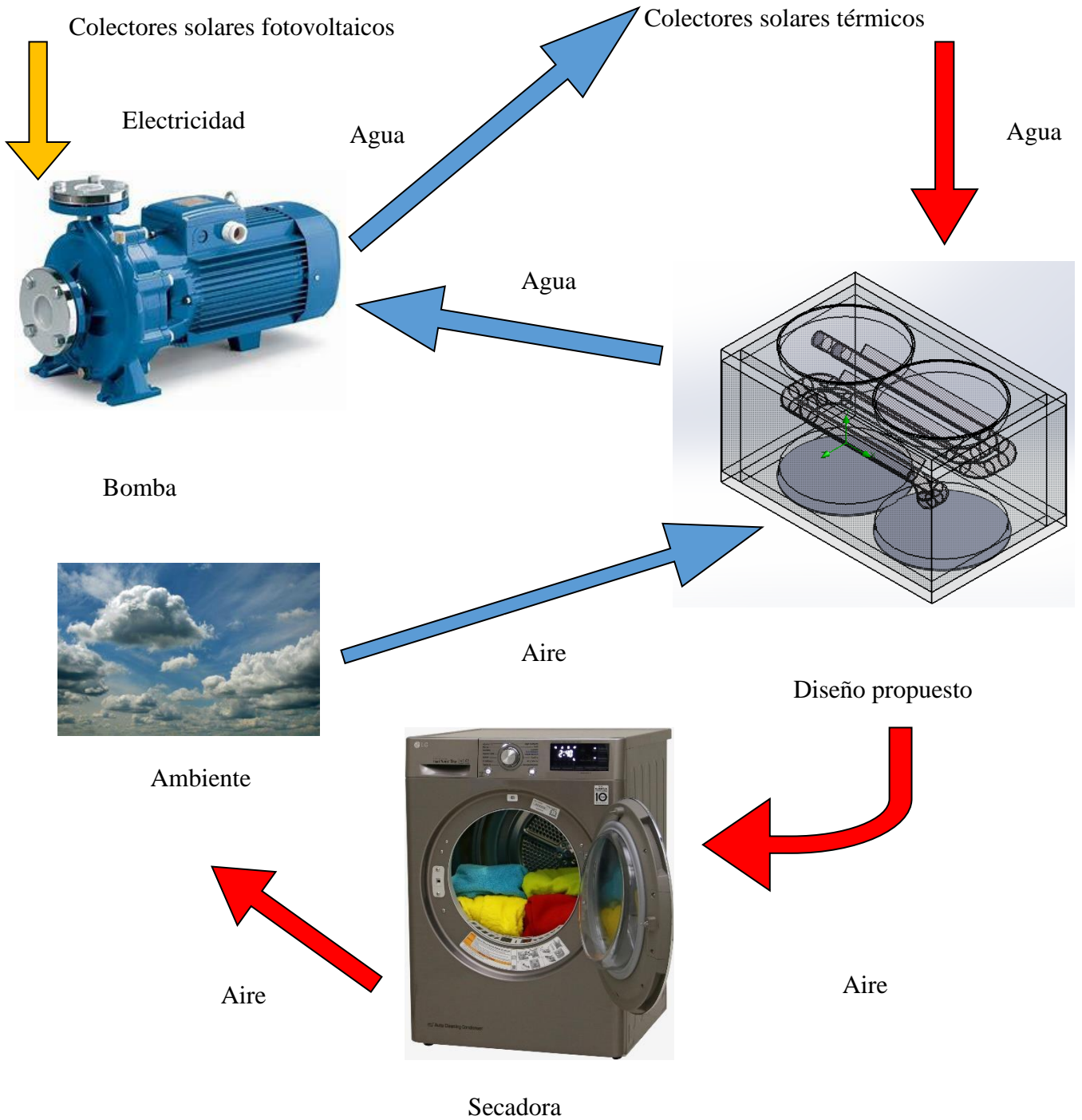
A continuación, se presenta un diagrama de cómo sería implementado el diseño propuesto en el sistema de la secadora y los componentes implicados. En el diagrama se usan flechas para indicar el sentido de los fluidos y la electricidad, las rojas son para el aire y agua caliente; las azules para los fluidos fríos y la amarilla para la electricidad.



Colectores solares fotovoltaicos



Colectores solares térmicos



Electricidad

Agua

Colectores solares térmicos

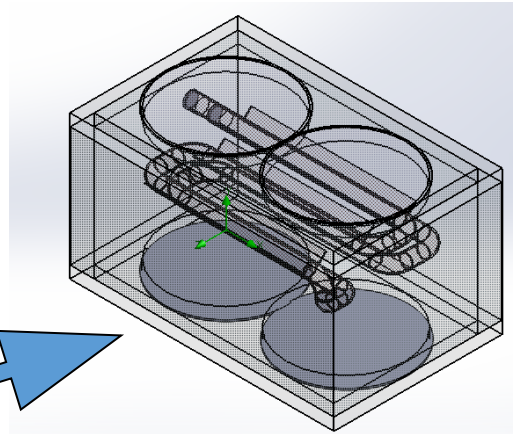
Agua



Bomba

Agua

Agua



Diseño propuesto



Ambiente

Aire

Aire

Aire



Secadora

Aire

Aire

4 Dimensionamiento de colectores

Debido a que el análisis realizado en la simulación no es dependiente del tiempo pudiera parecer que se tiene solamente como datos la temperatura del aire y del agua inicial y final. Sin embargo, el mismo software nos permite conocer el volumen de las tuberías, con esto se puede saber cuánta agua se necesita para elevar la temperatura del aire. Ahora tomando en cuenta un tiempo promedio de secado de 30 minutos podemos saber el caudal del agua necesario para un ciclo de secado.[45] Después solo queda determinar la cantidad de ciclos de secado por día, para determinar la cantidad de agua caliente necesaria por ciclo de secado, primero se toma en cuenta que la simulación se hizo con un caudal de $0.0001 \text{ m}^3/\text{s}$ por parte de los tres serpentines y la entrada de aire; el tiempo que dura el ciclo de secado; con esto se tiene la Ecuación 10.

$$\textit{Agua por ciclo} = \textit{Caudal de la tubería} * 3 * \textit{tiempo de ciclo de secado} \quad \textit{Ecuación 10}$$

Sustituyendo los valores en la Ecuación 10 y cambiando las unidades de tiempo, resulta:

$$\textit{Agua por ciclo} = 0.0001 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} * 3 * 1800\text{s} = 0.54\text{m}^3 = 540\text{L} \quad \textit{Ecuación 11}$$

También es necesario conocer la irradiancia promedio. Para los valores de irradiancia se tienen los datos de la Figura 82 obtenidos de, donde se tienen dos tipos irradiancia promedio por día durante los meses del año, una para un plano horizontal a la superficie y otra con un ángulo de inclinación igual a la Latitud del estado de Puebla. En algunos meses no existe mucha diferencia en la irradiancia, sin

embargo, se elige la que tiene la inclinación con el mismo ángulo que la Latitud debido a que es la que tiene la irradiancia mínima con un valor mayor a la irradiancia horizontal, este valor es de 4.91 kW/m² al día.[46]

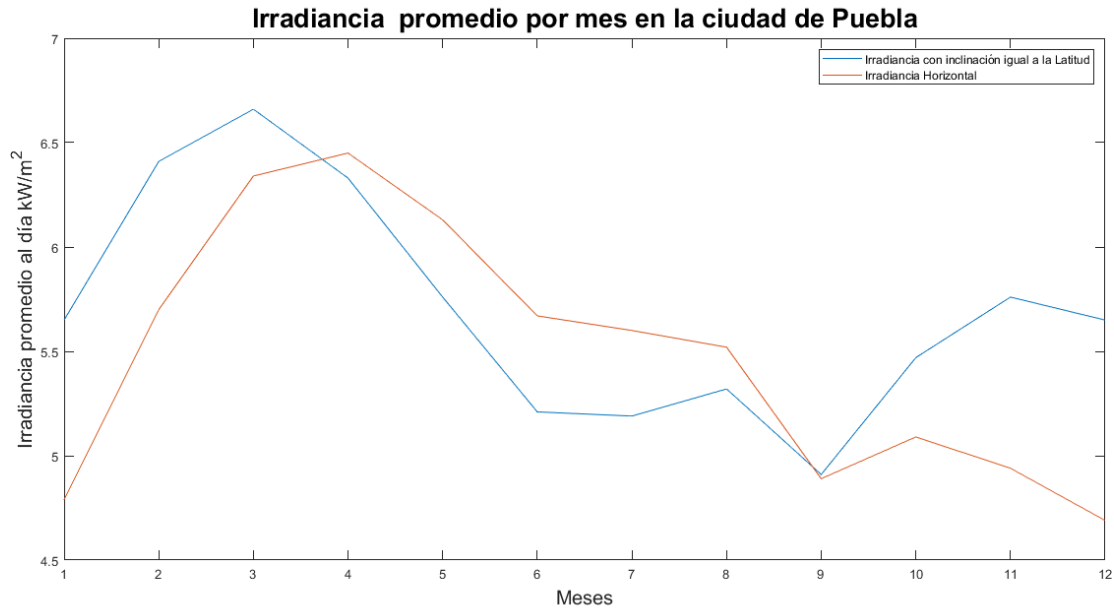


Figura 82. Irradiancia promedio en la ciudad de Puebla

Fuente: Elaboración propia. [43]

En la Tabla 3 se tiene un listado de las características y sus respectivos valores de las variables con las que se realizará el dimensionamiento de los colectores solares.

Tabla 3. Datos que serán usados para el dimensionamiento de los colectores solares.

Fuente: Elaboración propia.

Características	Valor
Longitud de Puebla	-98.18664°
Latitud de Puebla	18.95652°
Temperatura promedio	17.5°C
Temperatura del agua requerida	85°C
Flujo volumétrico	0.0001 m ³ /s
Agua requerida por ciclo	540 L
Área absorbente del colector	2.801 m ²
Irradiancia usada	4.91 kW/m ²

Se opta por la utilización de los colectores planos debido a la baja temperatura requerida durante el proceso de secado. Para calcular el área necesaria suficiente que cumpla con la demanda de agua caliente se tiene la Ecuación 12.[47]

$$A = 1.16 * 10^{-3} * Q_w * T_e / I_s \eta$$

Ecuación 12

donde:

Q_w : es la cantidad de agua que será calentada.

T_e : es la temperatura al que el agua será calentada.

I_s : es la irradiancia por m^2 durante el día.

η : es la eficiencia térmica del colector en %.

Para hacer un el dimensionamiento se propone una eficiencia del 50% ya que el fabricante estipula que a partir de una diferencia de más de 40°C en entre la temperatura inicial y final del fluido caloportador, el nivel de eficiencia baja hasta ese porcentaje. Teniendo esto en cuenta se tiene la Ecuación 13 para obtener el área necesaria para un ciclo de secado. Debido a que el autor no especifica el desarrollo de la Ecuación 12 se ha tratado de desarrollar y convertir unidades para ver cómo es que se llega obtener los m^2 .[46]

$$A = \frac{1.16 \cdot 10^{-3} / L \cdot 540 L \cdot 85^\circ\text{C}}{4.91 \frac{\text{kW}}{\text{m}^2\text{s}} \cdot 0.5} = 21.7322 \text{m}^2 \quad \text{Ecuación 13}$$

$$A = \frac{1.16 \cdot 10^{-3} / L \cdot 540 L \cdot 161.423 \text{kJ}}{8838 \frac{\text{kJ}}{\text{m}^2\text{s}} \cdot 0.5} \cong 21.7322 \text{m}^2 \quad \text{Ecuación 14}$$

Ahora ya se tiene el área requerida para un ciclo de secado, por lo que se procede a calcular la cantidad de colectores a usar. Dado que en la hoja de datos del fabricante nos dice que la superficie absorbente es de 2.801 m^2 se calcula la superficie total mediante la Ecuación 15.

$$\text{Número de colectores} = \frac{21.7322\text{m}^2}{2.801\text{m}^2} = 7.75 \approx 8$$

Ecuación 15

Puesto que solo se realizó un cálculo para un solo ciclo se procede a realizar el cálculo para los ciclos posteriores. Pudiera parecer que solo se necesitaría multiplicar el número de colectores dimensionados por el número de ciclos que se quieran realizar; sin embargo, de la simulación se obtiene que las temperaturas de salida del sistema de transferencia de calor no tienen una temperatura igual al medio ambiente a la salida del sistema, como se puede ver en la Figura 83. Sabiendo esto se realiza un promedio de las temperaturas mediante la Ecuación 16.

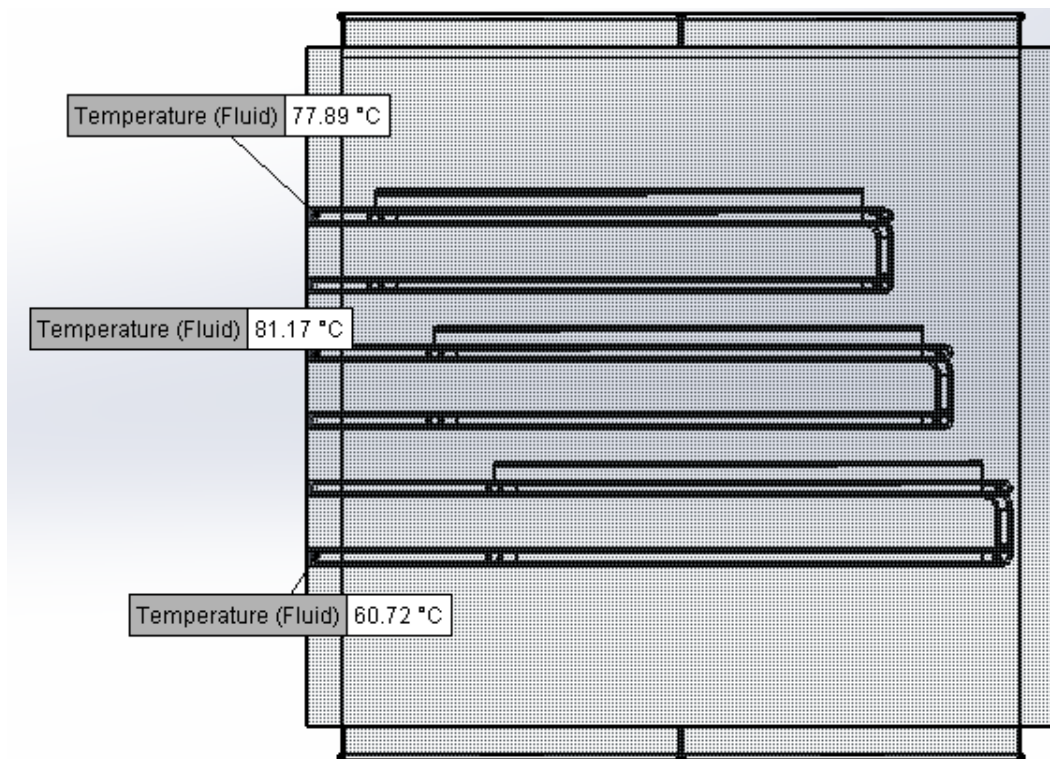


Figura 83. Temperatura de salida del agua, vista frontal.

Fuente: Elaboración propia.

$$\text{Temperatura promedio} = \frac{77.89^{\circ}\text{C} + 81.17^{\circ}\text{C} + 60.72^{\circ}\text{C}}{3} = 73.26^{\circ}\text{C}$$

Ecuación 16

Debido a que el fluido caloportador se encuentra en un sistema cerrado en el que del colector va a la secadora y de la secadora al colector, es decir, es un sistema cerrado el agua entra de nuevo a los colectores con la temperatura promedio que sale de los serpentines del modelo propuesto. Para esto se usa la Ecuación 13 nuevamente pero ahora con la diferencia de temperatura entre la salida y la entrada, esto es 11.74°C.

$$A = \frac{1.16 \cdot 10^{-3} \cdot 540L \cdot 11.74^{\circ}C}{4.91 \text{ kW/m}^2 \cdot 0.5} = 2.99m^2 \quad \text{Ecuación 17}$$

Se puede ver que se necesitan menos colectores para volver a calentar el agua nuevamente, por lo que la mayor cantidad de energía requerida será durante el primer el ciclo. Con esto se puede ver que por cada nuevo ciclo de secado que se quiera realizar se necesitaran dos colectores ya que, hay que recordar que uno solo solamente mide 2.801 m².

Dimensionamiento de sistema fotovoltaico

Debido a que se necesita bombear de regreso el agua que sale de la secadora a los colectores para que vuelva a ser calentada, es necesario el uso de una bomba eléctrica, por esta razón se necesita un sistema fotovoltaico que pueda suministrar energía a este sistema.

Para esto se utiliza el software *Mathlab* donde se realizan todos los cálculos necesarios mediante un código elaborado para obtener el dimensionamiento de los colectores solares fotovoltaicos, el código empleado se tiene en el anexo. Debido a que la irradiancia fue obtenida de los datos de la Figura 85 no se calcula mediante ecuaciones. En la Tabla 4 se tienen las variables y sus respectivos valores que

fueron usados en el programa. El módulo fotovoltaico seleccionado y sus respectivas características fueron tomadas del modelo “panel et solar 450w mono perc ET-M672BH450W”. [49]

Tabla 4. Valores de las variables usadas en el cálculo del sistema fotovoltaico.

Fuente: Elaboración propia.

Variables	Valor
Potencia de la bomba	782W
Irradiancia	4.91 kW/m ²
Potencia máxima del módulo (Pmax)	450 W
Corriente de corto circuito (Isc)	11.47 A

De los datos anteriores el código del programa arroja los siguientes resultados :

- **Número de colectores:** 2 módulos para 8 horas o 16 ciclos de secado.
- **Corriente del regulador:** 22.94 A.
- **Potencia del inversor:** 977.5 W.

Debido a que son pocos módulos los que se necesitan para alimentar a la bomba, se opta por no usar un sistema de almacenamiento, y que el sistema sea interconectado a la red.

5 Optimización

Debido a que el número de colectores solares térmicos requeridos para el primer ciclo de secado fue elevado se decide a realizar una optimización, el alto consumo de agua es debido a la utilización de tres intercambiadores de calor que necesitaban una gran cantidad de agua por ciclo de secado.

5.1 Diseño

Para reducir el número de colectores se opta por reducir el número de intercambiadores de calor de tres a uno. Además, para compensar el calor que aportaban los dos serpentines retirados se cambian las dimensiones del intercambiadora, y las direcciones de flujo, haciendo que el agua caliente pase por la parte superior y la que tiene una menor temperatura en la parte inferior, esto se puede ver en las Figuras 84, 85 y 86. El ensamble se tiene en la Figura 89. También se cambia el material de la tubería de cobre a plata, la cual tiene una mayor conductividad térmica que varía de $429 \text{ W}/(\text{m}^*\text{k})$ a $425 \text{ W}/(\text{m}^*\text{k})$, dependiendo de la temperatura.

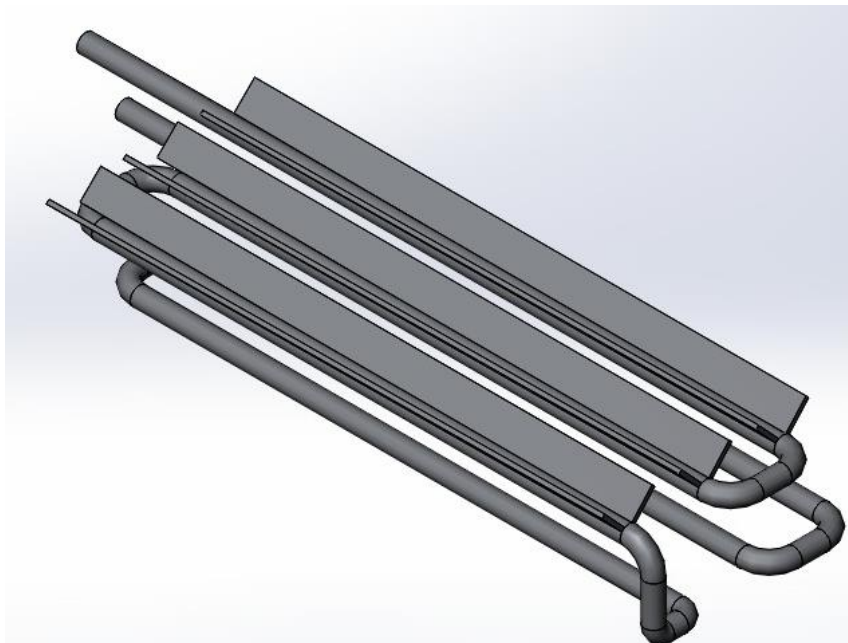


Figura 84. Diseño tubería optimizado, vista isométrica.

Fuente: Elaboración propia.

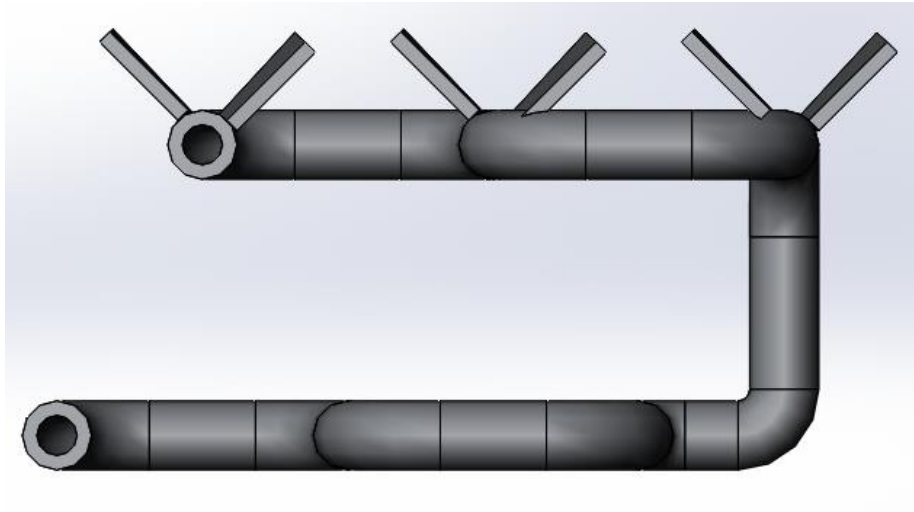


Figura 85. Diseño tubería optimizado, vista lateral.

Fuente: Elaboración propia.



Figura 86. Diseño tubería optimizado, vista superior.

Fuente: Elaboración propia.

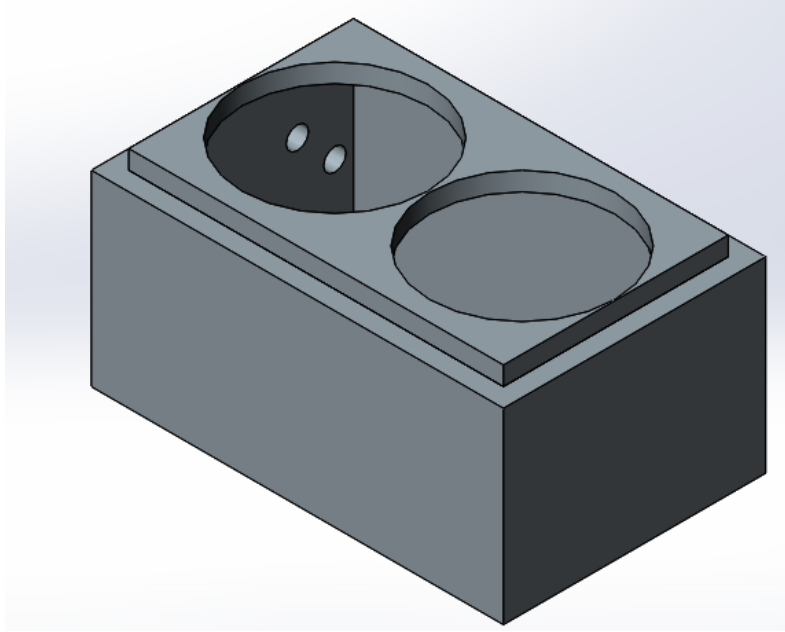


Figura 87. Diseño caja optimizado, vista isométrica.

Fuente: Elaboración propia.

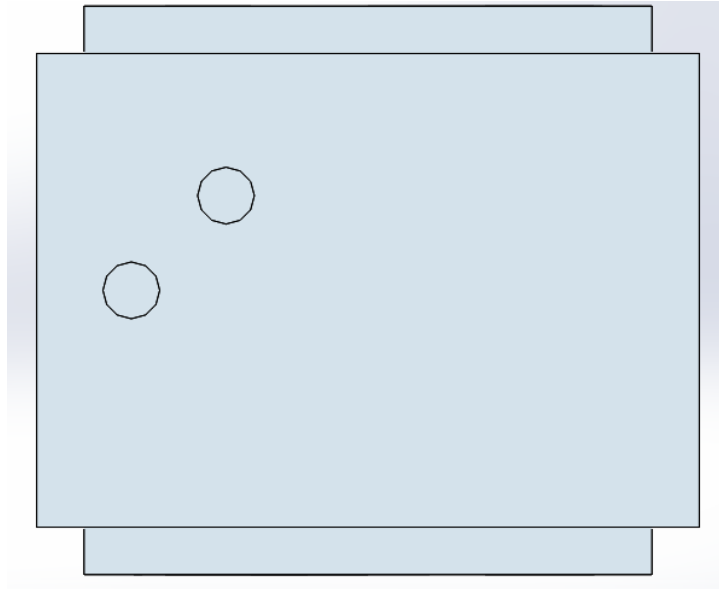


Figura 88. Diseño caja optimizado, vista lateral.

Fuente: Elaboración propia.

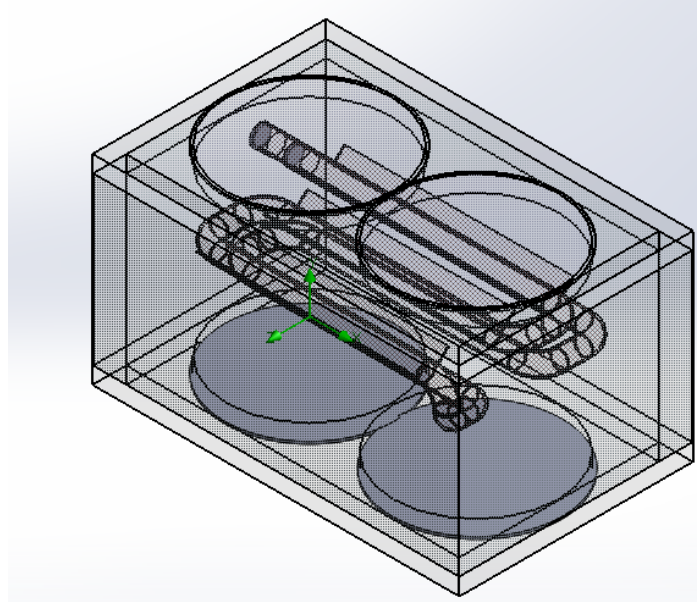
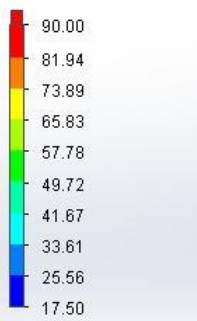


Figura 89. Ensamble optimizado, vista isométrica.

Fuente: Elaboración propia.

5.2 Simulación

Para esta simulación se cambia la temperatura del agua caliente de los colectores, ahora es de 85 °C, con este aumento se consigue alcanzar la temperatura requerida para el ciclo de secado. Esto se puede ver en la Figura 90, donde la máxima temperatura es de 68.14 °C y la mínima de 57.31 °C. Además, que la temperatura es más uniforme a lo largo de toda el área.



Temperature (Fluid) [°C]

Temperatura de salida del aire: contours
Cut Plot 2: contours
Flow Trajectories 1

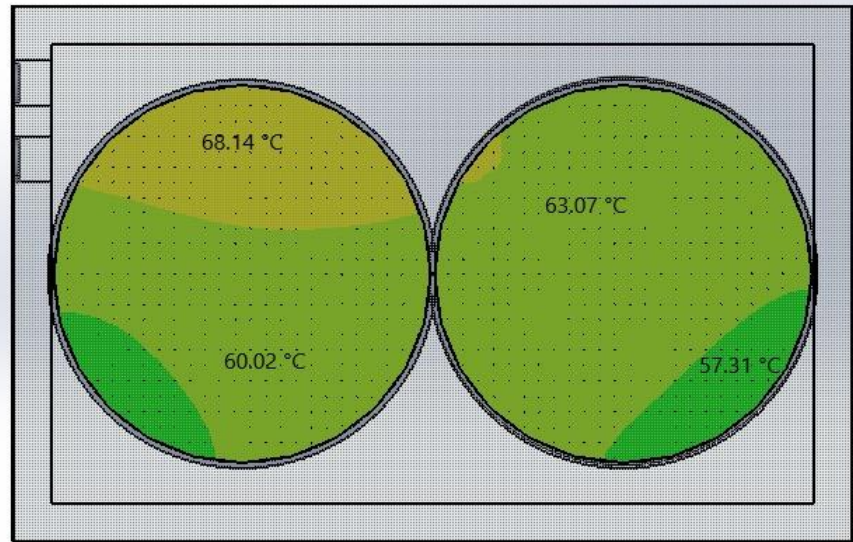


Figura 90. Simulación del diseño optimizado, vista superior.

Fuente: Elaboración propia.

5.3 Dimensionamiento de los colectores térmicos

De misma forma que en el caso anterior se usa la Ecuación 10 para calcular la cantidad de agua requerida en el sistema; esto da el resultado de la Ecuación 18.

$$\text{Agua por ciclo} = 0.0001 \frac{m^3}{s} * 1800s = 180 L \quad \text{Ecuación 18}$$

Se puede ver que se requiere menos cantidad de agua para un ciclo de secado, comparado con el prototipo anterior. Utilizando la Ecuación 12 se obtiene el área necesaria para el primer ciclo, como se muestra en la Ecuación 18:

$$A = \frac{1.16 * 10^{-3} * 180L * 85^{\circ}C}{4.91 \text{ kW/m}^2 * 0.5} = 8.5m^2 \quad \text{Ecuación 19}$$

Para obtener el número de colectores para el primer ciclo se usa la Ecuación 19:

$$\text{Número de colectores} = \frac{8.5m^2}{2.801m^2} = 3.03 \approx 4 \quad \text{Ecuación 20}$$

Como se puedes observar el número de colectores requeridos es menor que en el diseño anterior. Para los ciclos posteriores se tiene el resultado de las Ecuaciones 21 y 22:

$$A = \frac{1.16 \cdot 10^{-3} \cdot 180 \text{L} \cdot 56.9^\circ\text{C}}{4.91 \text{ kW/m}^2 \cdot 0.5} = 4.84 \text{m}^2 \quad \text{Ecuación 21}$$

$$\text{Número de colectores} = \frac{4.84 \text{m}^2}{2.801 \text{m}^2} = 1.72 \approx 2 \quad \text{Ecuación 22}$$

Aunque se redujo el número de intercambiadores de calor, el número colectores para ciclos superiores se sigue manteniendo en dos. Sin embargo, si no se redondean los resultados del número de colectores para el primer ciclo y el posterior a este, se obtiene que se necesitan cinco colectores en lugar de seis.

Para el sistema fotovoltaico se mantienen los mismos resultados ya que, la carga que es la bomba permanece con las mismas características.

Los resultados de esta última simulación y dimensionamiento nos demuestran que se necesitan menos colectores solares térmicos utilizando este nuevo diseño. Para demostrar lo anterior se tiene la Tabla 5, en dónde se muestran

Tabla 5. Resumen de resultados y datos usados en el dimensionamiento del sistema.

Fuente: Elaboración propia.

Simulación		
Características	Modelo con tres intercambiadores de calor	Modelo con un intercambiador de calor
Flujo volumétrico del agua	0.0001 m ³ /s	
Flujo volumétrico del aire	0.0001 m ³ /s	
Temperatura de entrada del agua	85 °C	85 °C
Temperatura promedio de salida del agua	73.26°C	53.09 °C
Temperatura de entrada del aire	17.5°C	
Temperatura de salida del aire	64 - 70°C	60 – 71 °C
Dimensionamiento térmico		
Duración de ciclo de secado	30 minutos	
Agua requerida para un ciclo de secado	540 L	180 L
Colector plano usado	Modelo “FPC3.0M” de Elioteknogy	
Colectores necesarios para el primer ciclo	8 unidades	4 unidades
Colectores necesarios para ciclos posteriores	2 unidades	
Dimensionamiento fotovoltaico		
Colectores necesarios para 8 horas o 16 ciclos	2 módulos	
Corriente del regulador	22.94 A	
Potencia del inversor	977.5 W	

6 Conclusiones y resultados

- En este trabajo se muestra que el diseño propuesto puede ser implementado en distintos tipos de secadoras debido a que solo es un complemento que permite sustituir el combustible (gas o electricidad) por energía térmica solar; el cual puede ser mejorado para optimizar su rendimiento visto en los resultados.
- El resultado en el dimensionamiento del número de colectores térmicos y fotovoltaicos se hizo basado específicamente las características de la ciudad de Puebla, sin embargo, esto puede aplicarse a otros lugares con diferentes características modificando algunas variables.
- Por último, como se pudo observar el número de colectores térmicos requeridos para el secado es un poco elevado, pensando en que esto será aplicado en las lavanderías, donde la mayoría cuenta con un espacio reducido y además cuentan con más de una secadora. Por estas razones la implementación de este diseño será como complemento para los procesos de secado, esto es, solamente adaptar a una secadora con el diseño propuesto y utilizar las secadoras convencionales.
- Este diseño podría funcionar como un sistema híbrido, utilizando las secadoras convencionales y tener una o más secadoras operando con el diseño propuesto, si bien no evita las emisiones totales, ayudaría a reducirlas y además permitiría un ahorro energético.

7 Recomendaciones

A lo largo de la investigación se pudo observar que la mejor forma de diseñar una alternativa a las secadoras convencionales es mediante la simulación y la realización de pruebas reales, ya que, la eficiencia de los colectores y el sistema propuesto dan resultados que son complicados de emular en un software. Por esto, la combinación de simulaciones y pruebas reales darán resultados óptimos y se podrán implementar mejoras al sistema.

Por último, se proponen algunas mejoras para optimizar el rendimiento del proceso de secado de ropa, esto se basa en la investigación realizada en este documento, en lo aprendido durante la realización de este y lo mostrado en las simulaciones.

- ***Implementación de un diseño diferente de intercambiador de calor:*** durante las simulaciones se pudo ver que un cambio en el diseño del intercambiador de calor (que en este caso fueron los serpentines de tubería), logró un aumento en el calor transferido por parte del agua y del aire. Por lo que, puede que exista un mejor modelo que pueda superar la eficiencia del que fue propuesto.
- ***Cambio en el flujo volumétrico de los fluidos:*** cambiando la cantidad de aire o agua que pasen a través del sistema se puede obtener una mayor cantidad de transferencia de calor aumentando el flujo de alguno de los fluidos o ambos.
- ***Uso de secadoras con bombas de calor:*** como se pudo ver en el documento, el uso de bombas de calor permite la reutilización de este, evitando pérdidas al ambiente, lo que implicaría una menor energía necesaria para volver a calentar el fluido caloportador.

- ***Implementación de un colector solar diferente:*** existen diversos modelos y fabricantes de colectores, no solo para el de tipo plano (que fue elegido en el dimensionamiento), sino también para toda la variedad de colectores que fueron mencionados en los antecedentes, por lo que es probable que algún otro tipo de colector presente un mejor rendimiento que el seleccionado.
- ***Sistema de almacenamiento:*** Como se pudo ver el mayor consumo energético de calor se da en el primer ciclo de secado, por lo que un sistema de almacenamiento que permita conservar el calor que no fue usado pueda ser empleado para el siguiente día y no se tenga que volver a calentar desde una menor temperatura el fluido caloportador.
- ***Uso de colectores híbridos:*** Debido a que el sistema necesita de energía térmica y eléctrica el uso de este tipo de colectores podría optimizar el sistema al usar una menor área necesaria para los colectores.

8 Anexo

8.1 Imágenes usadas.

- 1.- *Generación de Energía Primaria en México durante 2020. Fuente: [3]. Elaboración propia.*
- 2.- *Generación de Energía Secundaria en México durante 2020. Fuente: [4] Elaboración propia.*
- 3.- *Consumo total de energía global expresado en MTEP. Fuente: [5]. Elaboración propia.*
- 4.- *Consumo total de energía en México expresado en MTEP. Fuente: [6]. Elaboración propia.*
- 5.- *Consumo energético por sector en México. Fuente: [4]. Elaboración propia.*
- 6.- *Consumo eléctrico nacional. Fuente: [6]. Elaboración propia.*
- 7.- *Consumo de energía en el sector comercial durante 2010 a 2020. Fuente: [3]. Elaboración propia.*
- 8.- *Importaciones en México durante 2007 a 2017. Fuente: [4]. Elaboración propia.*
- 9.- *Aumento en el número de establecimientos. Fuente: [1]. Elaboración propia.*
- 10.- *Formalidad e informalidad de los establecimientos. Fuente: [1]. Elaboración propia.*
- 11.- *Establecimientos en el país. Fuente: [1]. Elaboración propia.*
- 12.- *Representación de la unión p-n en los semiconductores. Fuente: [12].*
- 13.- *Inversor solar comercial. Fuente:[13].*
- 14.- *Banco de baterías. Fuente: [14].*
- 15.- *Controlador PWM (izquierda) y MPPT (derecha). Fuente: [15].*
- 16.- *Propagación de la refracción de las ondas de luz al incidir por rendijas. Fuente: [18].*
- 17.- *Convección forzada y natural. Fuente: [20].*
- 18.- *Componentes de la estructura del colector PTC. Fuente:[23].*
- 19.- *Estructura de un colector LFC. Fuente: [24].*
- 20.- *Estructura y funcionamiento de una Torre solar. Fuente: [26].*
- 21.- *Colector de tipo LFC. Fuente: [28].*
- 22.- *Estructura de un FPC mediante un corte transversal. Fuente: [29].*
- 23.- *Estructura interna y principio de operación de tubos de colectores ETC de flujo directo. Fuente: [30].*
- Figura 24.- *Estructura interna y principio de operación de tubos de colectores ETC tipo heat pipe. Fuente: [30].*
- 25.- *Representación de un colector tipo CPC. Fuente: [6].*
- 26.- *Estructura y componentes de un colector tipo EFPC. Fuente: [30].*
- 27.- *Mapa de México de irradiación normal directa promedio en un periodo de 1999 a 2018. Fuente:[31].*

- 28.- *Mapa de México de irradiación horizontal global en un periodo de 1999 a 2018. Fuente: [31].*
- 29.- *Irradiación horizontal global en un periodo de 1999 a 2018 en el estado de Puebla. Fuente: [31].*
- 30.- *Mapa de México de potencial de potencia fotovoltaica de 1999 a 2018. Fuente: [31].*
- 31.- *Principio de funcionamiento de una secadora de evacuación. Fuente:[34].*
- 32.- *Principio de funcionamiento de una secadora de condensación. Fuente: [34]-*
- 33.- *Principio de funcionamiento de una secadora de tipo bomba de calor. Fuente: [34].*
- 34.- *Diagrama de las fases del secado en una secadora. La numeración corresponde a las fases; la línea roja la energía consumida y la azul la temperatura. Fuente: [36].*
- 35.- *Intercambiador tipo tubo Fuente: [39]*
- 36.- *Intercambiador tipo placas. Fuente: [40]*
- 37.- *Intercambiador flujo paralelo. Fuente: [38]*
- 38.- *Intercambiador de contraflujo Fuente: [38]*
- 39.- *Intercambiador de flujo cruzado. Fuente: [38]*
- 40.- *Intercambiador de un solo paso. Fuente: [38]*
- 41.- *Intercambiador de un solo paso. Fuente: [38]*
- 42.- *Tubería, vista isométrica. Fuente: Elaboración propia.*
- 43.- *Tubería, vista frontal. Fuente: Elaboración propia.*
- 44.- *Caja, vista isométrica. Fuente: Elaboración propia.*
- 45.- *Caja, vista isométrica con un corte transversal. Fuente: Elaboración propia.*
- 46.- *Caja, vista isométrica con un corte transversal. Fuente: Elaboración propia.*
- 47.- *Simulación, vista isométrica. Fuente: Elaboración propia.*
- 48.- *Simulación, vista frontal. Fuente: Elaboración propia.*
- 49.- *Tubería de cobre. Fuente: Elaboración propia.*
- 50.- *Diseño simulación de la prueba dos. Fuente: Elaboración propia.*
- 51.- *Flujo de entrada de agua a 50°C de operación, vista frontal. Fuente: Elaboración propia.*
- 52.- *Flujo de entrada de agua a 50°C de operación, vista frontal y con un acercamiento. Fuente: Elaboración propia.*
- 53.- *Zonas en las que se produce cierta turbulencia en el aire. Fuente: Elaboración propia.*
- 54.- *Tubería de modelo dos, vista isométrica. Fuente: Elaboración propia.*
- 55.- *Tubería de modelo dos, vista superior. Fuente: Elaboración propia.*
- 56.- *Tubería de modelo dos, vista lateral izquierda. Fuente: Elaboración propia.*
- 57.- *Primer modelo, problemática con la distancia de la tubería y la entrada de aire. Fuente: Elaboración propia.*

- 58.- Caja del modelo dos, vista isométrica. Fuente: Elaboración propia.
- 59.- Ensamble de la caja y tubería, vista isométrica. Fuente: Elaboración propia.
- 60.- Resultados a una temperatura de agua inicial a 50 °C, vista frontal. Fuente: Elaboración propia.
- 61.- Resultados a una temperatura de agua inicial a 50 °C, vista frontal. Fuente: Elaboración propia.
- 62.- Resultados a una temperatura de agua inicial a 50 °C con una caja de polímero de alta densidad y temperatura de la caja, vista frontal. Fuente: Elaboración propia.
- 63.- Resultados a una temperatura de agua inicial a 50 °C con una caja de polímero de alta densidad y temperatura de la tubería, vista frontal. Fuente: Elaboración propia.
- 64.- Temperatura de la superficie de la tubería y del agua, vista frontal. Fuente: Elaboración propia.
- 65.- Temperatura promedio, máxima e intercambio de calor entres los componentes del sistema. Fuente: Elaboración propia.
- 66.- Diseño de tubería, vista lateral. Fuente: Elaboración propia.
- 67.- Simulación con temperatura del agua a 50° C, vista frontal. Fuente: Elaboración propia.
- 68.- Simulación con temperatura del agua a 50° C, vista lateral. Fuente: Elaboración propia
- 69.- Gráfica de temperatura final del aire representa con una superficie, vista isométrica. Fuente: Elaboración propia.
- 70.- Gráfica de temperatura final del aire representa con una superficie, vista superior. Fuente: Elaboración propia.
- 71.- Diseño número cuatro, vista isométrica. Fuente: Elaboración propia.
- 72.- Diseño número cuatro, vista frontal. Fuente: Elaboración propia.
- 73.- Diseño número cuatro, vistas superior(arriba) e inferior(abajo). Fuente: Elaboración propia.
- 74.- Temperatura del agua y del aire, vista frontal. Fuente: Elaboración propia.
- 75.- Temperatura del agua y del aire, vista frontal. Fuente: Elaboración propia.
- 76.- Temperatura del aire a la salida del sistema, vista superior. Fuente: Elaboración propia.
- 77.- Temperatura promedio, máxima e intercambio de calor entres los componentes del sistema aislado (tapas). Fuente: Elaboración propia.
- 78.- Temperatura del agua y del aire, vista frontal. Fuente: Elaboración propia.
- 79.- Temperatura del agua y del aire, vista lateral. Fuente: Elaboración propia.
- 80.- Temperatura final del aire, vista superior. Fuente: Elaboración propia.
- 81.- Temperatura promedio, máxima e intercambio de calor entres los componentes del sistema. Fuente: Elaboración propia.
- 82.- Irradiancia promedio en la ciudad de Puebla. Fuente: Elaboración propia. [43]
- 83.- Temperatura de salida del agua, vista frontal. Fuente: Elaboración propia.
- 84.- Diseño tubería optimizado, vista isométrica. Fuente: Elaboración propia.
- 85.- Diseño tubería optimizado, vista lateral. Fuente: Elaboración propia.

- 86.- *Diseño tubería optimizado, vista superior. Fuente: Elaboración propia.*
- 87.- *Diseño caja optimizado, vista isométrica. Fuente: Elaboración propia.*
- 88.- *Diseño caja optimizado, vista lateral. Fuente: Elaboración propia.*
- 89.- *Ensamble optimizado, vista isométrica. Fuente: Elaboración propia.*
- 90.- *Simulación del diseño optimizado, vista superior. Fuente: Elaboración propia.*
- 91.- *Croquis de las dimensiones del primer modelo de la caja, vista frontal. Fuente: Elaboración propia.*
- 92.- *Extrucción del primer modelo de la caja, vista isométrica. Fuente: Elaboración propia.*
- 93.- *Diámetros interior y exterior del primer modelo de la tubería, frontal. Fuente: Elaboración propia.*
- 94.- *Croquis del segundo modelo de la caja, frontal. Fuente: Elaboración propia.*
- 95.- *Extrucción del segundo modelo de la caja, vista isométrica. Fuente: Elaboración propia.*
- 96.- *Cortes para las entradas y salidas del aire del segundo modelo de la caja, vista superior. Fuente: Elaboración propia.*
- 97.- *Cortes para las entradas y salidas del agua del segundo modelo de la caja, vista lateral. Fuente: Elaboración propia.*
- 98.- *Croquis tubería segundo modelo, vista superior. Fuente: Elaboración propia*
- 99.- *Croquis tubería segundo modelo, vista isométrica. Fuente: Elaboración propia*
- 100.- *Diámetros interior y externo de la tubería segundo modelo ,vista frontal. Fuente: Elaboración propia*
- 101.- *Croquis de las primeras aletas utilizadas, vista frontal. Fuente: Elaboración propia*
- 102.- *Croquis del tercer modelo de la caja, vista frontal. Fuente: Elaboración propia*
- 103.- *Extrucción del tercer modelo de la caja, vista isométrica. Fuente: Elaboración propia*
- 104.- *Corte de las entradas y salidas de aire del tercer modelo de la caja, vista superior. Fuente: Elaboración propia*
105. *Corte de las entradas y salidas de agua del tercer modelo de la caja, vista superior. Fuente: Elaboración propia*
106. *Croquis de la tubería del tercer modelo, vista superior. Fuente: Elaboración propia*
107. *Croquis de la tubería del tercer modelo, vista isométrica. Fuente: Elaboración propia*
108. *Croquis de los diámetros interiores y exteriores de la tubería del tercer modelo, vista frontal. Fuente: Elaboración propia*

8.2 Medidas de diseños empleados

Primer modelo de caja, dimensiones exteriores: 21 cm x 19 cm x 3 cm.

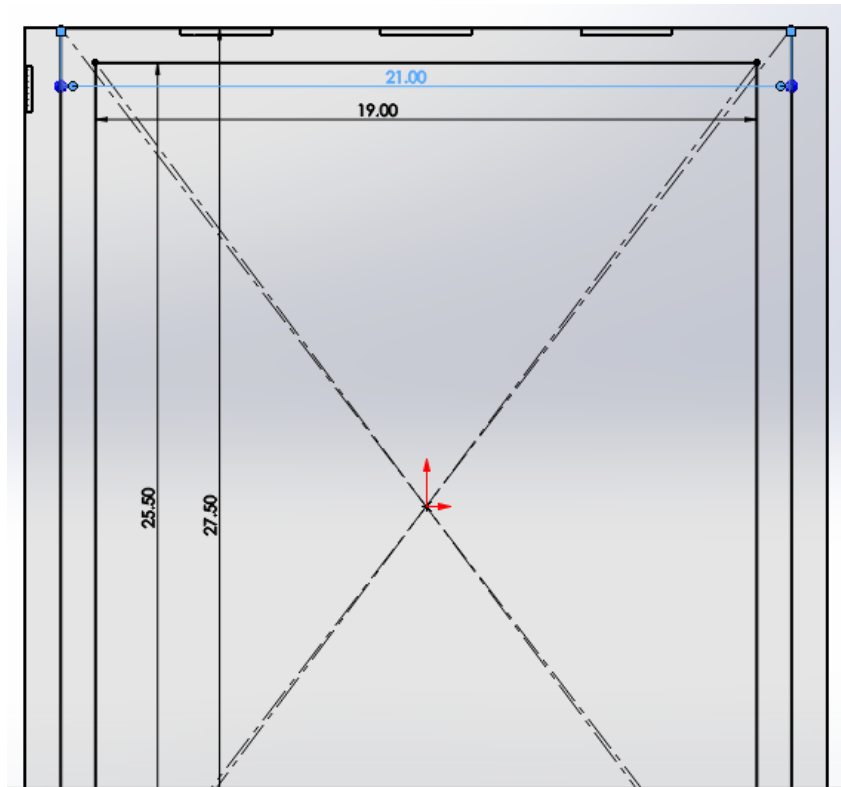


Figura 91. Corquis de las dimensiones del primer modelo de la caja, vista frontal.

Fuente: Elaboración propia.

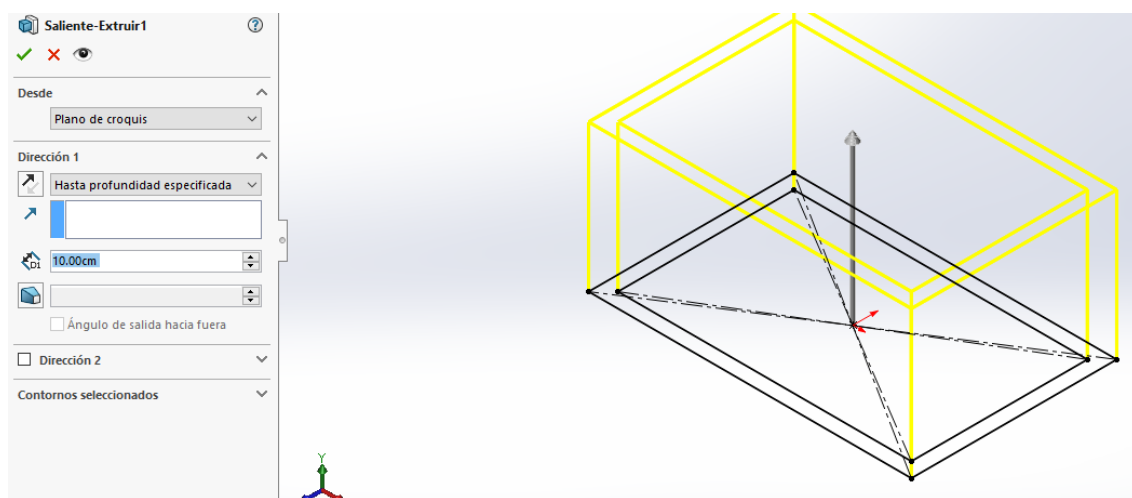


Figura 92. Extrucción del primer modelo de la caja, vista isométrica.

Fuente: Elaboración propia.

Tubería primer modelo, en la Figura 93 es el croquis de las dimensiones de la estructura de la tubería y en la Figura 94 están los diámetros interno y externo de la tubería.

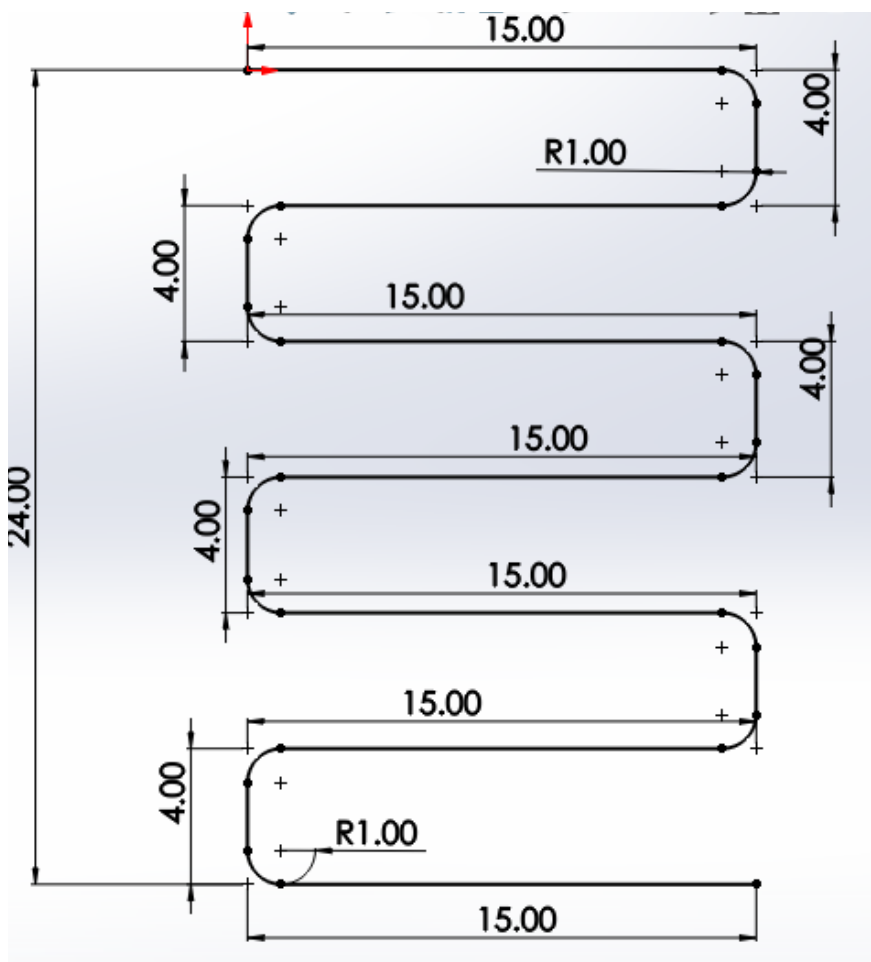


Figura 93. Croquis del primer modelo de la tubería, vista frontal.

Fuente: Elaboración propia.

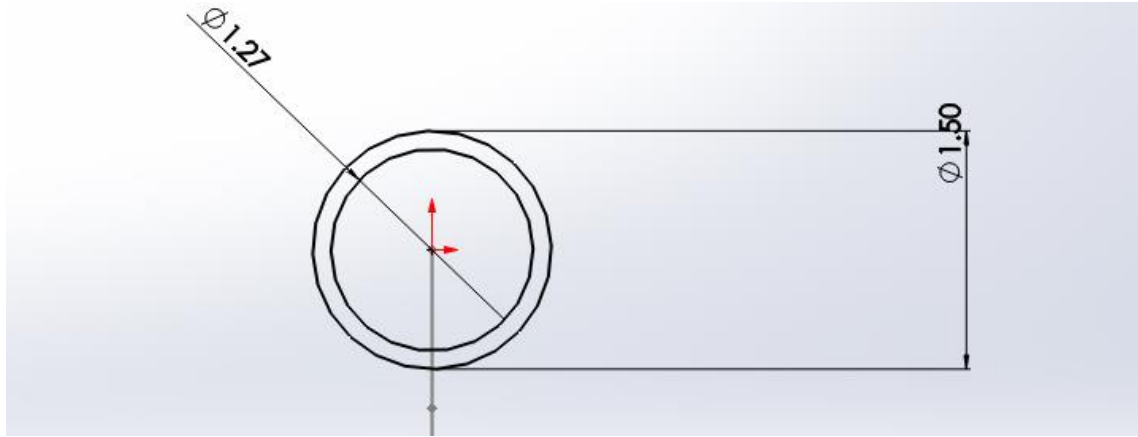


Figura 93. Diametros interior y externo del primer modelo de la tubería, vista frontal.

Fuente: Elaboración propia.

Segundo modelo de caja, dimensiones exteriores 22cm x 12cm x 20cm:

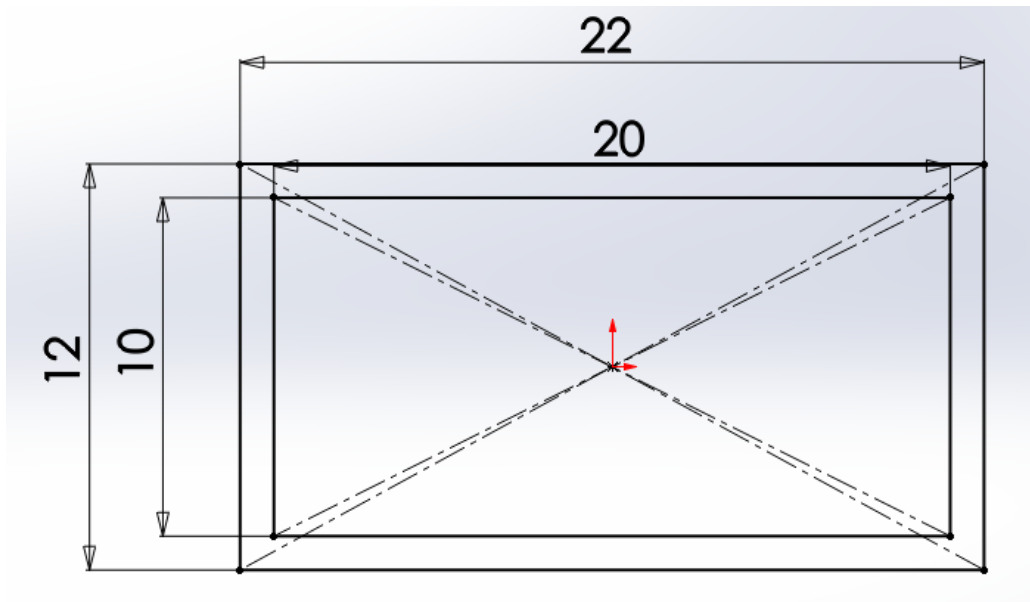


Figura 94. Croquis del segundo modelo de la caja, vista superior.

Fuente: Elaboración propia.

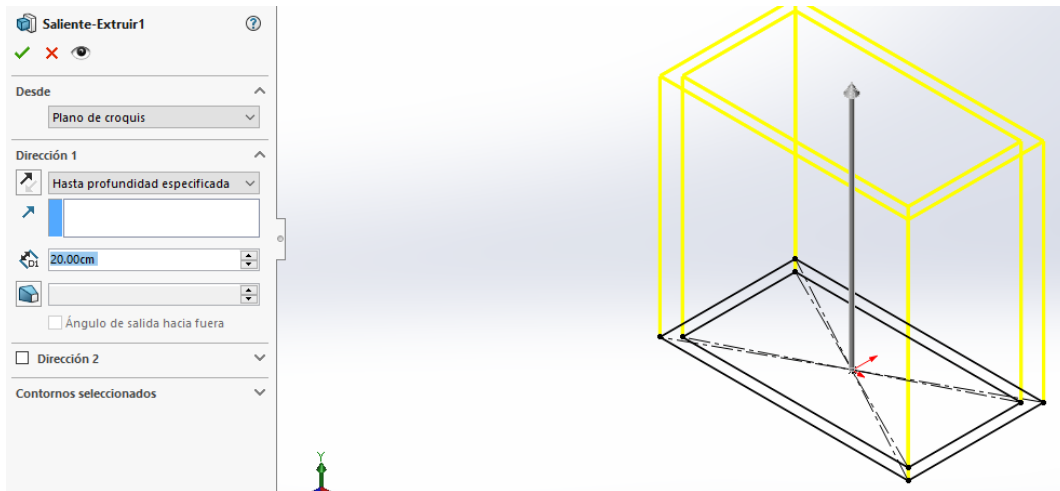


Figura 95.Extrucción del segundo modelo de la caja, vista isométrica.

Fuente: Elaboración propia.

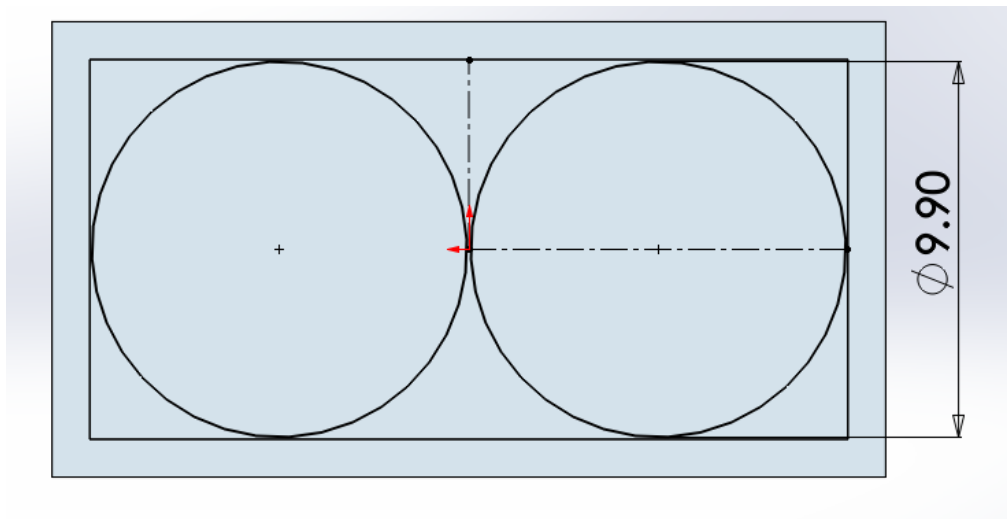


Figura 96.Cortes para las entradas y salidas del aire del segundo modelo de la caja, vista superior.

Fuente: Elaboración propia.

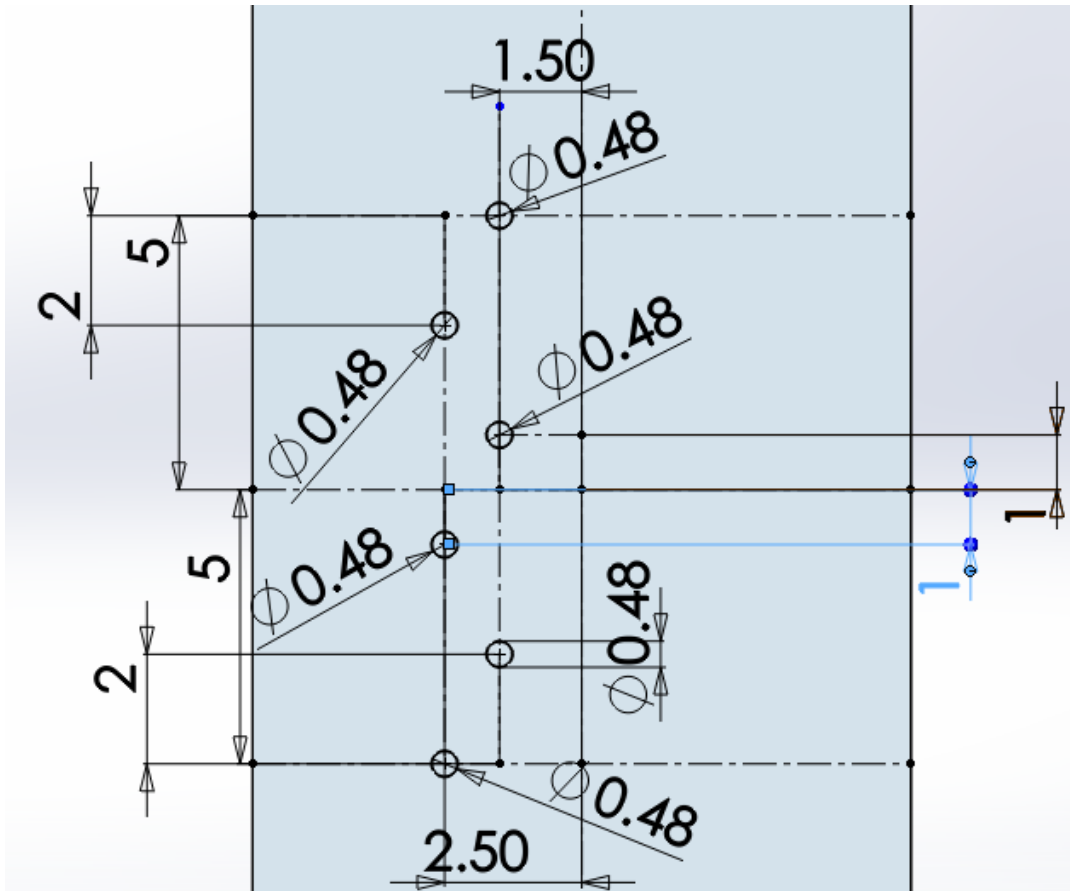


Figura 97. Cortes para las entradas y salidas del agua del segundo modelo de la caja, vista lateral.

Fuente: Elaboración propia.

Tubería, segundo modelo:

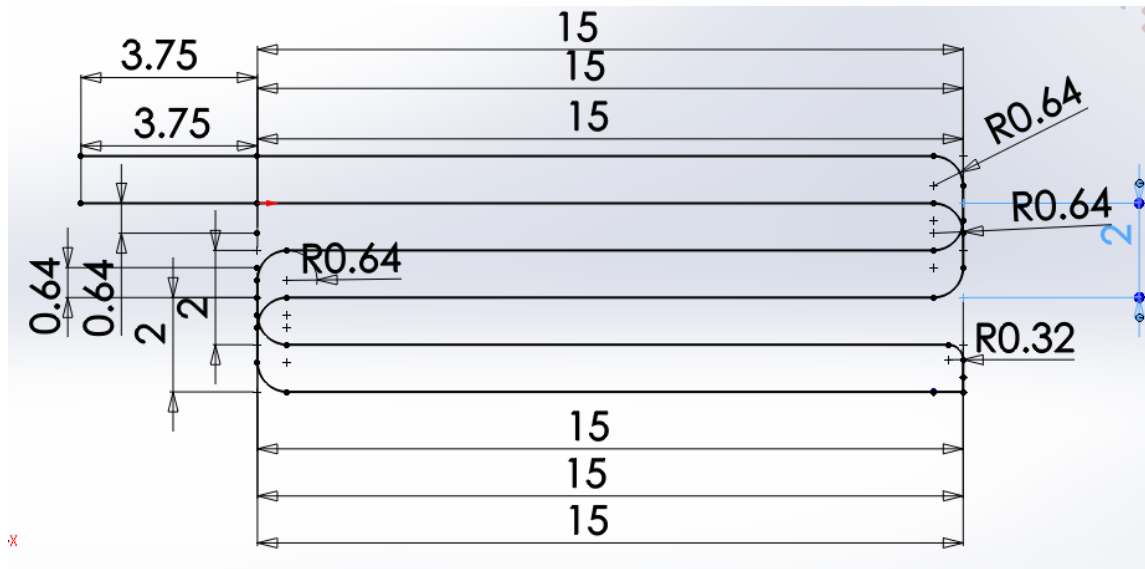


Figura 98. Croquis tubería segundo modelo, vista superior.

Fuente: Elaboración propia.

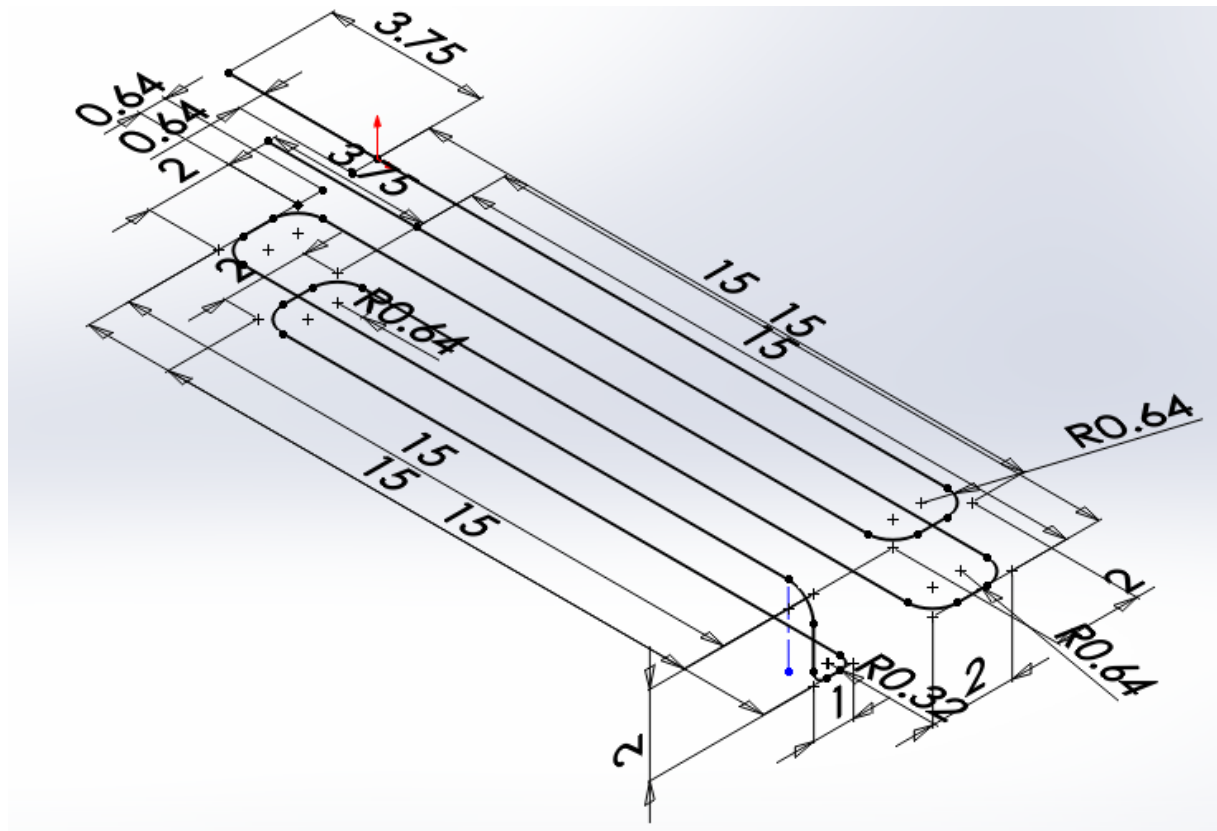


Figura 99. Croquis tubería segundo modelo, vista isométrica.

Fuente: Elaboración propia

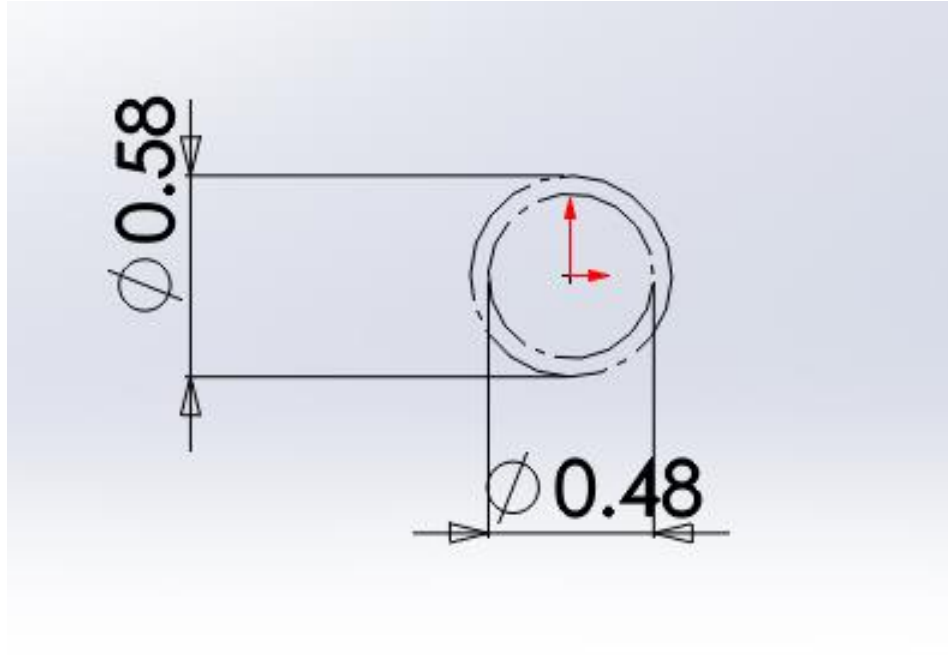


Figura 100. Diámetros interior y externo de la tubería segundo modelo, vista frontal.

Fuente: Elaboración propia

Primer modelo de aletas: con un ángulo de 45° , un centímetro de largo y 10mm de grosor.

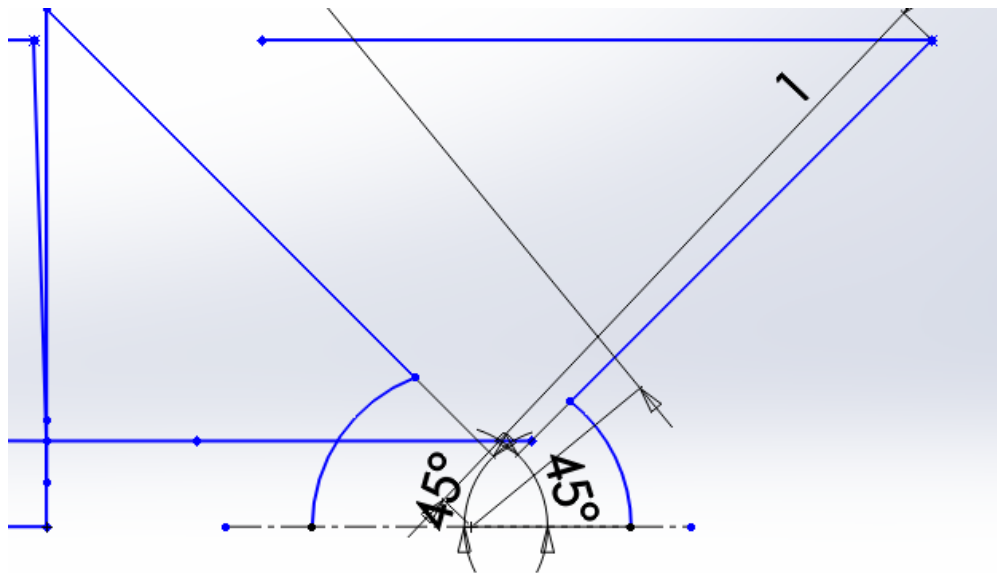


Figura 101. Croquis de las primeras aletas utilizadas, vista frontal.

Fuente: Elaboración propia

Tercer modelo de la caja: dimensiones exteriores: 14cm x 22cm x 10 cm.

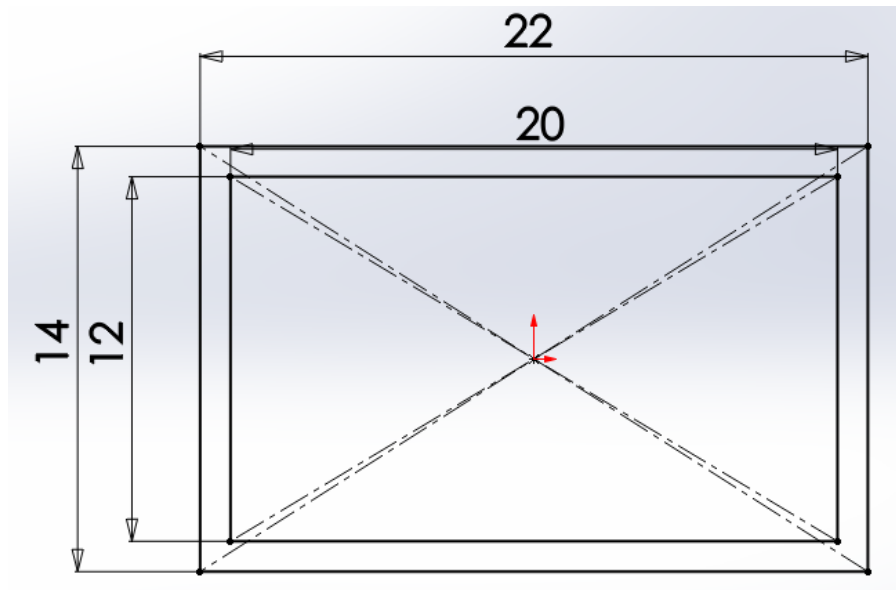


Figura 102. Croquis del tercer modelo de la caja, vista frontal.

Fuente: Elaboración propia

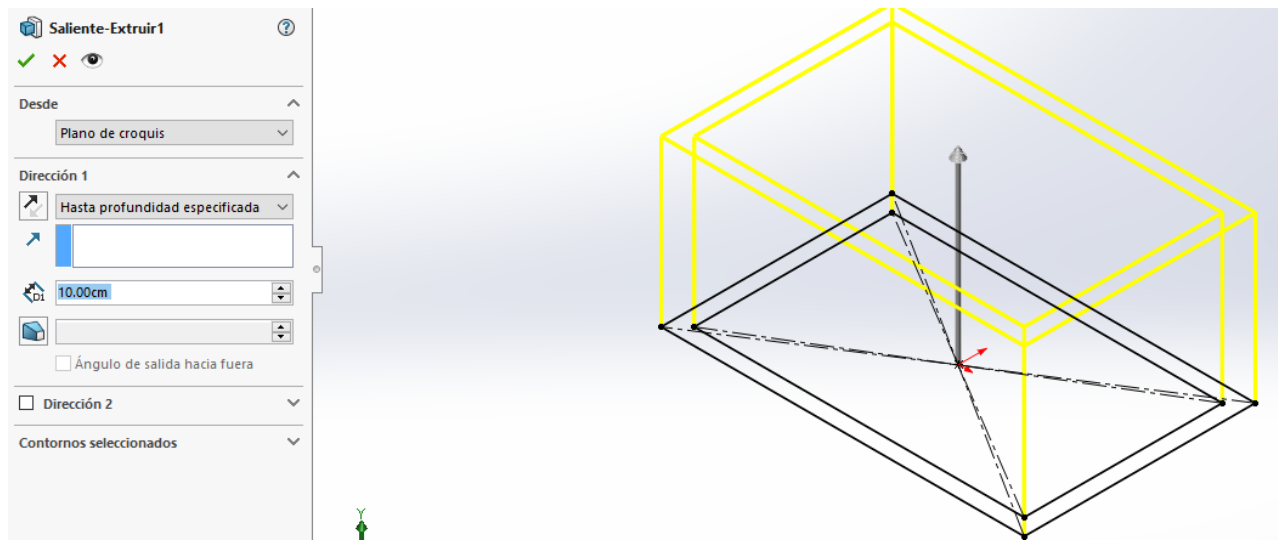


Figura 103. Extrucción del tercer modelo de la caja, vista isométrica.

Fuente: Elaboración propia

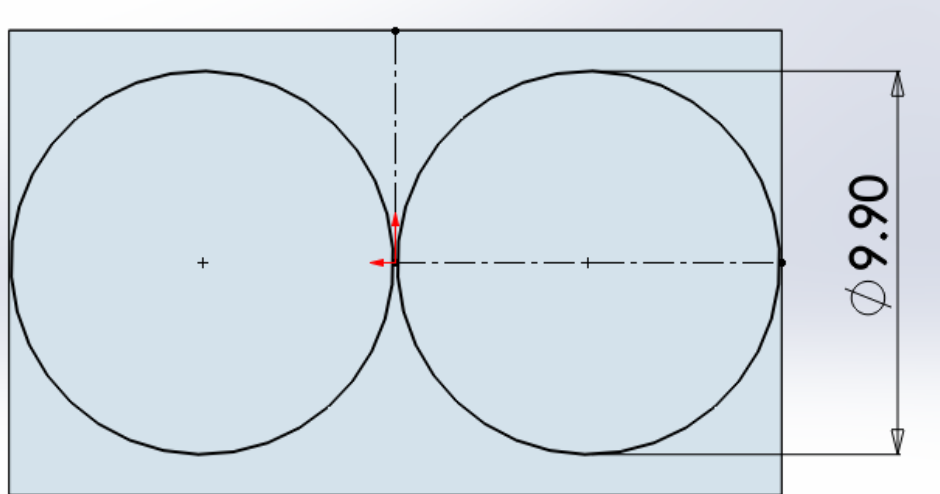


Figura 104. Corte de las entradas y salidas de aire del tercer modelo de la caja, vista superior.

Fuente: Elaboración propia

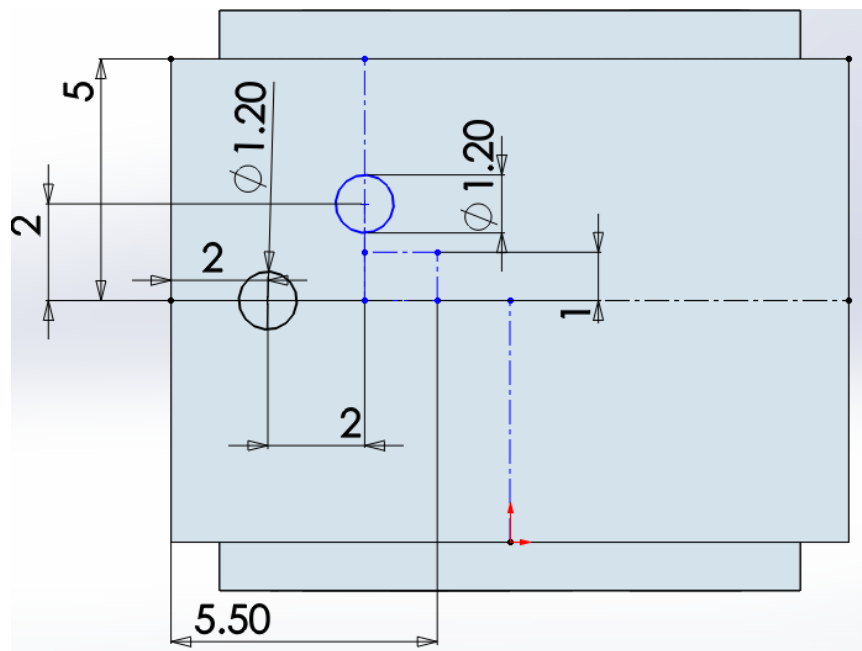


Figura 105. Corte de las entradas y salidas de agua del tercer modelo de la caja, vista superior.

Fuente: Elaboración propia

Tercer modelo de la tubería:

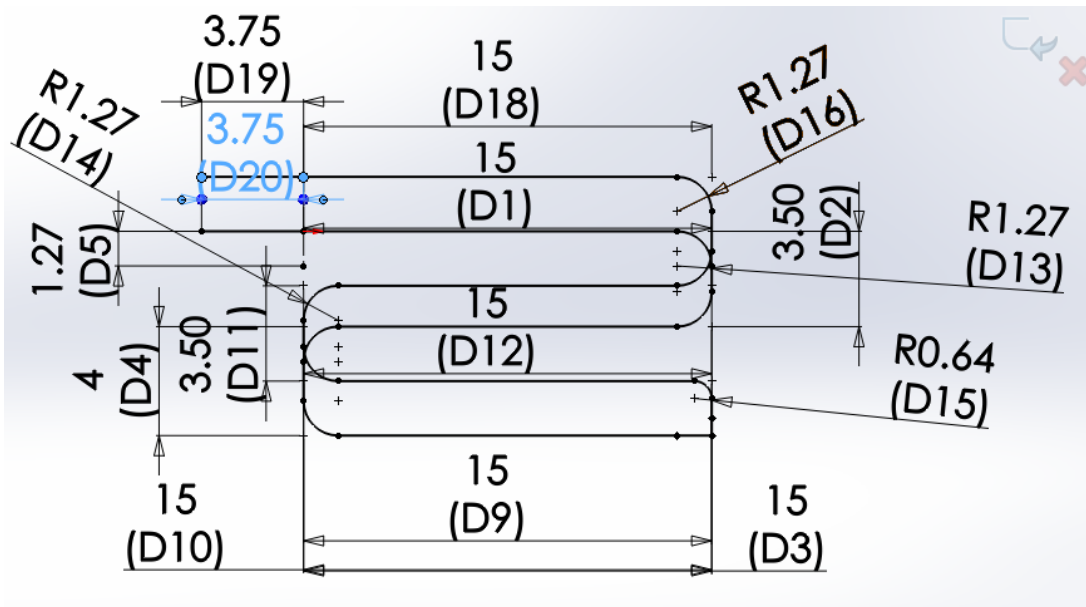


Figura 106. Croquis de la tubería del tercer modelo, vista superior.

Fuente: Elaboración propia

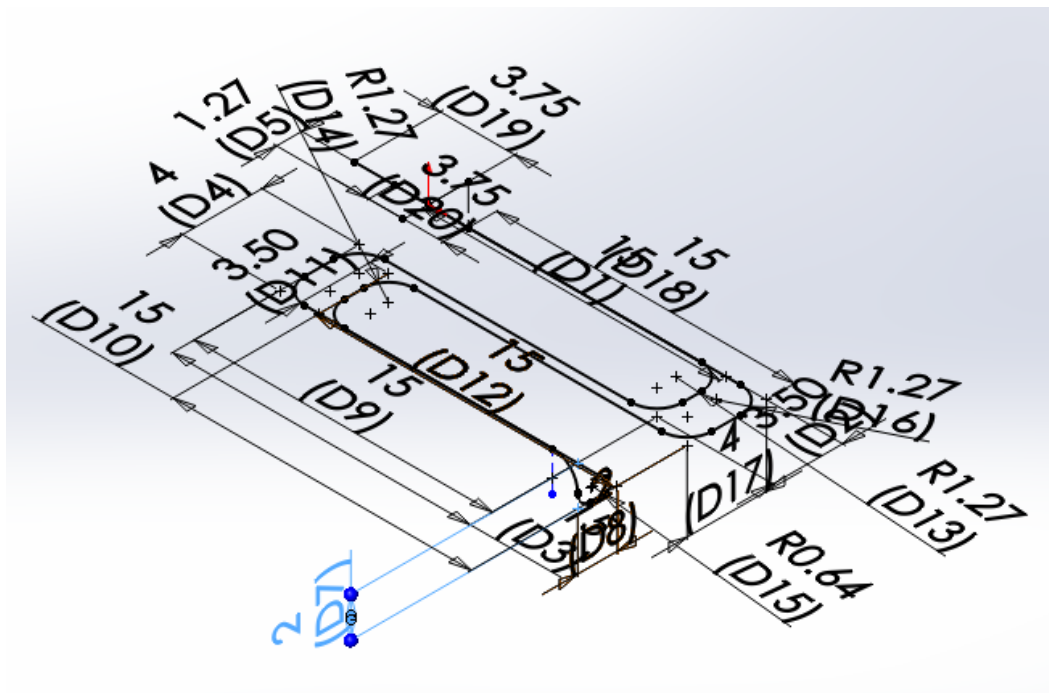


Figura 107. Croquis de la tubería del tercer modelo, vista isométrica.

Fuente: Elaboración propia

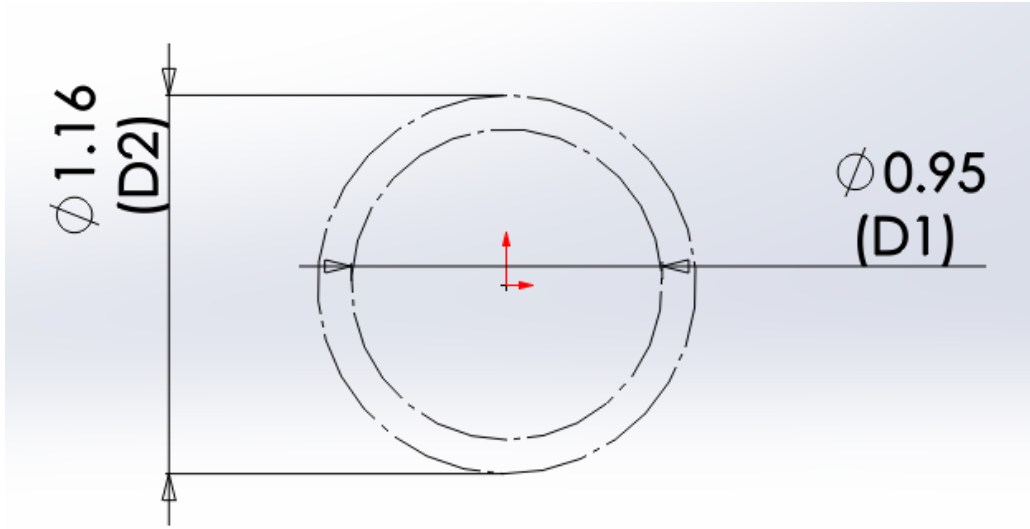


Figura 108. Croquis de los diámetros interiores y exteriores de la tubería del tercer modelo, vista frontal.

Fuente: Elaboración propia

Aletas modelos dos: de igual manera este modelo de aletas tiene un grosor de 10 mm.

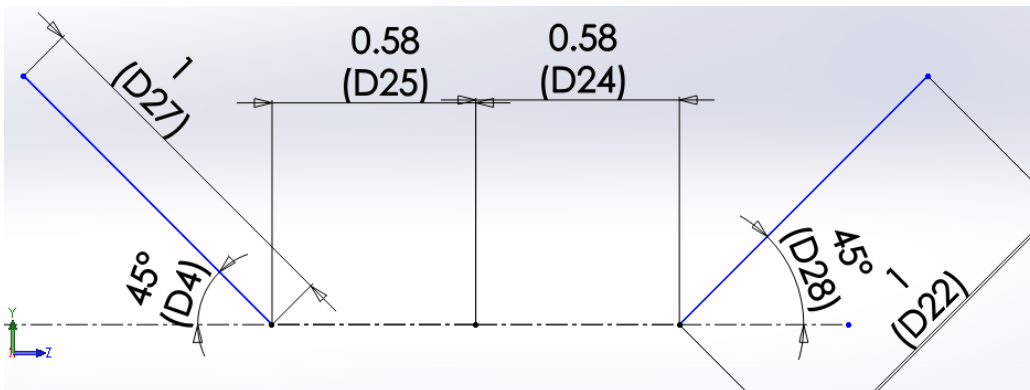


Figura 109. Croquis las aletas de la tubería del tercer modelo, vista frontal.

Fuente: Elaboración propia

8.3 Código de Matlab

A continuación, se presenta el código utilizado para el dimensionamiento del sistema fotovoltaico.

```
1  clc; clear;
2  Ecc=0;
3  Eca=0;
4  r='¿cuántas cargas tiene el sistema?';
5  n=input(r)
6  for r= 1:n
7  Cargas='¿Qué tipo de cargas se va a usar cc o ca, 1 para cc 2 para ca?';
8  C=input(Cargas);
9  if C==1
10     nu='¿Cuántes dispositivos son?' %cargas repetidas
11     num=input(nu);
12     Potencia='¿Cuál es la potencia de la carga?';
13     P=input(Potencia);
14     Horas='¿Cuantas horas se encuentra en funcionamiento la carga?';
15     h=input(Horas);
16     Ecc=Ecc+(h*P*num)
17     Wcc=P*P;
18 elseif C==2
19     nuna='¿Cuántes unidades son ca?' %cargas repetidas
20     numca=input(nuna);
21     Potenciaca='¿Cuál es la potencia de la carga?';
22     Pca=input(Potenciaca);
23     horasca='¿Cuantas horas se encuentra en funcionamiento la carga?';
24     hca=input(horasca);
25     Eca=Eca+(numca*Pca*hca);
26     Wca=Pca*Pca
27
28
29 end
30 end %determinación de consumo diario
31 Ecc
32 Eca
33 Factor='¿Cual es el factor de seguridad?';%factor de seguridad
34 f=input(Factor);
35 ecc=(1+f)*Ecc
36 eca=(1+f)*Eca
37 Eelec=ecc+eca%Consumo diario
38 Mes='¿Cuál es el valor del mes mas desfavorable en Kw/m^2/día?';
39 Hs=input(Mes);
40 Pot='¿Cuál es la potencia pico de los paneles?';
41 pp=input(Pot);
42 EP=Hs*pp; %energía producida por un panel
43 NM=1.1*((Eelec)/(EP))%Número de panales
44 nm=round(NM,0);
45 if NM > nm %
46     nun_mod=nm+1 %
47 else
48     nun_mod=nm %
49 end
```

En esta parte se hace un recuento del número y tipo de cargas del sistema, al final se suman para tener un total de cargas en DC y AC. Con esto se obtiene el consumo diario.

Se introduce el valor de irradiancia del mes más desfavorable y la capacidad de generación del módulo fotovoltaico para determinar los necesarios para alimentar las cargas.

```

50 Profundidad='¿Cuál es la profundidad máxima de descarga?';
51 Pdmax=input(Profundidad);
52 Dias_auto='¿Cuántos días de autonomía tendrá el sistema?';
53 ND=input(Dias_auto);
54 Voltaje_B='¿Cuál es el voltaje de las baterías?';
55 VB=input(Voltaje_B);
56 Eacu=(1.1*ND*Eelec)/(Pdmax);%Energía que debería almacenar en las baterías
57 CT=(Eacu)/(VB); %capacidad necesaria
58 Capacidad_B='¿Cuál es la capacidad de las baterías a emplear?';
59 CB=input(Capacidad_B);
60 NumB=CT/CB
61 numb=round(NumB,0)%Número de baterías necesarias
62 if NumB > numb
63     num_batt=numb+1
64 else
65     num_batt=numb
66 end%Número de baterías necesarias
67 ISC_Mod='¿Cuál es la corriente de corto circuito de un modulo?';%Regulador
68 Isc=input(ISC_Mod);
69 N_mod_para='¿Cuántos módulos se encuentran en arreglo tipo paralelo?';
70 NMP=input(N_mod_para);
71 Ireg=Isc*NMP;%Regulador
72 Pinv=(Wca)*1.25;%Inversor
--

```

En esta sección se introducen las características de las baterías a usar, sin embargo, en este trabajo se omite esta sección.

Aquí se calculan las corrientes que el regulador y del inversor deben soportar.

9 Bibliografía

- [1] INEGI, CANALAVA (2022). Conociendo a la industria de Lavanderías y Tintorerías. Colección de estudios sectoriales y regionales. INEGI, México.
- [2] Demirel, Y. (2021). Introduction: Basic Definitions. In: Energy. Green Energy and Technology. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-56164-2_1
- [3] SENER (2018). Balance nacional de energía 2017. Secretaría de energía. Ciudad de México.
- [4] SENER (2021). Balance nacional de energía 2020. Secretaría de energía. Ciudad de México.
- [5] Enerdata (2022). Total energy consumption. <https://yearbook.enerdata.net/total-energy/world-consumption-statistics.html>
- [6] Enerdata (2022). Electricity domestic consumption. <https://yearbook.enerdata.net/electricity/electricity-domestic-consumption-data.html>

- [7] CONUEE (2016). Indicadore Estatales de Eficiencia Energética. <https://www.biee-conuee.net/datamapper/resumen-por-estado>.
- [8] SMADSOT(2021) Inventario de equipos 2021. Puebla.
- [9] Vita-Finzi, C. (2008). Looking at the Sun. In: The Sun. Springer, Dordrecht. https://doi.org/10.1007/978-1-4020-6881-2_1
- [10] Kaltschmitt, M., Streicher, W., Wiese, A. (2007). Photovoltaic Power Generation. In: Kaltschmitt, M., Streicher, W., Wiese, A. (eds) Renewable Energy. Springer, Berlin, Heidelberg. https://doi.org/10.1007/3-540-70949-5_6
- [11] Yaman Abou Jieb, Eklas Hossain (2022). Photovoltaic Systems Fundamentals and Applications. Springer Cham. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-89780-2>
- [12] El Diodo – Semiconductor de Silicio. Heatpro. <https://hetpro-store.com/TUTORIALES/diodo/>.
- [13] Indiamart. <https://www.indiamart.com/proddetail/fronius-on-grid-solar-inverter-25409351830.html>.
- [14] Habitissimo. https://fotos.habitissimo.es/foto/baterias-instalacion-solar-fotovoltaica_1324876.
- [15] Electronicsurplus. <https://www.electronic surplus.it/open2b/var/products/56/14/0-7ec54837-300.jpg>
- [16] Fortuin, S., Stryi-Hipp, G., Kramer, W., Kramer, K. (2022). Solar Collectors, Non-concentrating. In: Alexopoulos, S., Kalogirou, S.A. (eds) Solar Thermal Energy. Encyclopedia of Sustainability Science and Technology Series. Springer, New York, NY. https://doi.org/10.1007/978-1-0716-1422-8_681.
- [17] M. Born and E. Wolf, 1970, Principles of Optics, 4th Ed., Oxford: Pergamon Press.
- [18] Josh Lee. 2010. <http://en.wikipedia.org/wiki/File:Fresnel.svg>.

- [19] Thermal engineering. <https://www.thermal-engineering.org/es/que-es-la-conveccion-transferencia-de-calor-por-conveccion-definicion/>
- [20] Lifeder. (16 de agosto de 2021). Convección. Recuperado de: <https://www.lifeder.com/conveccion-transferencia-calor/.89>.
- [21] Green processing and Synthesis. -Parabolic trough solar collectors: A general overview of technology, industrial applications, energy market, modeling, and standards. Pablo D. et al 2020, Páginas 595-649.
- [22] Willian Carrión-Chamba, Wilson Murillo-Torres, Andrés Montero-Izquierdo, *Una revisión de los últimos avances de los colectores solares térmicos aplicados en la industria*, Ingenius. Revista de Ciencia y Tecnología, núm. 27, pp. 59-73, 2022, Universidad Politécnica Salesiana, <https://doi.org/10.17163/ings.n27.2022.06>
- [23] NREL. 2017. <https://images.nrel.gov/mx/Profiles/en/landing/>.
- [24] Guangdong Zhu, Tim Wendelin, Michael J. Wagner, Chuck Kutscher History, current state, and future of linear Fresnel concentrating solar collectors, Solar Energy, Volume 103, 2014, Pages 639-652, ISSN 0038-092X, <https://doi.org/10.1016/j.solener.2013.05.021>. (<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0038092X13002120>).
- [25] Akiba Segal, Michael Epstein, The optics of the solar tower reflector, Solar Energy, Volume 69, Supplement 6, 2001, Pages 229-241, ISSN 0038-092X, [https://doi.org/10.1016/S0038-092X\(00\)00137-7](https://doi.org/10.1016/S0038-092X(00)00137-7). (<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0038092X00001377>).
- [26] Hermenegildo Rodríguez G. Planta Termosolar con Tecnología de Torre <https://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn134.html>

[27] Stefan Hess,3 - Solar thermal process heat (SPH) generation, Editor(s): Gerhard Stryi-Hipp, Renewable Heating and Cooling, Woodhead Publishing, 2016, Pages 41-66, ISBN 9781782422136, <https://doi.org/10.1016/B978-1-78242-213-6.00003-5>.

[28]Discos parabólicos Distal 1.PSA..ES <http://www.psa.es/es/instalaciones/discos/distal1.php>

[29] Plazas, C., Moreno, N., & Sánchez, C. (2001). Diseño, construcción y evaluación de un colector solar de placa plana con parámetros de rendimiento modificables. *Revista colombiana de Física*, 33(2), 263-267.)

[30] Sánchez Salcán, N. D. J. (2022). Simulación de un colector solar térmico de tubos de vacío (Master's thesis, Universidad Técnica de Ambato. Facultad de Ingeniería en Sistemas, Electrónica e Industrial. Maestría en Física Aplicada).

[31] Glosario de Términos de Recursos de Radiación Solar de RReDC. Solargis 2017. Global solar atlas. Disponible en: <https://globalsolaratlas.info/download/mexico>.

[32]Cuéntame información por entidad, Puebla. <https://cuentame.inegi.org.mx/monografias/informacion/pue/territorio/clima.aspx?tema=me&e=21>.

[33] Rubira, A., & Pavón, C. (2016). Estimación del consumo energético por el uso de secadoras en la ciudad de Guayaquil y alrededores. *Investigación, Tecnología e Innovación*, 8(8).

[34] SECADORAS DE ROPA: ¿EVACUACIÓN, CONDENSACIÓN O BOMBA DE CALOR? 2016.<https://cocimara.wordpress.com/https://cocimara.wordpress.com/2016/11/09/secadoras-de-ropa-evacuacion-condensacion-o-bomba-de-calor/>.

[35] López García, E. J., & Gómez Yepes, C. A. (2019). Diseño de un equipo para el secado de ropa en apartamentos utilizando energía solar.

[36] W.E TeGrotenguis, A.Butterfield, D. Caldwell, A.Crook, A. Winkleman, Modeling and Design of a High Efficiency Hybrid Heat Pump Clothes Dryer, Applied Thermal Engineering (2017).

[37] 3 Recommended Temperature To Dry Clothes In Dryer (Chart). 2023. American Two Shot: Laundry & Clothing Guides <https://americantwoshot.com/what-temperature-to-dry-clothes-in-dryer/>.

[38] INTERCAMBIADORES DE CALOR O.A.Jaramillo

Centro de Investigación en Energía. Universidad Nacional Autónoma de México November 20, 2007

[39] Intercambiador de Calor Industrial SERIE V | De Carcasa y Tubos <https://www.sacome.com/intercambiador-tubular-industrial-serie-v/>

[40] MURPHY 摩菲热能—可拆式板式换热器 3D 动画、工作原理、阿法拉伐换热器、管式换热器、容积式换热器 https://www.bilibili.com/video/BV1Wv411q7Gt/?spm_id_from=autoNext.

[41] Repuestos ibR. Resistencia Whirlpool 480181700014 <https://www.repuestosibr.es/producto/resistencia-whirlpool-480181700014/>.

[42] Repuestos ibR. Resistencia Beko 2970100800. <https://www.repuestosibr.es/producto/resistencia-beko-2970100800/>.

[43] Repuestos ibR. Resistencia-fagor-sdr000330. <https://www.repuestosibr.es/producto/resistencia-fagor-sdr000330/>.

[44] Steady-State vs Transient Thermal Analysis: What Do They Mean in FEA Simulation Model? Mechartés. <https://www.pages.mechartes.com/resources/2022/9/12/steady-state-transient-thermal-analysis-fea-simulation-model>.

[45] La Wash. Tiempos en las secadoras de ropa según los tejidos. <https://lawash.es/tiempos-en-las-secadoras-de-ropa-segun-los-tejidos/>.

[46] POWER | Data Access Viewer (nasa.gov) <https://power.larc.nasa.gov/data-access-viewer/>

[47] Goel, M., Verma, V.S., Tripathi, N.G. (2022). Solar Collectors and Low-Temperature Solar Energy for Homes. In: Solar Energy. Green Energy and Technology. Springer, Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-19-2099-8_6.

[48] Elioteknology. <https://elioteknology.com/es/productos/colectores-de-placa-plana/>

[49] PANEL ET SOLAR 450W MONO PERC ET-M672BH450W. (2021). <https://www.conermex.com.mx/hojas-tecnicas/panel/et-450w>