



INSTITUTO NACIONAL DE MÉXICO
INSTITUTO TECNOLÓGICO DE APIZACO

**ANÁLISIS TÉRMICO DE UN COLECTOR SOLAR DE PLACA PLANA CON
DIFERENTES FLUIDOS DE TRABAJO**

TITULACIÓN POR TESIS INTEGRAL

**PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:
INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA**

PRESENTA:

PEDRO MEZA SAUCEDO

ASESOR:

DR. JOSÉ MICHAEL CRUZ GARCÍA

COASESOR:

DR. JORGE BEDOLLA HERNÁNDEZ

APIZACO, TLAXCALA., DICIEMBRE 2025.

Dedicatoria a Dios, mis padres y mi hermana por haber estado a mi lado en cada paso en mi carrera. Gracias por acompañarme en los momentos difíciles y por alentarme a seguir adelante. Este logro es el reflejo de su amor y dedicación, y siempre les estaré agradecido por creer en mí en cada paso de este camino.

Agradecimiento

Gracias a Dios por permitirme tener y disfrutar a mi familia.

A mi familia por apoyarme en cada decisión y proyecto.
A la vida porque cada día me demuestra lo hermosa que es la vida y lo justa que puede llegar a ser.

A mis padres Pedro Meza Zempoaltecatl y Carítina Saucedo Morales, por creer en mí, apoyarme en cada momento de mi vida, los admiro demasiado son un gran ejemplo para mí, los amo con todo mi corazón.

A mi hermana María Marítza Meza Saucedo, por tu apoyo incondicional, por los grandes consejos que me has dado, te quiero demasiado hermanita.

A mi asesor, el ingeniero José Michael Cruz García, extendiendo mi sincero agradecimiento por su inestimable orientación y apoyo constante mientras fue mi tutor de tesis, Ha sido un honor y un privilegio aprender bajo su tutela.

RESUMEN

La historia del colector de placa solar se remonta al siglo XVIII, con el primer colector solar térmico diseñado por Horace-Bénédict de Saussure en 1767. Este colector utilizaba una caja aislada con varias capas de vidrio para atrapar el calor del sol y aumentar la temperatura. Posteriormente, en el siglo XIX, se descubrió el efecto fotovoltaico, que permitió la conversión directa de la luz solar en electricidad, [8].

Desarrollo del colector solar térmico:

Siglo XVIII: Horace-Bénédict de Saussure construyó una caja aislada con varias capas de vidrio para atrapar el calor del sol, logrando temperaturas elevadas.

Siglo XIX: Se construyeron colectores solares para cocinar alimentos, con un diseño similar al de Saussure pero con mejoras en el aislamiento y la eficiencia.

Años 30: Se popularizaron en Japón sistemas de circulación natural para calentar agua sanitaria con colectores solares.

Décadas posteriores: Se desarrollaron colectores solares más eficientes para diversas aplicaciones, como la calefacción de edificios, procesos industriales y sistemas agropecuarios.

Descubrimiento del efecto fotovoltaico:

1839: Alexandre-Edmond Becquerel observó el efecto fotovoltaico, descubriendo que la luz podía generar electricidad al incidir sobre ciertos materiales.

1883: Charles Fritts creó la primera célula solar utilizando selenio, demostrando la posibilidad de convertir la luz solar en electricidad de manera más directa.

1954: Se desarrolló la primera célula solar de silicio de alta eficiencia por los científicos Gerald Pearson, Calvin Fuller y Daryl Chapin.

Evolución de los paneles solares:

A partir del descubrimiento del efecto fotovoltaico, se han realizado numerosas investigaciones y desarrollos para mejorar la eficiencia y reducir los costos de los paneles solares, [8].

En la actualidad, los paneles solares son una tecnología clave en la generación de energía renovable y su uso se ha extendido a diversas aplicaciones, desde sistemas residenciales hasta grandes plantas de energía solar, [8].

ABSTRACT

The history of the solar panel collector dates back to the 18th century, with the first solar thermal collector designed by Horace-Bénédict de Saussure in 1767. This collector used an insulated box with several layers of glass to trap the sun's heat and increase temperature. Later, in the 19th century, the photovoltaic effect was discovered, allowing the direct conversion of sunlight into electricity.

Development of the solar thermal collector:

18th century: Horace-Bénédict de Saussure constructed an insulated box with several layers of glass to trap the sun's heat, achieving high temperatures.

19th century: Solar collectors were built for cooking food, with a design similar to Saussure's but with improvements in insulation and efficiency.

1930s: Natural circulation systems for heating domestic water with solar collectors became popular in Japan.

Later decades: More efficient solar collectors were developed for various applications, such as heating buildings, industrial processes, and agricultural systems.

Discovery of the Photovoltaic Effect:

1839: Alexandre-Edmond Becquerel observed the photovoltaic effect, discovering that light could generate electricity when it struck certain materials.

1883: Charles Fritts created the first solar cell using selenium, demonstrating the possibility of converting sunlight into electricity more directly.

1954: The first high-efficiency silicon solar cell was developed by scientists Gerald Pearson, Calvin Fuller, and Daryl Chapin.

Evolution of Solar Panels:

Since the discovery of the photovoltaic effect, numerous research and developments have been carried out to improve the efficiency and reduce the costs of solar panels.

Today, solar panels are a key technology in renewable energy generation and their use has expanded to a variety of applications, from residential systems to large solar power plants.

INDICE

INDICE DE FIGURAS	7
Capítulo 1.- Introducción.....	9
1.1.- Planteamiento del problema	9
1.2 Justificación.....	11
1.3 Objetivos.....	12
1.3.1 Objetivo General.....	12
1.3.2 Objetivos Específicos	12
1.4 Metodología General.....	12
1.5 Alcance.....	12
1.6 Limitaciones.....	13
Capítulo 2.- Marco Teórico.....	13
2.1 Energía Térmica Solar	13
2.1.1 ¿Qué es la anergia solar?	13
2.1.2 Tipos de energía solar	13
2.1.3 Ventajas de la energía solar	14
2.1.4 Usos de la energía solar.....	15
2.2 Equipos Que Utilizan Energía Térmica.....	16
2.2.1 Calentador De Agua Solar.....	16
2.2.2 Panel Solar	17
2.3 Colector Solar.....	18
2.3.1 Colector Solar Placa Plana	18
2.3.2 Tipos de Colectores Solares de Placa Plana	19
2.3.3 Tipos de Fluidos de Trabajo.....	20
2.3.4 Tipos de Construcción de Colectores	23
2.3.5 Orientación Y Angulo De Inclinación De Los Colectores Solares Planos ..	24
2.4 Condiciones ambientales del lugar de estudio	25
Capítulo 3.	26
3.1 Modelo De Estudio	26
3.2.- Modelo Matemático De Colector Solar De Placa Plana.....	28
3.2.1 Como Determinar La Eficiencia Del Colector	28
3.2.2 Perdidas De Calor En El Colector	29
3.3 Propiedades Termo físicas De Los Fluidos Base A Analizar	36

3.3.1 Agua (H ₂ O).....	36
3.3.2 Etilenglicol (C ₂ H ₆ O ₂).....	36
3.3.3 Propilenglicol (C ₃ H ₈ O ₂).....	37
3.3.4 Aceites Reciclados como el 20W-50	38
Capítulo 4	39
Análisis de resultados	39
Capítulo 5	43
Conclusión	43
Nomenclatura	44
Referencias	45

INDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Esquema de un colector solar de placa plana con fluido de transporte.....	11
Figura 2.1 Calentador solar.....	17
Figura 2.2 Panel solar.....	17
Figura 2.3 Estructura de un colector solar de placa plana.....	19
Figura 2.3.1 Tipos de colectores solares de placa plana.....	20
Figura 2.3.4 Diversos diseños de colectores solares de placa plana.....	23
Figura 2.4.1 Temperatura del aire durante el año.....	25
Figura 2.4.2 Radiación solar en México.....	25
Figura 3.1 Diseño del colector solar de placa plana.....	26
Figura 3.1.1 Plano alzado del colector.....	27
Figura 3.2.1 Circuito térmico aproximado de un colector solar.....	29
Figura 3.2.2 Sistema termodinámico 3D.....	30
Figura 4.1 Eficiencia del FSC con respecto al flujo másico de los fluidos base usando una radiación de (a) 700, (b)800 Y (c) 900 [W/m ²].....	39
Figura 4.2 Calor útil del FSC con respecto al flujo másico de los fluidos base usando una radiación de (a) 700, (b) 800 Y (c) 900 [W/m ²].....	40

Figura 4.3 Eficiencia del FSC con respecto a la radiación de los fluidos base usando
unos flujos masicos de (a) 0.03, (b) 0.05 y (c) 0.08 [Kg/s].....41

Figura 4.4 Calor util del FSC con respecto a la radiación de los fluidos base usando
unos flujos masicos de (a) 0.03, (b) 0.05 y (c) 0.08 [Kg/s].....42

Capítulo 1.- Introducción

La creciente demanda energética global y la necesidad urgente de reducir el impacto ambiental asociado al uso de combustibles fósiles han impulsado el desarrollo y la implementación de tecnologías de energía renovable. Entre ellas, la energía solar térmica se destaca como una alternativa limpia, sostenible y de gran potencial, especialmente en aplicaciones de calefacción de agua y procesos industriales de baja temperatura. En este contexto, el colector solar de placa plana representa una de las tecnologías más utilizadas debido a su simplicidad, bajo costo y eficiencia razonable.

El rendimiento térmico de un colector solar depende de diversos factores, siendo el fluido de trabajo uno de los más determinantes. La selección adecuada del fluido influye directamente en la capacidad del sistema para absorber, transferir y almacenar la energía solar captada. Por ello, el estudio de diferentes fluidos de trabajo permite optimizar el diseño y la eficiencia del colector, adaptándolo a distintas condiciones climáticas y necesidades energéticas.

El presente trabajo tiene como objetivo el diseño y análisis de un colector solar de placa plana utilizando distintos fluidos de trabajo, evaluando su impacto en el desempeño térmico del sistema.

1.1.- Planteamiento del problema

De acuerdo con Pamanes García [1]. En un mundo cada vez más consciente de la importancia de fuentes de energía sostenibles y renovables, la utilización de la energía solar se presenta como una solución eficiente y respetuosa con el medio ambiente. Uno de los ámbitos donde esta tecnología puede marcar una gran diferencia es en la producción de agua caliente para uso doméstico.

[2] Los colectores solares de placa plana son probablemente la tecnología más fundamental y estudiada para sistemas de agua caliente sanitaria con energía solar. La idea general de esta tecnología es bastante simple: el sol calienta una superficie plana y oscura, que capta la mayor cantidad de energía posible, y luego esta se transfiere al agua, al aire o a otro fluido para su posterior uso.

Los sistemas de placa plana normalmente operan y alcanzan su máxima eficiencia en un rango de temperatura de 30 a 80 ° C (Kalogirou, 2009); sin embargo, algunos nuevos tipos de colectores que emplean aislamiento al vacío pueden alcanzar temperaturas más altas (hasta 100 ° C). Gracias a la introducción de recubrimientos selectivos, se ha demostrado que la temperatura del fluido estancado en los colectores de placa plana alcanza los 200 ° C, [2].

El uso de energías renovables, en particular la energía solar térmica, se ha convertido en una alternativa prioritaria frente al agotamiento de los recursos fósiles y al aumento de la contaminación ambiental. Los colectores solares de placa plana se encuentran entre los dispositivos más utilizados para la captación de energía solar térmica debido a su simplicidad constructiva, bajo costo y aplicabilidad en una amplia gama de condiciones climáticas. Sin embargo, su eficiencia térmica aún presenta limitaciones significativas, especialmente en situaciones de baja radiación, altas pérdidas térmicas y elección inadecuada del fluido de trabajo, [3].

En muchos casos, el diseño convencional de estos colectores no considera adecuadamente la influencia de diferentes fluidos térmicos, lo que puede reducir su capacidad para absorber y transferir calor de manera eficiente. Factores como la viscosidad, la capacidad calorífica, la conductividad térmica y la estabilidad térmica de los fluidos juegan un papel crucial en el desempeño del sistema, pero no siempre son analizados comparativamente en las etapas de diseño, [3].

Ante esta situación, surge la necesidad de investigar cómo la selección del fluido de trabajo influye en el rendimiento térmico de un colector solar de placa plana. Este análisis permitiría optimizar el diseño del sistema, adaptarlo a distintos entornos operativos y mejorar su eficiencia energética general. Por lo tanto, se plantea el problema de diseñar un colector solar de placa plana que maximice la captación de energía térmica mediante la evaluación y comparación de diferentes fluidos de trabajo, con el fin de identificar cuál ofrece el mejor desempeño bajo condiciones operativas específicas, [3].

Algunas ventajas de los colectores de placa plana son que son:

- Fácil de fabricar
- Bajo costo
- Recoger tanto la radiación del haz como la radiación difusa
- Fijo de forma permanente (no se requiere equipo sofisticado de posicionamiento o seguimiento)
- Poco mantenimiento

Un colector plano solar está constituido básicamente por:

1. Marco de aluminio o metálico.
2. Cubierta transparente, si se trata de vidrio debe tener bajo contenido en hierro.
3. Placa térmica colectora. Enrejado con aletas de cobre.
4. Cabezales de alimentación y descarga de agua.
5. Aislante térmico como poliéster, lana mineral, fibra de vidrio, etc.
6. Caja del colector, galvanizada

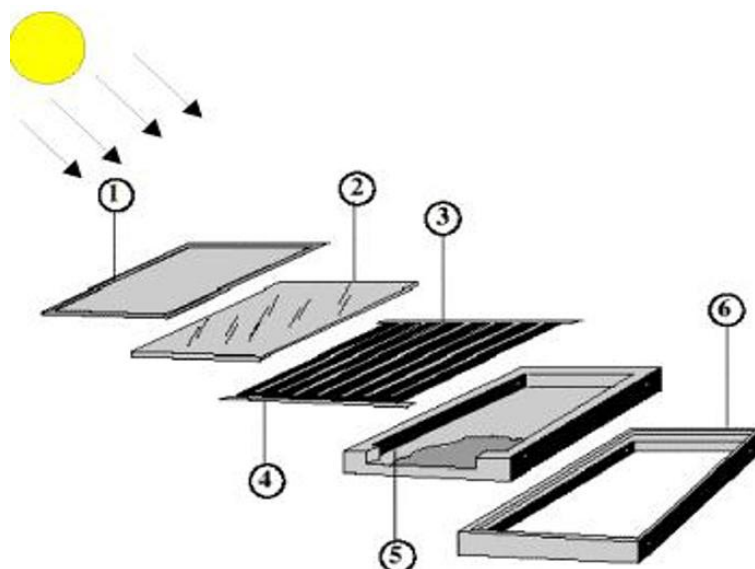


Figura 1.1 Esquema de un colector solar de placa plana con fluido de transporte.

1.2 Justificación

En el contexto actual de creciente preocupación por el cambio climático, la escasez de combustibles fósiles y la necesidad de adoptar fuentes de energía limpias y sostenibles, el uso de tecnologías solares representa una alternativa viable, eficiente y ambientalmente responsable. En este sentido, la implementación de un colector solar de placa plana se justifica plenamente por su capacidad para transformar la energía solar en energía térmica de forma eficiente, segura y económica, [4].

Los colectores solares de placa plana destacan por su simplicidad constructiva, bajo costo de mantenimiento y adaptabilidad a diversas aplicaciones, como el calentamiento de agua para uso doméstico, industrial o en sistemas de calefacción. Este tipo de colector aprovecha la radiación solar directa y difusa, lo que permite su funcionamiento incluso en condiciones de nubosidad parcial, incrementando su utilidad en una amplia gama de zonas geográficas, [4].

Además, al utilizar una fuente de energía renovable e inagotable como el sol, estos sistemas contribuyen significativamente a la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero y a la disminución de la dependencia de fuentes energéticas no renovables. Su implementación promueve la eficiencia energética y puede representar un ahorro económico a largo plazo para los usuarios, [4].

Por estas razones, el colector solar de placa plana se presenta como una solución tecnológica adecuada, sostenible y alineada con los objetivos globales de desarrollo sustentable, aportando beneficios tanto a nivel ambiental como económico y social, [4].

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo General

Evaluar un colector solar de placa plana mediante el análisis térmico utilizando diferentes fluidos de trabajo.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Saber que es un colector de placa plana
- Determinar la eficiencia del colector solar de placa plana
- Seleccionar los fluidos de trabajo a ocupar
- Análisis térmico de un colector solar de placa plana
- Analizar los resultados obtenidos del colector solar de placa plana

1.4 Metodología General

La metodología usada para el análisis térmico de un colector solar de placa plana con diferentes fluidos de trabajo fue la siguiente:

1. Se realizaron investigaciones bibliográficas, lo que conduce a determinar el análisis del colector solar de placa plana.
2. Se realizó un análisis de las temperaturas del ambiente de la región.
3. Se realizó un modelo de estudio en 3D usando el programa de Solid Works, usando medidas reales.
4. Se investigaron las medidas termo físicas de los fluidos de trabajo a analizar.
5. Se realizaron cálculos en el software de Engineering Equation Solver (EES)

1.5 Alcance

1. Calcular la eficiencia con diferentes fluidos de trabajo.
2. Estudiar los cuatro fluidos a analizar tomando en cuenta sus propiedades termo físicas.
3. Diseñar el colector solar
4. Comparar eficiencia con radiaciones de 700, 800 y 900 [W/m²] al igual con flujos masicos de 0.03, 0.05 y 0.08 [Kg/s].
5. Graficas realizadas tomando en cuenta la eficiencia, flujo masico, radiación y calor útil.

6. Analizar los resultados.

1.6 Limitaciones

1. Las propiedades (C_p , k , μ , ρ) pueden variar con la temperatura y el porcentaje.
2. La eficiencia esta sujeta a condiciones climáticas de la zona.

Capítulo 2.- Marco Teórico

2.1 Energía Térmica Solar

2.1.1 ¿Qué es la anergia solar?

De acuerdo con [9], la energía solar es uno de los principales tipos de energía renovable y desempeña un papel clave en la transición. Contribuye a promover economías más limpias que protegen el medio ambiente, mejoran el bienestar de las personas y garantizan la sostenibilidad de las empresas.

Los avances tecnológicos han transformado la energía solar en una de las más eficientes y asequibles del sector renovable. Esta fuente de energía ilimitada, además de contribuir a la sostenibilidad del planeta, atrae inversiones, crea empleo y aumenta la competitividad de las empresas, [9].

En un momento en el que el cuidado de nuestro planeta y del medio ambiente es una prioridad, debemos conocer los diferentes tipos de energía solar, cómo funcionan y cómo se puede extender su uso como fuente de generación de electricidad. La energía solar se obtiene del sol en forma de radiación electromagnética (luz, calor y rayos ultravioleta). Mediante la instalación de paneles o colectores solares, se puede aprovechar para captar energía térmica (fototérmica) o para generar electricidad (fotovoltaica), [9].

2.1.2 Tipos de energía solar

Energía solar fotovoltaica

Este tipo de energía se obtiene mediante un sistema fotovoltaico, una instalación que produce energía eléctrica mediante módulos fotovoltaicos, capaces de transformar la radiación solar directamente en energía eléctrica. Los paneles

solares contienen células fotovoltaicas que, al recibir luz directa, se ionizan y liberan electrones que interactúan entre sí y generan una corriente eléctrica, [9].

La energía solar fotovoltaica ha cobrado un importante impulso en los últimos años con la llegada de las comunidades solares y el ahorro energético que suponen las nuevas instalaciones de autoconsumo solar, [9].

Energía solar térmica

Los equipos solares térmicos utilizan colectores solares para convertir la radiación solar en calor. Estos colectores se utilizan para captar y almacenar la radiación solar y calentar agua, que posteriormente se utiliza para sistemas de calefacción o agua caliente sanitaria, residencial o industrial, [9].

Existe otra opción llamada Energía Solar Concentrada (CSP). En este caso, el sistema funciona con una serie de lentes o espejos que concentran la luz solar en una superficie específica. La energía generada por este proceso se utiliza para producir electricidad mediante el calor que se usa para hervir agua y producir vapor, por ejemplo, para alimentar las turbinas de un generador, [9].

Energía solar híbrida

En este último caso, cualquiera de los tipos de energía solar mencionados se combina con otras energías, principalmente renovables, con el fin de conseguir un mayor suministro energético, [9].

El ejemplo más común es la combinación de energía solar y eólica. Los sistemas híbridos fotovoltaicos y eólicos combinan paneles solares con aerogeneradores, aprovechando al máximo los recursos solares y eólicos, [9].

Energía solar pasiva

Se trata del método de aprovechamiento más antiguo de la radiación solar. Gracias a este método, es posible mantener los hogares a una temperatura adecuada. A diferencia de la energía solar activa, no utiliza ningún elemento electrónico o mecánico. Este tipo de energía se logra fundamentalmente con la arquitectura bioclimática, que se basa en la construcción de viviendas de tal forma que se permite aprovechar al máximo la luz natural y la energía solar, [9].

2.1.3 Ventajas de la energía solar

Instalar un sistema de energía solar en su hogar le permite aprovechar sus ventajas, entre ellas, [10].

1. La energía solar es una fuente de energía renovable y reduce las emisiones de carbono.
2. La energía solar puede reducir la factura de electricidad de tu hogar.
3. La energía solar puede generarle un retorno de dinero a través de créditos de energía solar renovable (SREC)
4. Las casas con paneles solares instalados pueden mejorar el valor de la vivienda.
5. Los paneles solares tienen bajos costos de mantenimiento.
6. La energía solar puede generar electricidad en cualquier clima.
7. Puedes almacenar energía solar para utilizarla durante las horas pico
8. La energía solar se puede vender a la red eléctrica.

2.1.4 Usos de la energía solar

Los usos que podemos aplicar en nuestra vida cotidiana gracias al aprovechamiento de la energía solar son los siguientes,[11]

- Agua caliente: La instalación de energía solar térmica en nuestros hogares es una de las mejores alternativas que podemos conseguir a la hora de producir agua caliente sanitaria debido a su alta eficiencia y mayor sostenibilidad, [11].
- Calor y frío: La energía solar se usa para generar el calor que necesitamos para aumentar la temperatura de nuestras casas. Se emplean paneles solares térmicos para que la calefacción funcione de manera eficiente y, sobre todo, renovable, [11].
- Electricidad: La energía solar se transforma en energía eléctrica o electricidad gracias a los llamados paneles solares fotovoltaicos, los cuales se componen de células fotovoltaicas, que son las encargadas de proporcionar dicha energía. Para utilizar este tipo de electricidad renovable, es muy importante que tengamos en cuenta la capacidad del sistema que tengamos instalado. Además, la energía obtenida a través de los paneles solares fotovoltaicos se puede almacenar en baterías que nos proporcionen la corriente eléctrica necesaria para aquellos días nublados en los que no sale el Sol, [11].
- Iluminación: Podemos aprovechar la energía solar para que, cuando caiga el Sol y comience la noche, podamos iluminar espacios exteriores como caminos y carreteras. Esto se podría conseguir mediante el almacenamiento de la energía solar, sin necesidad de utilizar los tendidos eléctricos como hasta ahora, [11].

- Transporte: A pesar de que ya existen vehículos eléctricos en la actualidad, podríamos avanzar un poco más hacia la sostenibilidad si fuéramos capaces de generar esa electricidad que consumen a través de energías limpias. Esto se podría conseguir instalando paneles solares fotovoltaicos para obtener la energía eléctrica necesaria para que los diferentes vehículos eléctricos que existen pudieran moverse sin generar emisiones a la atmósfera, [11].

2.2 Equipos Que Utilizan Energía Térmica

2.2.1 Calentador De Agua Solar

De acuerdo con Swati Ogale [12] el calentador solar de agua, dispositivo que utiliza la energía térmica solar para producir agua caliente. Un calentador solar de agua típico consiste en un colector solar montado en el techo de un edificio y conectado a un tanque de almacenamiento de agua. Dependiendo del sistema, el agua no calentada puede circular desde el tanque a través del colector para calentarse directamente o puede calentarse mediante un fluido de intercambio de calor de alta capacidad calentado en el colector y que transfiere su calor a través de tubos en el agua del tanque. Mientras que la transferencia de calor del colector solar al agua no calentada puede facilitarse pasivamente sin medios mecánicos, los sistemas solares de agua caliente "activos" utilizan electricidad para circular el fluido de intercambio de calor y para operar bombas y controladores mecánicos.

El rendimiento de un sistema solar de agua caliente depende generalmente de la eficiencia del colector y de la eficacia del diseño del sistema completo. Diseñar un sistema solar de agua caliente eficiente requiere un dimensionamiento adecuado del colector y del tanque de almacenamiento según las necesidades de uso del agua caliente. La eficiencia de los colectores individuales y de los sistemas completos se evalúa por separado, ya que la eficiencia del colector depende del rendimiento de un componente (el absorbedor solar), mientras que la eficiencia del sistema completo depende de muchos factores (temperatura del agua y ambiente, configuración del sistema, aislamiento, volumen de agua, tipo de colector, eficiencia del mecanismo de intercambio de calor, ubicación y clima local de la instalación, cantidad de luz solar que recibe el colector, etc.), [12].



Figura 2.1 Calentador Solar

2.2.2 Panel Solar

Según SC Bhatia [13], los paneles solares, generalmente compuestos por conjuntos de células fotovoltaicas, utilizan la energía solar directamente del sol para generar electricidad para nuestro uso diario. Al ser respetuosos con el medio ambiente, los paneles solares captan la energía solar disponible en abundancia en nuestro planeta y la convierten utilizando tecnología avanzada desarrollada por el ser humano. Esta invención ha supuesto un gran logro en la historia mundial en la conservación de recursos no renovables y en la protección del planeta y de los recursos naturales. Incluso se utilizan paneles solares usados en estos países, lo que reduce aún más el coste de instalación y facilita la generación de energía verde. Aprovechan al máximo la energía renovable del sol y son muy respetuosos con el medio ambiente. Fabricar paneles solares no es un proceso sencillo. Con el avance de los dispositivos fotovoltaicos, hemos visto un aumento significativo en el número de fabricantes de paneles solares en toda la India. Los fabricantes de paneles solares los fabrican cortando primero los lingotes, generalmente cilíndricos, en obleas de silicona circulares con forma de disco. Estas obleas se cortan con mucho cuidado con sierras u otros dispositivos de corte. Posteriormente, se limpian cuidadosamente para eliminar cualquier impureza que pueda haberse acumulado durante el proceso de corte.

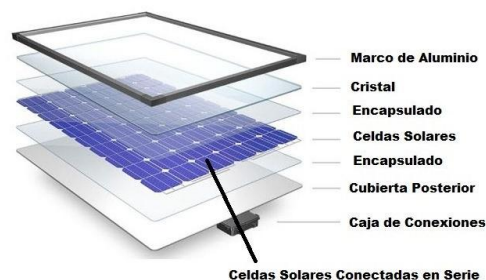


Figura 2.2 Panel solar

2.3 Colector Solar

De acuerdo con Miguel Ángel Lozano Serrano [14], un colector solar térmico es un tipo especial de intercambiador de calor que transforma la radiación solar que incide sobre el mismo en energía térmica utilizable. Existe una gran variedad de colectores solares térmicos. La eficiencia de los colectores solares se define como el cociente entre la energía térmica extraída por el fluido térmico a su paso por el colector y la radiación incidente sobre la superficie colectora. La eficiencia depende del balance de energía que se produce en el colector y viene determinada por pérdidas de dos tipos: ópticas y térmicas. Las pérdidas ópticas son responsables de que solo una parte de la radiación recibida sea absorbida por el colector y, por tanto, potencialmente transferible al fluido. Las pérdidas térmicas, por convección y radiación del colector hacia sus alrededores, conllevan que solo una parte de dicho potencial sea aprovechado para calentar el fluido. Otra consideración importante es la temperatura a la que el colector suministra energía térmica al fluido caloportador. En general, conseguir temperaturas elevadas implica mayores pérdidas térmicas que solo pueden compensarse con diseños de colectores más sofisticados y caros, incluyendo colectores de concentración en los que la superficie de captación solar es distinta y mayor que la de absorción. La temperatura máxima alcanzable aumenta con la razón de concentración. La complejidad de los sistemas solares térmicos y el régimen dinámico de su operación (irradiancia disponible, variación de la demanda térmica, ...) exigen para su correcto funcionamiento de un sabio equilibrio entre la superficie de captación, los caudales de circulación, el volumen del acumulador, la superficie de los intercambiadores, las consignas del sistema de control y la colaboración de sistemas auxiliares de producción térmica, [14].

2.3.1 Colector Solar Placa Plana

Según Miguel Ángel Lozano Serrano [14], la producción de agua caliente es la aplicación de la energía solar térmica más popular. El componente esencial es el absorbedor que capta la radiación solar y al calentarse transfiere energía térmica al fluido que circula por su interior. El interior de la caja o carcasa que lo contiene está abierta por la parte superior, mientras que por la parte inferior incorpora un aislante como fibra de vidrio o lana de roca. La cubierta de la caja (si existe) está formada por una o varias laminas transparentes de vidrio u otro material transparente a la radiación solar de baja longitud de onda y opaco a la radiación de baja temperatura emitida por el absorbedor, con vistas a generar un efecto invernadero que atrapa la radiación dentro del colector. Las pérdidas de calor por conducción a través de la carcasa se limitan en alto grado empleando materiales aislantes en sus paredes y en el fondo del colector. Sin embargo, la necesidad de dejar paso a la radiación solar hacia el absorbedor imposibilita eliminar por completo las pérdidas por la parte superior. Una estrategia consiste en disponer varias laminas en la cubierta. La

resistencia de la cámara de aire entre ellas disminuye la transferencia de calor por convección, pero como contrapartida aumenta la proporción de radiación incidente que es reflejada.

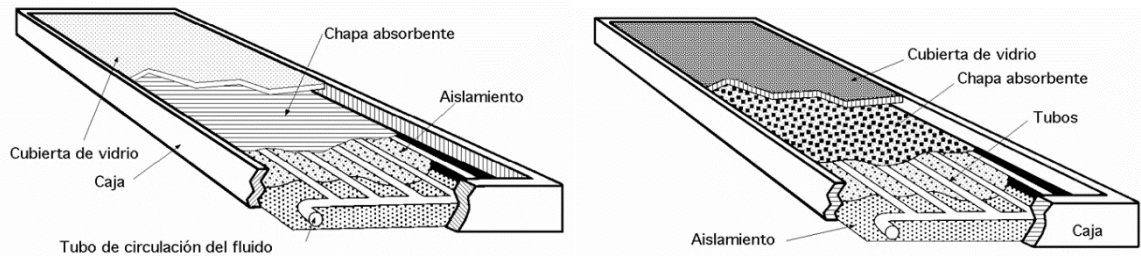


Figura 2.3 Estructura De Un Colector Solar De Placa Plana

2.3.2 Tipos de Colectores Solares de Placa Plana

1. Según el tipo de cubierta

Cubiertos: Tienen uno o dos vidrios o láminas transparentes para reducir pérdidas de calor y proteger la placa. Son los más comunes.

Descubiertos: No tienen cubierta de vidrio; más baratos, pero con mayores pérdidas de calor. Se usan en climas cálidos o para calentar agua de piscinas.

2. Según el tipo de fluido de trabajo

Agua: El fluido caloportador es agua (sistema directo o indirecto).

Mezcla de agua y anticongelante (Agua + Glicol): Evita la congelación, protege contra la corrosión se usa indirectamente en sistemas fríos.

Aire: Utilizan aire como medio para transportar el calor, normalmente en aplicaciones de calefacción de espacios.

Aceites térmicos: Puntos de ebullición altos, buena estabilidad térmica, Aplicaciones industriales o temperaturas más altas (por encima de 100 °C).

3. Según el tipo de circulación

Circulación natural (termosifón): El agua circula por diferencia de densidad entre el agua caliente y fría, sin bomba.

Circulación forzada: Requieren una bomba para mover el fluido a través del colector y hacia el depósito.

4. Según el uso o temperatura de trabajo

Baja temperatura (hasta 50 °C): Ideales para piscinas o precalentamiento de agua.

Media temperatura (50–80 °C): Uso doméstico, calentamiento de agua sanitaria y calefacción por radiadores o suelo radiante.

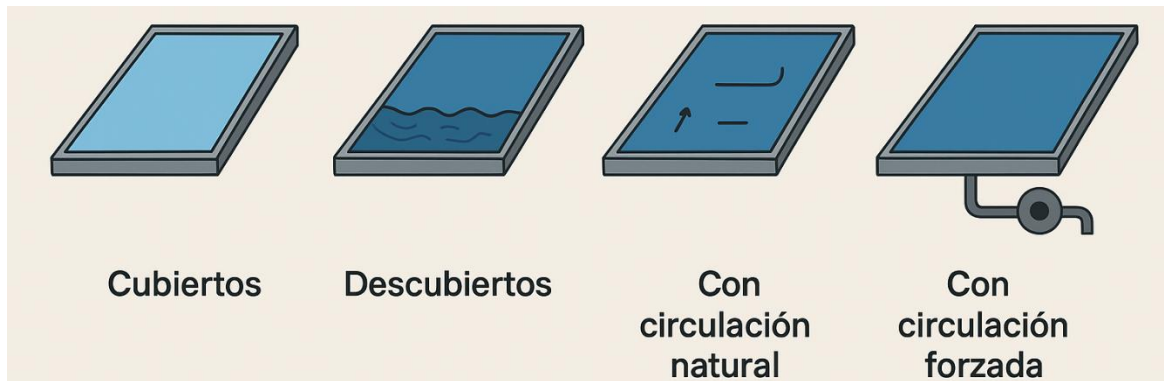


Figura 2.3.1 Tipos de colectores solares de placa plana

2.3.3 Tipos de Fluidos de Trabajo

Los fluidos solares térmicos (o fluidos de transferencia de calor - HTF) se dividen en seis grupos principales, [15]:

- A base de aceite
- A base de agua
- Sales fundidas
- Aire
- Refrigerantes
- Siliconas

Cada tipo de fluido caloportador tiene ventajas y desventajas con respecto a los diferentes tipos de sistemas de conversión de energía solar térmica. El aceite, el agua o las sales fundidas se pueden usar en sistemas de colectores cilindro parabólicos y colectores lineales de Fresnel, mientras que solo se pueden usar sales fundidas y agua (aquí se excluye el aceite), además de la opción de aire, en un sistema de torre de energía. Los refrigerantes y las siliconas rara vez se usan en sistemas de placa plana y no se usan en sistemas de concentración por varias razones que se analizan más adelante, [15].

Los fluidos a base de aceite vienen en tres categorías; hidrocarburos sintéticos, hidrocarburos de parafina y aceites minerales refinados aromáticos. Los fluidos a

base de agua pueden ser agua pura o una mezcla de agua y glicol con etileno o propilenglicol, que son tipos de "anticongelante". Las sales fundidas son sales de nitrato (iónicas) que solo están disponibles en sistemas de concentración debido a los requisitos de alta temperatura del fluido. El aire es aire estándar, compuesto principalmente de nitrógeno y oxígeno, útil para aplicaciones específicas, como un proceso industrial de secado o calefacción de bajo grado de espacios de edificios. Los refrigerantes se usan comúnmente en refrigeradores, acondicionadores de aire y bombas de calor, pero no se usan comúnmente en sistemas solares térmicos en la actualidad. Las siliconas pueden ser sintéticas u orgánicas, pero tampoco se usan comúnmente en los sistemas solares térmicos en la actualidad, [15].

Hay siete propiedades clave de un fluido térmico para aplicaciones solares que deben comprenderse antes de participar en el trabajo de diseño o la toma de decisiones con respecto al rendimiento y / o selección del fluido térmico. Las propiedades incluyen, [15].

- **La temperatura máxima** es la temperatura más alta antes de que el fluido comience a descomponerse o descomponerse. Las partes más calientes de un sistema son donde esta temperatura máxima es más probable y, por lo tanto, deben diseñarse cuidadosamente para esos puntos clave del sistema. Las ubicaciones críticas incluyen el centro de los tubos absorbentes en los colectores solares o en el calentador / caldera auxiliar, [15].
- **La temperatura de congelación** es la temperatura más fría antes de que el fluido cambie de fase a sólido y no se puede bombear, lo que puede causar daños irreversibles a los componentes del sistema. En el caso de cada fluido, las propiedades adicionales, como la expansión del fluido cuando se congela, son importantes para determinar el impacto potencial de la congelación, [15].
- **La densidad** es la masa por unidad de volumen y depende de la temperatura. La densidad puede cambiar drásticamente para algunos fluidos a medida que se calientan, [15].
- **La presión de vapor** es la presión requerida para evitar que el fluido cambie de estado a gas. A presiones más altas, la temperatura a la que el fluido de transferencia de calor cambia de fase de líquido a gas (vapor) también es más alta, [15].
- **El calor específico** se mide en unidades de energía (J) por masa (kg), temperatura (K) y representa la cantidad de energía requerida para elevar la temperatura del fluido de transferencia de calor por unidad de masa, [15].
- **La entalpía** se mide en unidades de energía (J) por masa (kg), que representan la energía contenida en el fluido en condiciones específicas como la temperatura, [15].
- **La viscosidad** es la resistencia de un fluido al esfuerzo cortante; esencialmente una medida de cuánta fuerza de bombeo se requiere para mover el fluido en un entorno restringido. La viscosidad puede cambiar

mucho con la temperatura de algunos fluidos. Se prefieren viscosidades más bajas para reducir los costos de bombeo, [15].

Cada tipo de fluido de transferencia de calor presenta ventajas y desventajas con respecto a los diferentes tipos de sistemas de conversión de energía solar térmica, [15].

En los sistemas de colectores cilindro parabólicos y lineales Fresnel se pueden utilizar aceite, agua o sales fundidas, mientras que en los sistemas de torre de energía solo se pueden utilizar sales fundidas y agua (excluyendo el aceite), además de la opción de aire, [15].

Los fluidos a base de aceite se dividen en tres categorías: hidrocarburos sintéticos, hidrocarburos parafínicos y aceites minerales aromáticos refinados. Los fluidos a base de agua pueden ser agua pura o una mezcla de agua y glicol con etilenglicol o propilenglicol, que son tipos de anticongelante. Las sales fundidas son sales de nitrato (iónicas) que solo están disponibles en sistemas de concentración debido a los altos requisitos de temperatura del fluido, [15].

El aire es aire estándar, compuesto principalmente de nitrógeno y oxígeno, útil para aplicaciones específicas como procesos industriales de secado o calefacción de baja intensidad en edificios. Los refrigerantes se utilizan comúnmente en refrigeradores, aires acondicionados y bombas de calor, pero actualmente no se utilizan con frecuencia en sistemas solares térmicos. Las siliconas pueden ser sintéticas u orgánicas, pero tampoco se utilizan con frecuencia en sistemas solares térmicos, [15].

Propiedades de los fluidos térmicos

Hay siete propiedades clave de un fluido térmico para aplicaciones solares que deben comprenderse antes de iniciar el diseño o tomar decisiones sobre el rendimiento y/o la selección del fluido térmico. Estas propiedades incluyen, [15].

- La temperatura máxima es la temperatura más alta antes de que el fluido comience a descomponerse. Las partes más calientes de un sistema son donde es más probable que se alcance esta temperatura máxima, por lo que deben diseñarse cuidadosamente para esos puntos clave del sistema. Las ubicaciones críticas incluyen el centro de los tubos de absorción en los colectores solares o en el calentador/caldera auxiliar.
- La temperatura de congelación es la más baja antes de que el fluido se solidifique y no pueda bombearse, lo que podría causar daños irreversibles a los componentes del sistema. En cada fluido, propiedades adicionales, como la expansión del fluido al congelarse, son importantes para determinar el impacto potencial de la congelación.

- La densidad es la masa por unidad de volumen y depende de la temperatura, la densidad de algunos fluidos puede variar drásticamente al calentarse.
- La presión de vapor es la presión necesaria para evitar que el fluido cambie de estado a gas. A presiones más altas, la temperatura a la que el fluido caloportador cambia de fase de líquido a gas (vapor) también es mayor.
- El calor específico se mide en unidades de energía (J) por masa (kg) y temperatura (K) y representa la cantidad de energía necesaria para elevar la temperatura del fluido caloportador por unidad de masa.
- La entalpía se mide en unidades de energía (J) por masa (kg), representando la energía contenida en el fluido en condiciones específicas como la temperatura.
- La viscosidad es la resistencia de un fluido al esfuerzo cortante; esencialmente, una medida de la fuerza de bombeo necesaria para mover el fluido en un entorno restringido. La viscosidad de algunos fluidos puede variar considerablemente con la temperatura. Se prefieren viscosidades más bajas para reducir los costos de bombeo.

2.3.4 Tipos de Construcción de Colectores

Las consideraciones clave en el diseño de colectores de placa plana son maximizar la absorción, minimizar las pérdidas por reflexión y radiación, y lograr una transferencia de calor eficaz desde la placa colectora a los fluidos. Un aspecto importante es lograr una buena unión térmica entre la placa absorbente y los intercambiadores (tubos o conductos que contienen los fluidos de transferencia de calor), [17].

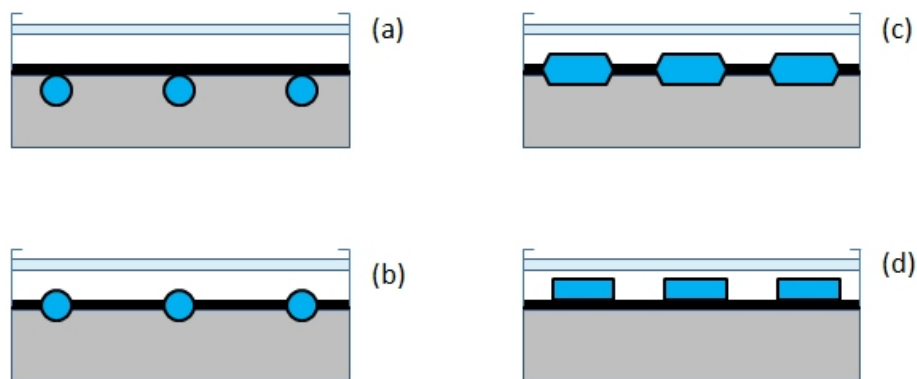


Figura 2.3.4 Diversos Diseños De Colectores De Placa Plana.

Algunas construcciones (b, c) incluyen canales de fluido en la estructura de la placa absorbente para maximizar la conductancia térmica entre los componentes. Otras

modificaciones (a, d) incluyen tubos y canales soldados o cementados a la placa, [17].

El conjunto placa-canal puede utilizar diversos métodos de fijación de componentes: cemento térmico, soldadura, clips, abrazaderas, soldadura fuerte y aplicadores de presión mecánica. Un factor a considerar al elegir el método de montaje es el costo de la mano de obra y los materiales, [17].

2.3.5 Orientación Y Angulo De Inclinación De Los Colectores Solares Planos

El colector solar de superficie plana debe estar orientado con su eje longitudinal en dirección este-oeste, y su inclinación depende de la época del año y de la latitud de la instalación, [16].

Mes	Angulo
Enero	-21°08'
Febrero	-13°13'
Marzo	-14°7'
Abril	9°55'
Mayo	19°05'
Junio	23°20'
Julio	21°23'
Agosto	13°46'
Septiembre	2°53'
Octubre	-8°51'
Noviembre	-18°36'
Diciembre	-23°19'

2.4 Condiciones ambientales del lugar de estudio

Se observan las temperaturas del ambiente de la región de Apizaco durante todo el año, estas temperaturas son importante para realizar evaluación de los equipos térmicos solares, [19].

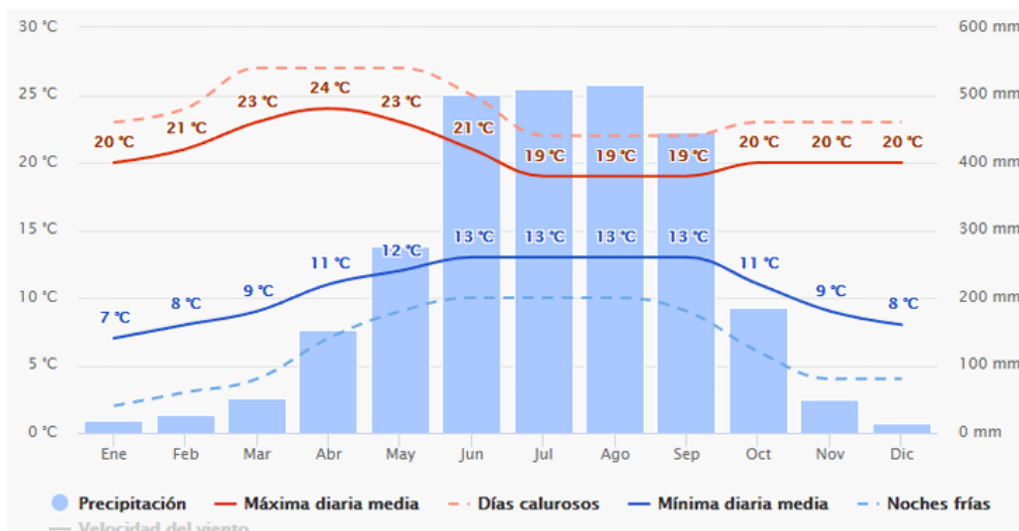


Figura. 2.4.1 Temperatura del aire durante el año.

En la siguiente figura se observa el mapa de radiación solar de la república mexicana, para la región de interés ubicado en el estado de Tlaxcala, se tiene un valor de radiación global de 4.8 – 4.9 kWh/m², los cuales se consideran apropiados para realizar evaluaciones en los equipos térmicos solares y la utilización para el proceso de deshidratación de productos, [19].

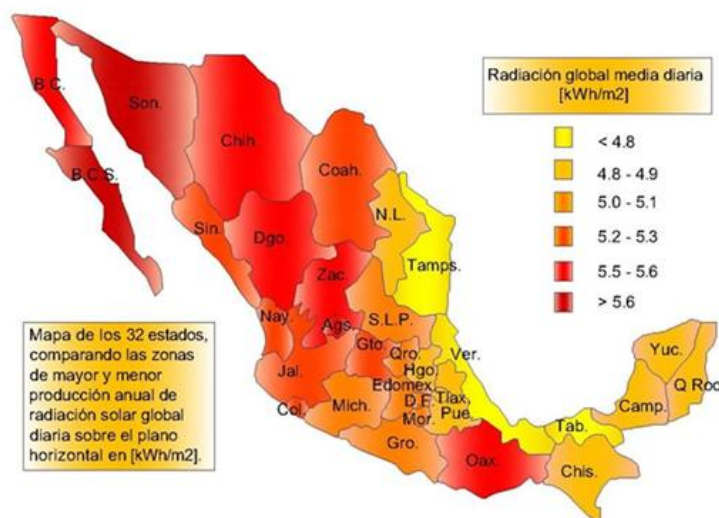


Figura. 2.4.2. Radiación solar en México

Capítulo 3.

3.1 Modelo De Estudio

El modelado matemático se realizó con base a un colector solar de placa plana como se muestra en la figura 3.1, presenta una sección del colector, destacando los principales parámetros geométricos, incluyendo el absorbedor compuesto por los tubos ascendentes y la placa absorbente, la cubierta de vidrio y el aislamiento térmico. Las especificaciones se detallan en tabla de las especificaciones del colector solar.

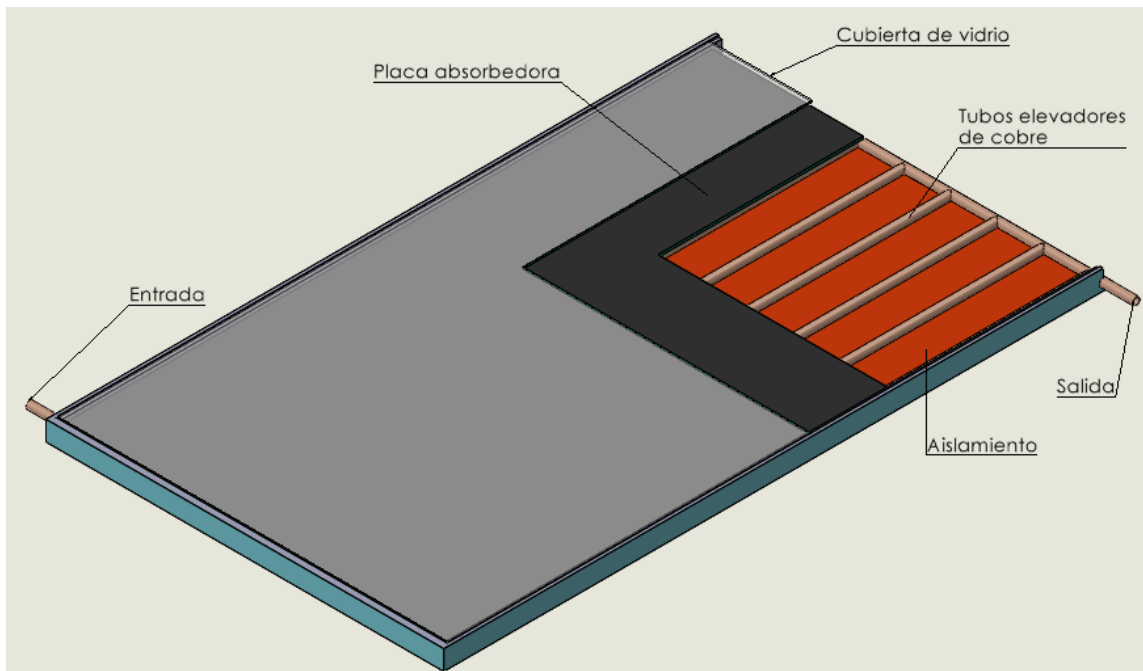


Figura 3.1 Diseño del colector solar de placa plana.

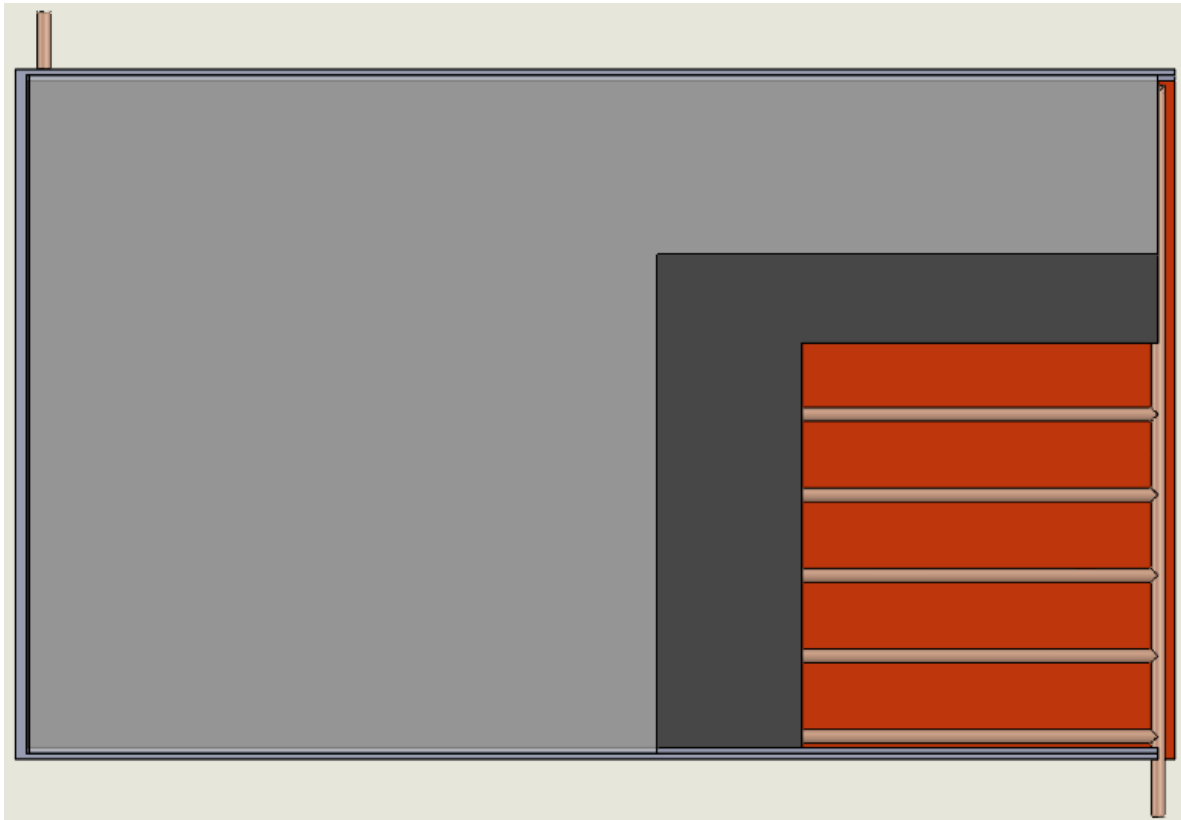


Figura 3.1.1 Plano alzado del colector

TABLA DE LAS ESPECIFICACIONES DEL COLECTOR SOLAR.	
PARAMETRO	VALOR
ÁREA DEL COLECTOR, AC , [M ²]	2.06
NUMERO DE CUBIERTA DE VIDRIO, N	1
NÚMERO DE TUBOS ASCENDENTES, NT	9
LONGITUD DEL COLECTOR, $LCOL$ [M]	2.02
ANCHO DEL COLECTOR, $WCOL$ [M]	1.2
DIÁMETRO INTERIOR DE LA TUBERÍA, DIN , [M]	0.020
DIÁMETRO EXTERIOR DE LA TUBERÍA, $DSAL$, [M]	0.024
ANCHO ENTRE TUBOS, W [M]	0.105
ESPESOR DE LA PLACA, Δ [M]	0.0004
TC DE LA PLACA, KP [W/MK]	384
EMITANCIA DEL VIDRIO, EG	0.84
EMITANCIA DE LA PLACA, EP	0.92
TC DEL AISLAMIENTO, KI [W/MK]	0.040
ESPESOR DEL AISLAMIENTO, $LINS$ [M]	0.025
TRANSMITANCIA, ABSORBANCIA, TA	0.84

ANGULO DE APERTURA DE EL COLECTOR	25°
CONDUCTIVIDAD TERMICA DEL AISLAMIENTO POLIURETANO [W*M°C]	0.038

3.2.- Modelo Matemático De Colector Solar De Placa Plana

3.2.1 Como Determinar La Eficiencia Del Colector

En estado estacionario, el rendimiento de un colector solar se describe mediante un balance energético que indica la distribución de la energía solar incidente en ganancia de energía útil, pérdidas térmicas y pérdidas ópticas. La radiación solar absorbida por un colector por unidad de área del absorbedor S es igual a la diferencia entre la radiación solar incidente y las pérdidas ópticas. La energía térmica perdida del colector al entorno por conducción, convección e infrarrojo se puede representar como el producto del coeficiente de transferencia de calor UL por la diferencia entre la temperatura media de la placa absorbente T_{pm} y la temperatura ambiente T_a . En estado estacionario, la energía útil de un colector de área A_c es la diferencia entre la radiación solar absorbida y la pérdida térmica:

$$Q_u = A_c[S - UL(T_{pm} - T_a)]$$

Una medida del rendimiento del colector es la eficiencia de recolección, definida como la relación entre la ganancia útil durante un período de tiempo específico y la energía solar incidente durante el mismo período:

$$\eta = \frac{\int Q_u dt}{A_c \int G T dt}$$

Si las condiciones son constantes durante un período de tiempo, la eficiencia se reduce a:

$$\eta = \frac{Q_u}{I_t A_c}$$

El diseño de un sistema de energía solar busca obtener energía al mínimo coste. Por lo tanto, puede ser conveniente diseñar un colector con una eficiencia inferior a la tecnológicamente posible si se reduce significativamente el coste. En cualquier caso, es necesario poder predecir el rendimiento de un colector.

3.2.2 Pérdidas De Calor En El Colector

El valor de Q_{perd} se puede poner en función del coeficiente global de transmisión de calor de las pérdidas de calor del colector U_c . Si se conoce U_c y si la placa del colector se sabe está a una temperatura media T_p el valor de Q_{perd} se puede poner, siendo T_a la temperatura ambiente, en la forma, [18].

$$Q_{perd} = U_c A(T_p - T_a) \quad (1)$$

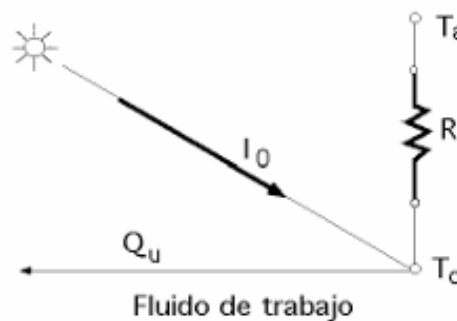


Figura 3.2.1 Circuito térmico aproximado de un colector solar

Un modelo adecuado de análisis térmico de un colector de placa plana puede considerar las siguientes hipótesis simplificadoras, [18].

- El colector está térmicamente aislado en estado estacionario
- La caída de temperatura entre la parte superior e inferior de la placa es despreciable
- El flujo térmico se puede considerar monodimensional, tanto a través de las cubiertas, como de los aislamientos laterales
- Los cabezales que conectan los tubos cubren solamente una pequeña superficie de la placa colectora y proporcionan un flujo térmico uniforme a los tubos

- El cielo se puede considerar como si fuese una fuente térmica equivalente a un cuerpo negro, en lo que respecta a la radiación infrarroja, a una temperatura del cielo equivalente, [18].

A continuación, se muestra el modelo matemático del colector solar de placa plana, este modelo se obtuvo del trabajo realizado por José Michael Cruz [20, 27].

Al aplicar la primera ley de la termodinámica al volumen de control.

$$Q - W = \sum_0 mk \left(h + gz + \frac{w^2}{2} \right) k - \sum_i mk \left(h + gz + \frac{w^2}{2} \right) k' \quad (2)$$

donde Q y W son el flujo de calor y la potencia mecánica desarrollada por el sistema termodinámico, respectivamente. $\dot{m}_o$ y $\dot{m}_i$ son los caudales másicos en la salida y la entrada del sistema. h, z, y v son la entalpía, la altura y la velocidad del fluido, respectivamente, y g es la gravedad, [20, 27].

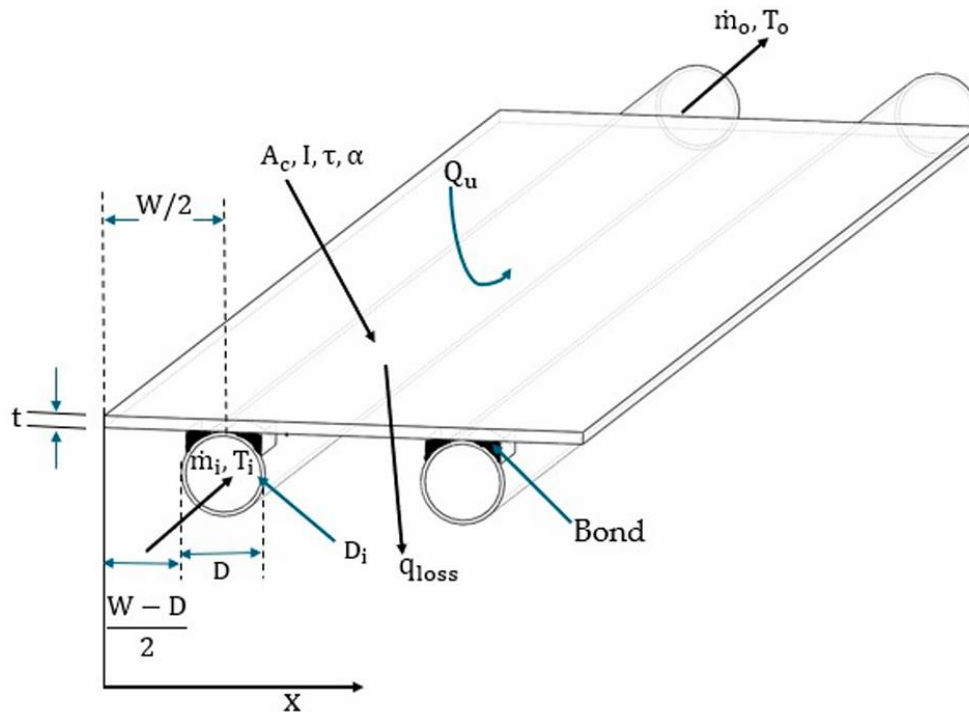


Figura 3.2.2 Sistema termodinámico 3D [20, 27]

El flujo de energía en el sistema termodinámico, según la primera ley de la termodinámica, se puede representar como:

$$I_c A_c \tau_s \alpha_s = q_u + q_{loss} + \frac{de_c}{dt} \quad (3)$$

Donde τ y α son la transmitancia y la absorbancia de la cubierta transparente. q_u y q_{loss} son el calor útil y las pérdidas de calor del colector solar. El tercer término de la ecuación representa la variación de la energía del sistema a lo largo del tiempo, [20, 27].

El calor útil absorbido por el fluido de trabajo, Q_u , viene dado por:

$$Q_u = \dot{m} C_p (T_o - T_i) \quad (4)$$

donde C_p es el calor específico del fluido, y T_o y T_i son las temperaturas de entrada y salida del sistema, respectivamente, [20, 27].

El calor útil también se puede determinar como la diferencia entre el calor útil y el calor perdido del colector solar, según:

$$Q_u = F_R A_c [G_T \tau \alpha - U_L (T_i - T_a)] \quad (5)$$

Donde F_R y U_L son el factor de disipación de calor y el coeficiente de pérdida global, G_T es la irradiancia, $\tau \alpha$ es la transmitancia/absorción y T_a es la temperatura ambiente, [20, 27].

La eficiencia instantánea del colector, η_c , se determina mediante:

$$\eta = \frac{Q_u}{A_c I} = \frac{\dot{m} C_p (T_o - T_i)}{A_c I} \quad (6)$$

$$\eta = F_R \tau_\alpha - F_R U_L \frac{(T_i - T_a)}{G_T} \quad (7)$$

Factores de eliminación de calor y eficiencia del colector

El factor de eliminación de calor, F_R , se determina como:

$$F_R = \frac{\dot{m} C_p}{A_c U_L} \left[1 - \exp \frac{U_L F' A_c}{\dot{m} C_p} \right] \quad (8)$$

El factor de eficiencia del colector, F' , se calcula mediante la ecuación que se muestra:

$$F' = \frac{1/U_L}{W \left[\frac{1}{U_L [D_o + (W - D_o) F]} + \frac{1}{C_b} + \frac{1}{\pi D_{in} h_i} \right]} \quad (9)$$

Donde W , D_{in} y D_o representan la distancia entre el diámetro interior y exterior de las tuberías, respectivamente, [20, 27].

La conductancia en las uniones C_b se calcula mediante la ecuación.

$$C_b = \frac{k_b b}{\gamma} \quad (10)$$

Donde kb y b representan el TC y la longitud de la unión, mientras que γ representa el espesor promedio de la unión, [20, 27].

La eficiencia estándar de la aleta, F , se determina mediante:

$$F = \frac{\tanh\left(\frac{m(W - D_o)}{2}\right)}{\frac{m(W - D_o)}{2}} \quad (11)$$

Para calcular, se utiliza la siguiente ecuación:

$$m = \sqrt{\frac{U_L}{k_c \delta_c}} \quad (12)$$

Donde k_c y δ_c son, respectivamente, TC y el espesor del absorbedor, [20, 27].

Coeficiente de transferencia de calor por convección

El coeficiente de transferencia de calor por convección h_{fi} se determina mediante:

$$h_i = \frac{Nuk}{D_i} \quad (13)$$

Donde se determina el número de Nusselt, como lo sugiere, [20, 27].

$$Nu = 0.4328(1 + 11.285\phi^{0.754}Pe^{0.218})Re^{0.333}Pr^{0.4}, \text{ Flujo laminar} \quad (14)$$

$$Nu = 0.0059(1 + 7.62865\phi^{0.6886}Pe^{0.001})Re^{0.9238}Pr^{0.4}, \text{Flujo turbulento} \quad (15)$$

Esta relación es válida para ($Re \leq 2300$ para flujo laminar y $Re > 2300$ para flujo turbulento), [20, 27].

Los números adimensionales de Reynolds y Prandtl se determinaron como (donde N_t es el número del tubo ascendente)

$$Re = \frac{4\dot{m}}{\pi D_\mu N_t} \quad (16)$$

$$Pr = \frac{\mu C_p}{k} \quad (17)$$

Coeficiente general de pérdida de calor

El coeficiente general de pérdidas, U_L , se calcula mediante:

$$U_L = U_t + U_b + U_e \quad (18)$$

Donde U_t , U_b , U_θ son los coeficientes de pérdida superior, inferior y lateral, respectivamente. El coeficiente de pérdida superior, U_t , se determina como una muestra, [20, 27].

$$U_t = \left\{ \frac{\frac{1}{N}}{\frac{C}{T_p \left[\frac{T_p - T_a}{N + f} \right]^{0.33} + \frac{1}{h_a}}} \right\} + \left\{ \frac{\sigma(t_p + T_a)(T_p^2 + T_a^2)}{\varepsilon_p + 0.5N(1 - \varepsilon_p) + \frac{2n + f - 1}{\varepsilon_g}} \right\} \quad (19)$$

Donde:

$$C = 365.9 \times (1 - 0.00883\beta + 0.0001298 \times \beta^2) \quad (20)$$

$$f = (1 + 0.04h_a - 0.0005h_a^2) \times (1 + 0.091N) \quad (21)$$

$$h_a = 5.7 + 3.8V_a \quad (22)$$

Donde V_a es la velocidad del viento, N es el número de cubiertas, ε_p es la emisividad de la placa, ε_g es la emisividad del techo y β es el ángulo de inclinación del colector, respectivamente, [20, 27].

El coeficiente de pérdida inferior, U_b , se determina a partir de

$$U_b = \frac{k_b}{x_b} \quad (23)$$

Donde k_b y x_b son el TC y el espesor del aislamiento inferior, respectivamente, [20, 27].

El coeficiente de pérdida en los bordes se calcula con la siguiente ecuación:

$$U_e = \frac{A_e}{A_c} \quad (24)$$

3.3 Propiedades Termo físicas De Los Fluidos Base A Analizar

3.3.1 Agua (H₂O)

Si tenemos una cantidad de agua (líquida) a una cierta temperatura y la presión a la que se encuentra es superior a la que produciría ebullición a esa temperatura, se dice que es un líquido comprimido (ya que la presión exterior la mantiene en estado líquido) o líquido subenfriado (ya que se encuentra por debajo de su temperatura de ebullición) [21, 22].

Esta es la situación habitual entre 0°C y 100°C a la presión de una atmósfera. A esta presión, el agua tiene una densidad que es aproximadamente igual a 1000 kg/m³. Esta densidad, no obstante, depende ligeramente de la temperatura [22].

[21] Cengel Yunus, Boles Michael TERMODINAMICA (Spanish Edition) Mc Graw Hill Interamericana De España SL (2015)

Densidad ρ	Calor especifico C_p	Conductividad térmica k	Viscosidad ν
kg/m^3	$kJ/kg\ K$	$W/m\ K$	m^2/s
1000	4.22	0.6	1.002E-6

3.3.2 Etilenglicol (C₂H₆O₂)

Este compuesto (C₂H₆O₂) posee una fórmula molecular sencilla compuesta por dos grupos hidroxilo, lo que le confiere una alta capacidad higroscópica y miscibilidad con el agua. Tiene una densidad de 1109 kg/cm³, un punto de ebullición de 197,3 °C y un punto de congelación de -12,9 °C. Su viscosidad y bajo punto de congelación lo convierten en un ingrediente ideal para fluidos refrigerantes. Además, es soluble en alcoholes y acetona, pero poco volátil, lo cual favorece su uso en sistemas cerrados. [23, 21]

[21] Cengel Yunus, Boles Michael TERMODINAMICA (Spanish Edition) Mc Graw Hill Interamericana De España SL (2015)

Densidad	Calor específico	Conductividad térmica	Viscosidad
ρ	C_p	k	ν
kg/m^3	$kJ/kg\ K$	$W/m\ K$	$Pa \times s$
1109	2.84	0.25	1.61E-2

3.3.3 Propilenglicol (C₃H₈O₂)

El propilenglicol es un líquido transparente, viscoso, incoloro, inodoro, una mezcla alifática que contiene dos grupos hidroxilo. El propilenglicol se divide a su vez en 1,2-propanodiol (también conocido como 1,2-PDO) y 1,3-propanodiol (1,3-PDO). Dado que ambos grupos hidroxilo en la molécula de propilenglicol pueden sufrir reacciones químicas, el propilenglicol es un intermediario químico importante y tiene una amplia gama de aplicaciones en plásticos, ropa, resinas sintéticas, cosméticos, alimentos y muchos otros campos. Como anticongelante, descongelante, medio de transferencia de calor, detergente líquido, etc. [24, 21]

El propilenoglicol se utiliza principalmente como disolvente para diversas especias, pigmentos y conservantes, y como disolvente de extracción para vainas de vainilla, gránulos de café tostado y sabores naturales. Hidratante y suavizante para dulces, pan, carnes envasadas, quesos, etc. [24, 21]

También se puede utilizar como aditivo antimoho para fideos y núcleos de relleno. Agregar 0.006% a la leche de soya puede hacer que el sabor no cambie cuando se calienta y obtener un tofu envasado blanco y brillante, mientras que freírlo aumentará el volumen. [24, 21]

[21] Cengel Yunus, Boles Michael TERMODINAMICA (Spanish Edition) Mc Graw Hill Interamericana De España SL (2015)

Densidad	Calor específico	Conductividad térmica	Viscosidad
ρ	C_p	k	ν
kg/m^3	$kJ/kg\ K$	$W/m\ K$	m^2/s
1036	2.49	0.34	0.042

3.3.4 Aceites Reciclados como el 20W-50

Contiene tecnología de sustitución de fósforo, que reduce el nivel de fósforo y lo sustituye por un aditivo patentado que preserva su sistema de emisión al tiempo que mantiene una robusta protección anti desgaste. está formulado para eliminar los sedimentos existentes, al tiempo que evita la formación de nuevos sedimentos. También está desarrollado para resistir la viscosidad y la descomposición térmica.[26]

[25]

Densidad ρ kg/m^3	Calor especifico C_p $kJ/kg\ K$	Conductividad térmica k $W/m\ K$	Viscosidad ν m^2/s
870	0.59	0.13	0.020

Capítulo 4

Análisis de resultados

En esta sección se presentan los resultados obtenidos del modelo matemático del colector solar de placa plana utilizando el software de Engineering Equation Solver (EES), los fluidos de trabajo que se analizaron son el agua (H_2O), propilenglicol ($C_3H_8O_2$), etilenglicol ($C_2H_6O_2$) y aceite 20w-50. la temperatura ambiente y la radiación utilizadas fueron de $30\text{ }^{\circ}\text{C}$ y $(700,800,900)\text{ W/M}^2$, respectivamente.

A continuación, se muestran eficiencia del colector con respecto al flujo másico para radiaciones de 700, 800 y 900 W/M^2 .

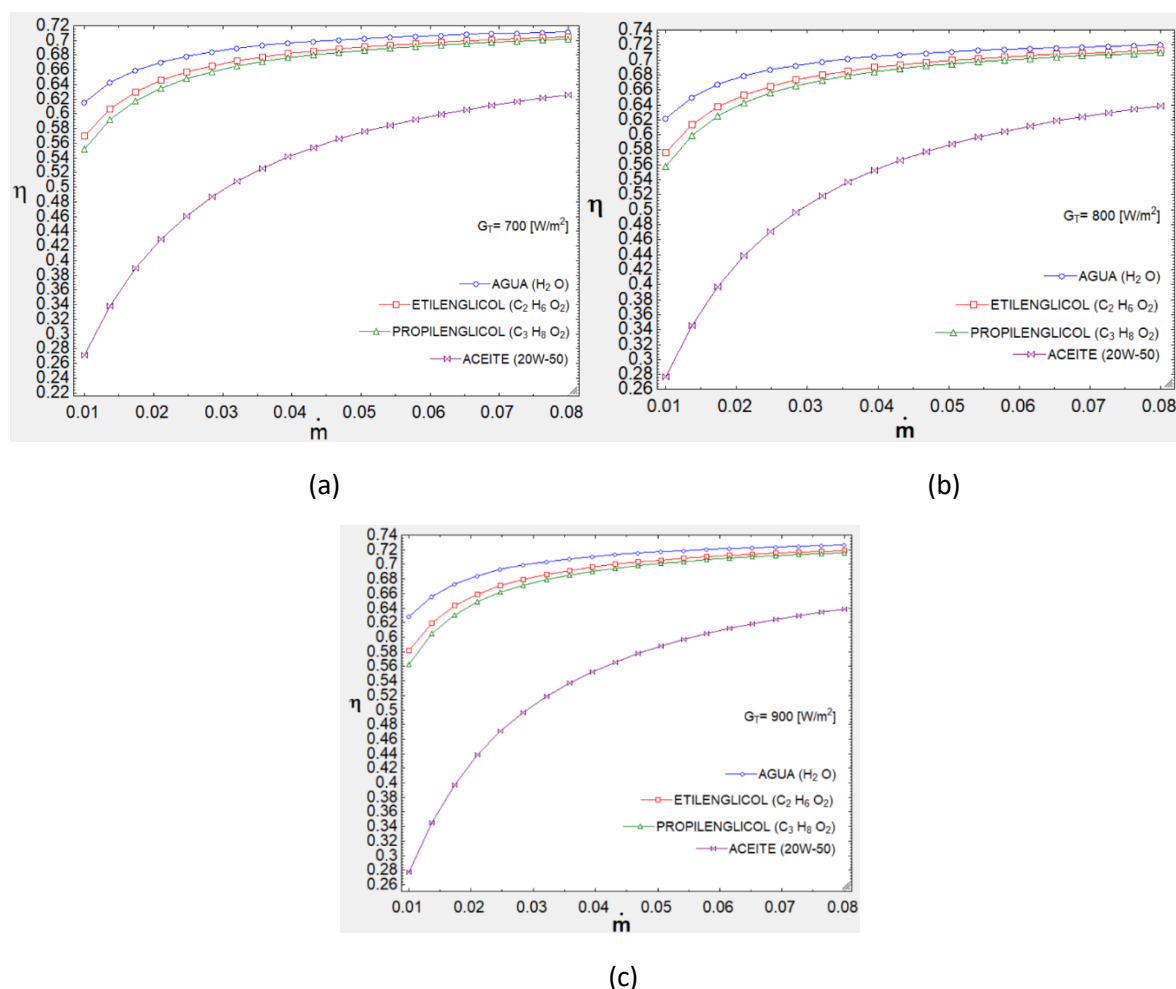


Figura 4.1 Eficiencia del FSC con respecto al flujo másico de los fluidos base usando una radiación de (a) 700, (b)800 Y (c) 900 $[\text{W/m}^2]$

Las siguientes figuras muestran el calor útil con respecto al flujo masico analizando radiaciones de 700, 800 y 900 W/M².

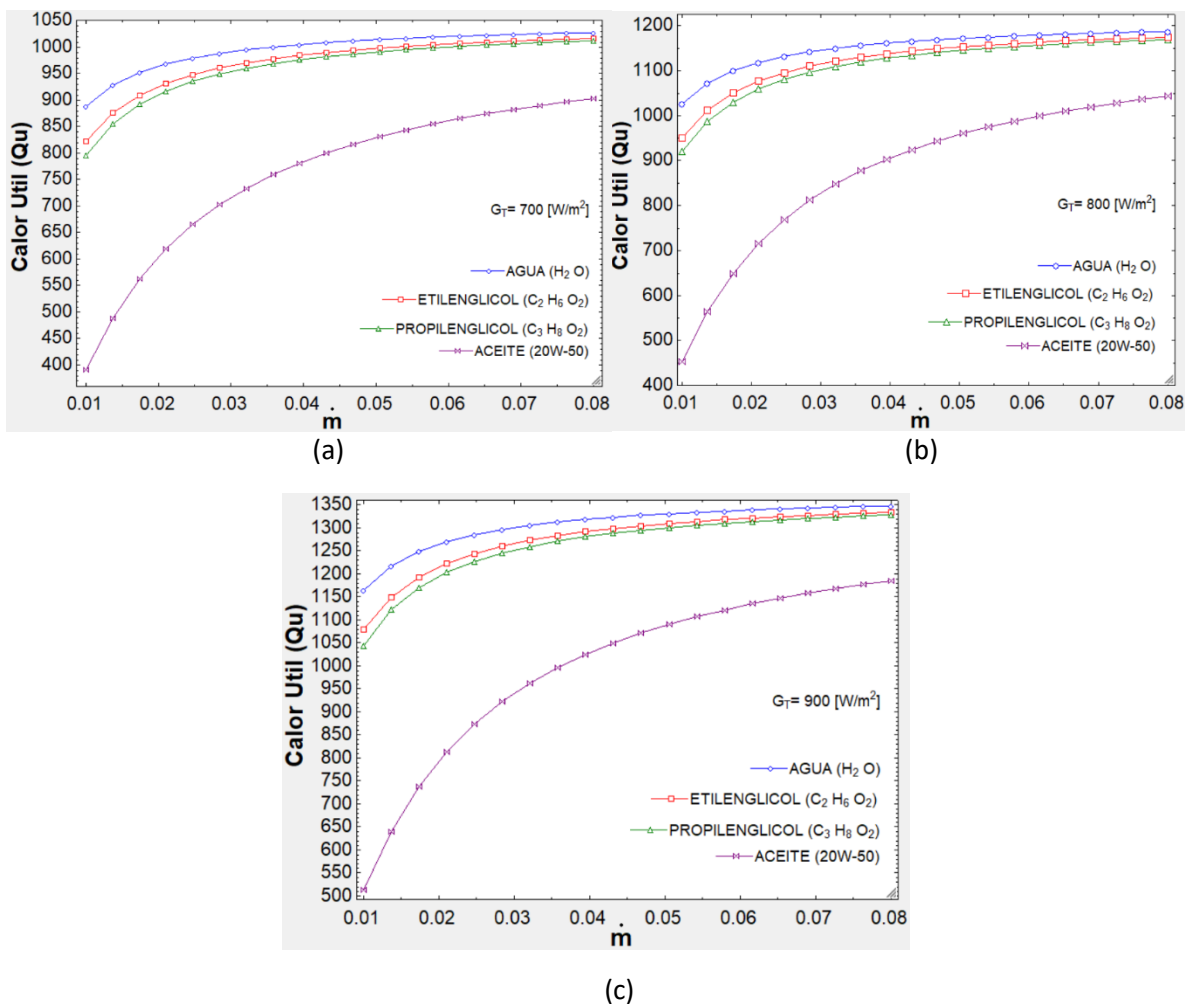
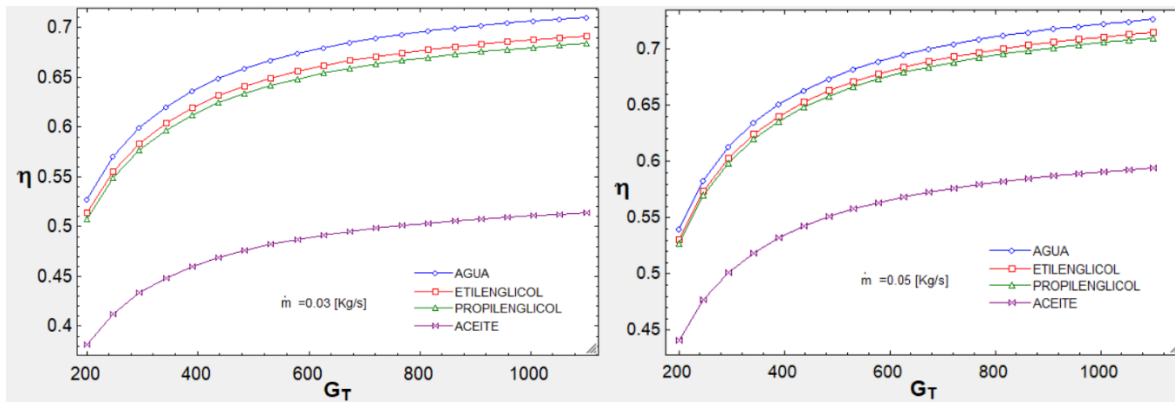


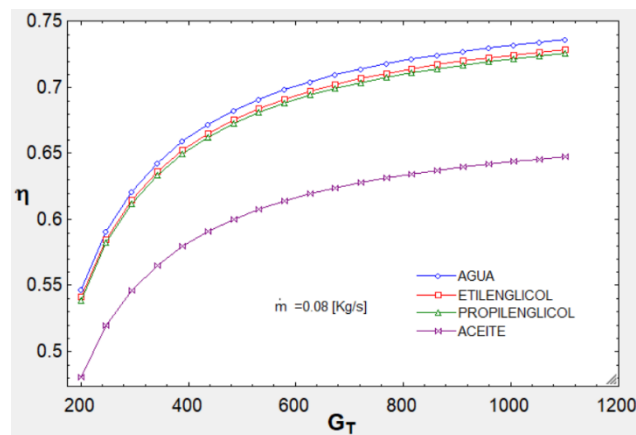
Figura 4.2 Calor útil del FSC con respecto al flujo másico de los fluidos base usando una radiación de (a) 700, (b) 800 Y (c) 900 [W/m²]

Las siguientes figuras muestran la eficiencia con respecto a la radiación analizando flujos masicos de 0.03, 0.05 y 0.08 [Kg/s]



(a)

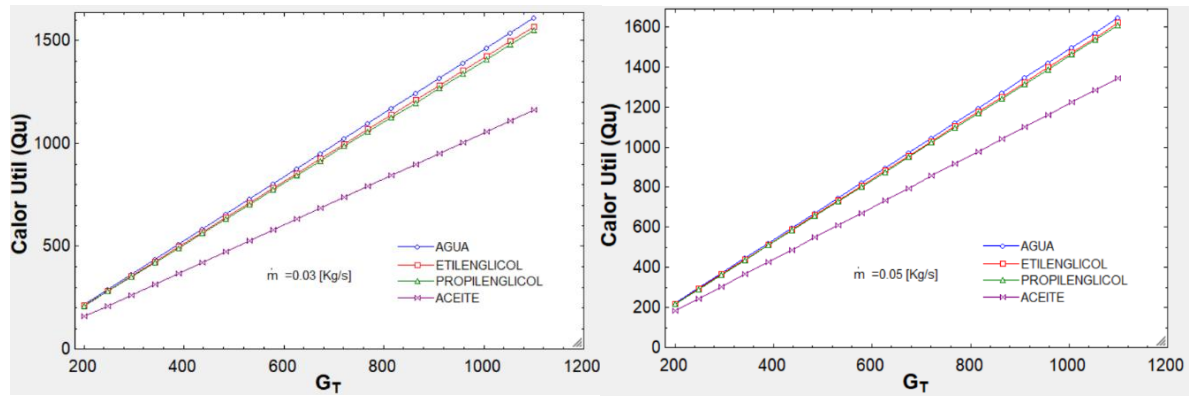
(b)



(c)

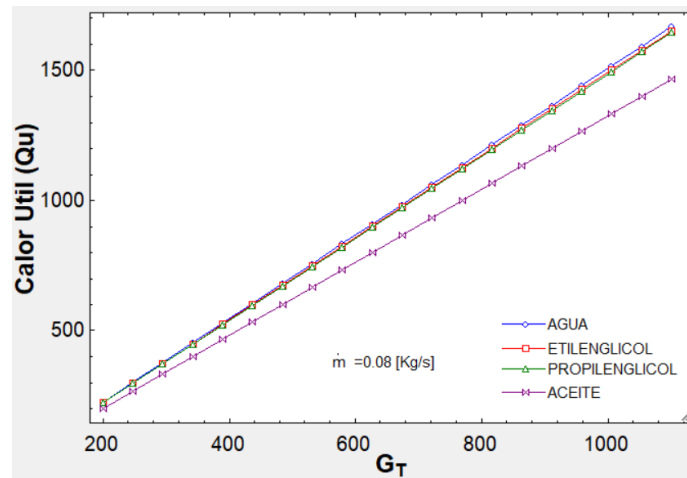
Figura 4.3 Eficiencia del FSC con respecto a la radiación de los fluidos base usando unos flujos masicos de (a) 0.03, (b) 0.05 y (c) 0.08 [Kg/s]

Las siguientes figuras muestran el calor util con respecto a la radiación analizando flujos masicos de 0.03, 0.05 y 0.08 [Kg/s]



(a)

(b)



(c)

Figura 4.4 Calor util del FSC con respecto a la radiación de los fluidos base usando unos flujos masicos de (a) 0.03, (b) 0.05 y (c) 0.08 [Kg/s]

Capítulo 5

Conclusión

El análisis térmico del colector solar de placa plana empleando diferentes fluidos de trabajo permitió identificar cómo las propiedades termo físicas influyen directamente en el rendimiento térmico del sistema. Los resultados muestran que la eficiencia del colector depende fundamentalmente de la capacidad calorífica, la conductividad térmica y la viscosidad de cada fluido, factores que determinan tanto la ganancia de temperatura como las pérdidas asociadas a la caída de presión y al consumo de bombeo. En general, los fluidos con mayor conductividad térmica y menor viscosidad presentaron un mejor comportamiento global, logrando mayores incrementos de temperatura y una transferencia de calor más efectiva.

El análisis confirma que la selección del fluido de trabajo no solo impacta la eficiencia instantánea, sino también la estabilidad operativa y el desempeño en condiciones ambientales variables.

Finalmente, se concluye que el uso adecuado del fluido de trabajo puede optimizar significativamente el desempeño del colector solar, y que futuras investigaciones podrían enfocarse en fluidos avanzados, más estables y optimización del flujo para maximizar la eficiencia energética del sistema.

Nomenclatura

A	Área (M ²), Absorbedor
C	Conductancia (W/Mk)
C_p	Capacidad Calorífica (Kj/Kgk)
D	Diámetro (M)
F	Eficiencia Estándar
FR	Factor De Extracción De Calor
F'	Factor De Eficiencia Del Colector Solar
h	Coeficiente De Transferencia De Calor (W/M ² K)
I	Radiación Solar (W/M ²)
k	Tc (W/Mk)
$\dot{m}$	Flujo Másico (Kg/S)
Nu	Número De Nusselt
Pr	Número De Prandtl
$\dot{Q}$	Flujo De Calor (W)
U	Coeficiente Global De Transferencia De Calor (W/Mk)
Re	Número De Reynolds
T	Temperatura (K)
W	Distancia Entre Aletas (M)
x	Espesor Del Aislamiento Inferior (M)

Símbolos griegos

α_0	Absortancia
β	Ángulo De Inclinación Del Colector (°)
δC	Espesor Del Absorbedor (M)
ε	Emisividad
η	Eficiencia
γ	Espesor Promedio De La Unión (M)
μ	Viscosidad (Pa·S)
$\emptyset$	Fracción De Volumen (%)
ρ	Densidad (Kg/M ³)
σ	Constante De Stefan-Boltzmann (W/M ² K ⁴)
τ_0	Transmitancia

Referencias

- [1] 3.1 overview of flat plate collectors. (s/f).
Psu.edu.<https://courses.ems.psu.edu/eme811/node/685>
- [2] Sa, E. (2022, 31 agosto). Colector solar plano. Enercity S.A.
<https://enercitysa.com/blog/colector-solar-plano/>
- [3] Catalán, H. (2020b). Impacto de las energías renovables en las emisiones de gases efecto invernadero en México. Problemas del Desarrollo Revista Latinoamericana de Economía, 52(204).
https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0301-70362021000100059
- [4] Sarlat, R. I. (2018). El impulso de las energías renovables en la lucha contra el cambio climático a través de los certificados ambientales en el sector eléctrico mexicano.https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S004186332018000200569
- [5] L. Moens y DM Blake, Fluidos avanzados de transferencia de calor y almacenamiento térmico (pdf), Laboratorio Nacional de Energías Renovables, Documento de conferencia CP-510-37083, enero de 2005. (Fuente: <https://www.nrel.gov/docs/fy05osti/37083.pdf>)
- [6] Heat Transfer Fluids for Solar Water Heating Systems. (s. f.). Energy.gov
<https://www.energy.gov/energysaver/heat-transfer-fluids-solar-water-heating-systems>
- [7] Rodríguez Mejía, JR, López Monteagudo, FE, Araiza Esquivel, MA, Olvera Olvera, C., & Dorrbercker, SA (2016). Diseño de un colector solar de placa plana. Ingeniería Energética , XXXVII (1), 15-24.
<https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=329145581003>
- [8] Balbín, M. (2025, 10 marzo). Origen de la energía solar fotovoltaica | Hydronik.
<https://hydronik.es/origen-energia-solar-fotovoltaica/>
- [9] What is solar energy? Types and main advantages | Repsol. (2023, 11 septiembre). <https://www.repsol.com/en/energy-move-forward/energy/solarenergy/index.cshtml>
- [10] Constellation. (s. f.). The Pros and Cons of Solar Energy. Constellation.
<https://www.constellation.com/energy-101/energy-innovation/solar-energy-pros-andcons.html>

- [11] Fundación Aquae. (2021, 24 noviembre). Ventajas y desventajas de la energía solar – Fundación Aquae. <https://www.fundacionaquae.org/wiki/energia-solar-ventajas-desventajas/>
- [12] SunFields Europe. (2025, 2 mayo). Tecnologías fotovoltaicas utilizadas en paneles solares | SunFields. SunFields | Expertos En Energía Fotovoltaica Para Ahorro Energético En España. <https://www.sfesolar.com/panelessolares/tecnologia/?srsltid=AfmBOorZPIP4Oi e71uUaebbbKsSg1RICBvXYdTUQUJfCXMJfQnawrdFv>
- [13] Aguilera, D. (2025, 2 julio). Paneles solares: su funcionamiento y beneficios. Naturgy. <https://www.naturgy.com.mx/blog/energia/que-son-los-paneles-solares/>
- [14] Lozano, Miguel. (2019). COLECTORES SOLARES TÉRMICOS. https://www.researchgate.net/publication/338254329_COLECTORES_SOLARES_TERMICOS
- [15] Overview of Solar Thermal Fluids | EME 811: Solar Thermal Energy for Utilities and Industry. (s. f.). <https://courses.ems.psu.edu/eme811/node/675>
- [16] Secado de granos: natural, solar y a bajas temperaturas - Colectores planos de energía solar para calentamiento de aire forzado. (s. f.). <https://www.fao.org/4/x5058s/x5058s04.htm>
- [17] 3.1 Overview of Flat Plate Collectors | EME 811: Solar Thermal Energy for Utilities and Industry. (s. f.). <https://courses.ems.psu.edu/eme811/node/685>
- [18] Albizzati, E. (2016). EVALUACIÓN DE LA SUSTENTABILIDAD DE INSTALACIONES SOLARES CON COLECTORES DE PLACA PLANA y TUBOS EVACUADOS. Revista Internacional de Contaminación Ambiental, 32(3), 315-322. <https://doi.org/10.20937/rica.2016.32.03.06>
- [19] Jorge, B. H., & Vicente, F. L. (2018, 1 septiembre). Propuesta de cámara de deshidratación a partir de la energía entregada por un Sistema Solar Híbrido. <https://rinacional.tecnm.mx/handle/TecNM/711>
- [20] Cruz, J.M.; Crepaldi, S.A.; Gutiérrez-Urueta, G.L.; Rubio, J.d.J.; Zacarías, A.; Jiménez, C.; Romage, G.; Jiménez, J.A.; López, A.; Balcazar, R. Performance Assessment of Flat Plate Solar Collector Using Simple and Hybrid Carbon Nanofluids at Low Thermal Capacity. Appl. Sci. 2024, 14, 8732. <https://doi.org/10.3390/app14198732>
- [21] Cengel Yunus, Boles Michael TERMODINAMICA (Spanish Edition) Mc Graw Hill Interamericana De España S. L. (2015): Cossío Polo Aldair : Free Download, Borrow, and Streaming: Internet Archive. (2023, 26 marzo). Internet Archive.

<https://archive.org/details/cengel-yunus-boles-michael-termodinamica-spanish-edition-mc-graw-hill-interameri/page/908/mode/2up>

- [22] Propiedades del agua. (s. f.).
http://tesla.us.es/wiki/index.php/Propiedades_del_agua
- [23] Reyes, Y. (2025, 4 julio). Etilenglicol: Propiedades, Usos y Riesgos en la Industria. Inspecnet. <https://inspenet.com/articulo/etilenglicol-propiedades-uso-y-manejo/>
- [24] Co., H. C. I. (2022, octubre 13). ¿Cuáles son las propiedades físicas del propilenglicol? Henán Chemsino Industria Co., Limitado.
<https://es.cnadditives.com/info/the-physical-properties-of-propylene-glycol-75796910.html>
- [25] SAE 20W50 API SN/SM/SL - DANA LUBRICANTES -proveedores ,fabricantes , aceites lubricantes empresa. (2016, septiembre 30). DANA LUBRICANTES -Proveedores ,Fabricantes , Aceites Lubricantes Empresa; DANA distribuidores de LUBRICANTES.
<https://lubricantesdana.com/productos/lubricantes-automotrices-grasa-uae/aceite-motor-sintetico-semi-sintetico/sae-20w50-api-snsmsl/>
- [26] Castrol México. (s/f). Mexico; Castrol Mexico.
https://www.castrol.com/es_mx/mexico/home/products/our-brands/viscosity-grades/20w-50.html
- [27] Zacarías, A.; Cruz, J.M.; De León-Ruiz, J.E.; Gutiérrez-Urueta, G.; Bedolla, J.; Guarneros, O.; Ramage, G.; Balcázar, R.; Mil-Martínez, R.; Carranco, S.E. Performance Assessment and Heat Transfer Coefficient of Antifreeze Fluids in Low-Temperature Solar Collectors. Appl. Sci. 2025, 15, 4323. <https://doi.org/10.3390/app15084323>