



**UNIVERSIDAD DE CIENCIAS Y ARTES DE CHIAPAS**  
**INSTITUTO DE INVESTIGACIÓN E INNOVACIÓN EN ENERGÍAS RENOVABLES**  
**INGENIERÍA EN ENERGÍAS RENOVABLES**

**TESIS**

**“EVALUACIÓN TÉRMICA DE UN SERPENTÍN DE COBRE  
PARA SU IMPLEMENTACIÓN EN UN  
PROTOTIPO TÉRMICO SOLAR”**

**PARA OBTENER EL TÍTULO DE  
INGENIERO EN ENERGÍAS RENOVABLES  
PRESENTA  
ISIS DEL CARMEN CASTELLANOS BETANZOS**

**DIRECTOR:**

**Dr. HÉBER VILCHIS BRAVO**

**CO-DIRECTORA:**

**DRA. GUADALUPE LÓPEZ MORALES**



Tuxtla Gutiérrez, Chiapas; octubre de 2024



**Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas**  
**Dirección de Servicios Escolares**  
**Departamento de Certificación Escolar**  
Autorización de impresión



**Lugar: Tuxtla Gutiérrez; Chiapas**

**Fecha: 09 de octubre de 2024**

**C. Isis del Carmen Castellanos Betanzos**

Pasante del Programa Educativo de: Ingeniería en Energías Renovables

Realizado el análisis y revisión correspondiente a su trabajo recepcional denominado:  
**Evaluación térmica de un serpentín de cobre para su implementación en un prototipo térmico solar.**

En la modalidad Tesis profesional  
de:

Nos permitimos hacer de su conocimiento que esta Comisión Revisora considera que dicho documento reúne los requisitos y méritos necesarios para que proceda a la impresión correspondiente, y de esta manera se encuentre en condiciones de proceder con el trámite que le permita sustentar su Examen Profesional.

**ATENTAMENTE**

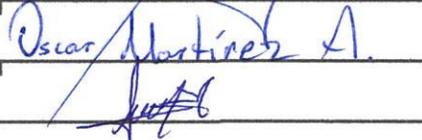
**Revisores**

**Dr. Pascual López de Paz**

**Mtro. Oscar Martínez Aguirre.**

**Dra. Guadalupe López Morales**

**Firmas:**

  
Oscar Martínez A.  


Ccp. Expediente

# CONTENIDO

|   |    |
|---|----|
| <b>Capítulo 1:</b> Generalidades .....  | 1  |
| 1.1 Introducción. ....  | 1  |
| 1.2 Planteamiento del problema. ....  | 3  |
| 1.3 Justificación. ....   | 3  |
| 1.4 Objetivos. ....   | 4  |
| <b>Capítulo 2:</b> Marco Teórico .....  | 5  |
| 2.1 Energía Solar. ....   | 5  |
| 2.2 Ciclo Solar. ....   | 6  |
| 2.3 Radiación Solar .....   | 7  |
| 2.4 Transferencia de Calor. ....  | 11 |
| 2.4.1 Conducción. ....  | 11 |
| 2.4.2 Convección. ....  | 12 |
| 2.4.3 Radiación. ....   | 12 |
| 2.5 Intercambiador de Calor. ....   | 13 |
| 2.6 Estufas Solares .....   | 17 |
| 2.6.1 Tipo Caja. ....   | 18 |
| 2.6.2 Tipo Parabólico. ....   | 19 |
| 2.6.3 Estufas Solares Indirectas. ....  | 22 |
| 2.7 Sistemas Solares para Calentamiento de Agua .....                                     | 24 |
| 2.8 Conductividad Térmica de un Serpentin de Cobre .....                                  | 26 |
| <b>Capítulo 3:</b> Metodología .....  | 29 |
| 3.1 Diseño Y Construcción De Estufa Solar Con Circulación Forzada. ....                   | 29 |
| 3.2 Diseño Y Construcción De Serpentin Espiral Plano. ....                                | 35 |
| 3.3 Evaluación Térmica De Los Prototipos. ....  | 37 |
| <b>Capítulo 4:</b> Resultados Y Discusiones. ....   | 40 |
| 4.1 Evaluación Térmica Del Serpentin Rectangular. ....                                    | 40 |
| 4.2 Evaluación Térmica Del Serpentin Espiral Plano Sin Circulación De Agua. ....          | 41 |
| 4.3 Evaluación Térmica Del Serpentin Espiral Plano Con Circulación De Agua Caliente. .... | 43 |
| 4.4 Evaluación Del Prototipo Solar Con Serpentin Espiral Plano Con Aislante Térmico. .... | 44 |
| <b>Capítulo 5:</b> Conclusiones .....   | 48 |
| Trabajo A Futuro. ....  | 49 |
| Referencias. ....   | 50 |

# RESUMEN

Las estufas solares son prototipos térmicos solares que se caracterizan por ser alternativas sustentables y ecológicas para la cocción de alimentos mediante el uso de la radiación solar. El diseño de estas estufas solares permite reducir considerablemente el consumo de leña y combustibles fósiles, mitigando el impacto ambiental y las afecciones de salud causadas por inhalación de humo provocado por el uso irracional de estas fuentes. Dependiendo de la configuración de las estufas solares se puede clasificar en directas o indirectas. En particular, las estufas solares indirectas utilizan un colector de calor externo que transporta la energía térmica mediante un circuito cerrado. Un líquido portador de calor transporta el calor desde el colector hasta un serpentín metálico, que funciona como una parrilla para calentar los alimentos dentro de un hogar. Las dimensiones, el material y la forma del serpentín es un factor importante para obtener el calor suficiente en el recipiente. En este trabajo de tesis se propone una metodología para la evaluación térmica de un serpentín metálico de cobre en configuración rectangular y una en espiral plano, con el objetivo de analizar la temperatura del tubo del serpentín mientras ocurre la circulación de un fluido (agua) caliente en su interior. Los resultados indican que el serpentín de cobre en forma de espiral acoplado a un aislante térmico presenta la capacidad de almacenar calor de manera uniforme sobre toda la superficie, alcanzando una temperatura promedio constante de 58.5 °C cuando el fluido tiene una temperatura de 70 °C. Esta metodología corresponde a las primeras evaluaciones térmicas que dan fundamento para proponer mejoras al sistema, que ayuden a reducir las pérdidas de calor y mantener mayor temperatura en el serpentín.

# Capítulo 1: Generalidades

## 1.1. Introducción

En la actualidad, se ha incrementado la búsqueda de soluciones más efectivas a los problemas ambientales a nivel global, como el cambio climático debido a los gases de efecto invernadero y a la contaminación atmosférica que son una causa ambiental de enfermedades y muerte prematura en todo el mundo. Según la Organización de las Naciones Unidas (ONU), las ciudades consumen alrededor del 78% de la energía mundial y producen más del 60% de las emisiones de gases de efecto invernadero (Naciones Unidas, s.f.) La quema de combustibles fósiles es la principal causa de esta situación. Además, la contaminación atmosférica también contribuye al cambio climático. Ambos problemas están interconectados y requieren soluciones urgentes. Para aminorar esta problemática se están desarrollando proyectos para el aprovechamiento de las energías renovables que sustituyan el uso de combustibles fósiles, que producen menos emisiones contaminantes. Dentro de las fuentes naturales se encuentra la energía solar que es la más abundante en el mundo. Las tecnologías solares convierten la luz solar en electricidad o calor mediante paneles fotovoltaicos o colectores solares que concentran la radiación solar. El Sol al ser una fuente constante y abundante, además de ser un factor importante en la vida del ser humano desde el aspecto biológico hasta el social se plantea como una de las principales alternativas para obtener energía ante la creciente crisis climática. La energía solar es una opción prometedora para un futuro más limpio y sostenible.

El uso de la energía solar térmica para la cocción de alimentos mediante la implementación de estufas solares en zonas rurales y urbanas permitiría reducir considerablemente el consumo de leña y combustibles fósiles, mitigando el impacto ambiental y las afecciones de salud causadas por inhalación de humo provocado por el uso irracional de estas fuentes. Cabe mencionar que, según el CONEVAL, 1 de cada 9 personas en el mundo no dispone de alimentos suficientes para llevar una vida saludable y activa según un estudio realizado en 2015. En México, 1 de cada 5 personas sufre carencia de acceso a la alimentación esto equivale a un 21.7% de la población mexicana. El plan de desarrollo sostenible adoptadas por las Naciones Unidas plantea como segundo punto el plan cero, el cual busca como principal objetivo poner fin al hambre y asegurar el acceso de todas las personas, a una alimentación sana, nutritiva y suficiente durante todo el año (Gobierno de México, 2017). En este caso la energía solar puede aprovecharse para

la cocción de alimentos usando estufas solares, logrando con más facilidad satisfacer las necesidades alimenticias, y a la vez contribuye a la sostenibilidad y la lucha contra el cambio climático.

Las estufas solares, a diferencia de las estufas convencionales, no requieren combustibles ni electricidad, lo que la hace una alternativa limpia y sostenible. La mayoría de los prototipos solares presentan características generales similares, las cuales varían dependiendo de las condiciones para las cuales están diseñados y de los materiales usados para su construcción. Dependiendo de la configuración de las estufas solares se puede clasificar en directas o indirectas. Las primeras son sistemas solares térmicos que reflejan la irradiación solar en una superficie reflectante concentrando la energía en un punto focal, lo que permite aumentar la temperatura de un recipiente que puede contener agua o alimentos. Sin embargo, esta configuración requiere que el usuario se encuentre expuesto a la radiación solar durante su uso. Las estufas solares indirectas utilizan un colector de calor externo, que transporta la energía térmica mediante un circuito cerrado. Un líquido portador de calor (como agua o aceite) transporta el calor desde el colector hasta un serpentín metálico, el cual funciona como una parrilla para calentar los alimentos dentro de un hogar. Las dimensiones, el material y la forma del serpentín es un factor importante para obtener el calor suficiente en el recipiente.

En este trabajo de tesis se propone una metodología para la evaluación térmica de un serpentín metálico de cobre en configuración rectangular y una en espiral plano, con el objetivo de analizar la temperatura del tubo del serpentín mientras ocurre la circulación de un fluido (agua) caliente en su interior. Los resultados indican que el serpentín de cobre en forma de espiral acoplado a un aislante térmico presenta la capacidad de almacenar calor de manera uniforme sobre toda la superficie, alcanzando una temperatura promedio constante de 58.5 °C cuando el fluido tiene una temperatura de 70 °C. Esta metodología corresponde a las primeras evaluaciones térmicas que dan fundamento para proponer mejoras al sistema, que ayuden a reducir las pérdidas de calor y mantener mayor temperatura en el serpentín.

## 1.2. Planteamiento del problema

Dependiendo del diseño y de material empleado de una estufa solar se puede obtener una temperatura ideal para la cocción de alimentos. En las zonas rurales de Oaxaca y Chiapas, el manejo de leña como combustible en las actividades domésticas se acata tanto a la forma tradicional de vida de sus pobladores, como a factores económicos y a falta de acceso a otras fuentes de energía causando a la larga severos problemas de salud, siendo esto un obstáculo para el desarrollo de las personas afectadas y sobre todo de los niños residentes de esas zonas.

En el diseño de una estufa solar indirecta se debe contemplar una alta eficiencia en la captación y transferencia de calor, minimizar las pérdidas de calor, uso del correcto material reflejante, características del recipiente y del serpentín metálico. Además, de considerar la resistencia a la intemperie y la durabilidad de los materiales utilizados.

El serpentín metálico es una parte fundamental en una estufa solar indirecta, puesto que es el componente en donde se colocará el recipiente para cocinar los alimentos. La temperatura que pueda obtenerse en el recipiente dependerá de la transferencia de calor del fluido caliente que circula a través del serpentín y la superficie del tubo, y a su vez la existente entre esta superficie con el recipiente de cocción. Elegir correctamente el material, las dimensiones y la geometría del serpentín contribuye a disminuir las pérdidas de calor en la estufa solar.

## 1.3. Justificación

El Sol es una fuente inagotable de energía además de estar libre de carbono, es por ello que el uso de la energía solar térmica resulta bastante benéfico para el desarrollo sustentable. La energía termo solar y fotovoltaica proveniente del sol en la región de Oaxaca y Chiapas resulta tener un alto potencial en energía solar habiendo zonas con una radiación directa mayor a 6 kWh/m<sup>2</sup> por día, puesto que aprovechando esta energía podría disminuir la contaminación por gases de efecto invernadero y demás factores (Acosta Moyado et al, 2022).

Las estufas solares cada vez van teniendo mayor difusión a nivel mundial para sustituir a los sistemas convencionales para la cocción de alimentos, cabe mencionar que específicamente en la región Sureste de México no existen otras alternativas a los recursos derivados del petróleo y tampoco empresas que se dediquen a la construcción de este tipo de sistemas solares, esto trae como consecuencia una dependencia tecnológica, afectando al 67.4% de la población chiapaneca que se encuentra en pobreza extrema según el Coneval (Luna, 2023).

En este proyecto aportará conocimientos de interés en la configuración de un componente primordial de una estufa solar. Con esto se propone la evaluación térmica del serpentín de una estufa solar indirecta para conocer las temperaturas máximas alcanzadas dependiendo su dimensión y geometría. La temperatura ideal para cocinar alimentos varía según el tipo de alimento, pero debe ser superior a 63 °C (Food safety, s.f.).

## **1.4. Objetivos**

### **General**

Evaluar la temperatura obtenida en el serpentín metálico de una estufa solar, dependiendo de sus características, para el aprovechamiento de la energía solar como un medio alternativo y sustentable en la cocción de alimentos.

### **Específico**

1. Realizar mediciones respecto al tiempo que se requiere para hacer llegar el flujo de agua a la zona de uso, además del tiempo en el cual se podrá aprovechar el calor almacenado.
2. Analizar el comportamiento de la temperatura en el serpentín rectangular y en espiral de la estufa solar.
3. Determinar la factibilidad de la implementación del prototipo de estufa solar.

# Capítulo 2: Marco Teórico

En este apartado se establecen los conceptos teóricos que sustentan el desarrollo y el entendimiento de este proyecto. La radiación y las diferentes variaciones en el diseño de estufas solares son conceptos fundamentales para describir el proceso de transformación del recuso solar en energía térmica.

## 2.1. Energía Solar

El Sol es una estrella luminosa que está constituida por elementos en estado gaseoso, el de mayor presencia es el hidrógeno. Las condiciones en las que se generan estos elementos provocan un proceso de fusión nuclear, el cual emite energía en forma de luz y calor, de forma espontánea e ininterrumpida. Esta fuente de energía, responsable de proporcionar la mayor parte de energía necesaria para sustentar la vida en la Tierra, emite continuamente una potencia de 62 600 kilowatts (o kilovatios) por cada metro cuadrado de la superficie. En tan solo en un periodo de tan solo dos días, el planeta recibe una cantidad de energía equivalente a todas las reservas probadas que existen de petróleo, gas y carbón. Esto equivale a cerca de 60 veces el consumo anual de la sociedad humana (Bulnes & Best y Brown, 2010).

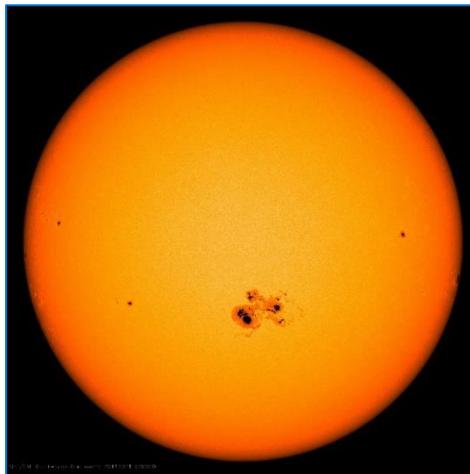
La energía solar emitida por el Sol, que es una fuente de energía renovable con una amplia gama de aplicaciones. Esta radiación electromagnética constituye la principal fuente de luz y calor de la Tierra. Se puede dividir en dos tipos según sea su aprovechamiento (Cruz Carmona, 2014):

- Energía solar térmica: la energía proveniente del Sol se transforma en energía térmica, también llamada calorífica. Los sistemas solares térmicos utilizan colectores solares térmicos para absorber y concentrar el calor solar. Se pueden utilizar para calentar agua para uso doméstico, piscinas y sistemas de calefacción. Además, para la cocina e higiene Personal.
- Energía solar fotovoltaica: La energía solar se transforma en energía eléctrica a partir de paneles fotovoltaicos o paneles solares, la cual puede ser utilizada para alimentar hogares, edificios y dispositivos electrónicos.

## 2.2. Ciclo Solar

La energía producida por el Sol no se emite uniformemente a través de su superficie, sino que sufre variaciones máximas y otras mínimas dentro de un período promedio aproximado de 11 años. Este período en donde se completa el campo magnético del Sol se conoce como el Ciclo Solar. Las erupciones solares y las eyecciones de masa coronal aumentan durante el ciclo solar, lo que puede afectar la tecnología, las comunicaciones y la navegación aérea, y son relevantes para planificar misiones espaciales (Nasa Space Place, 2021).

El Sol es una enorme bola de gas caliente cargada eléctricamente. Este gas con carga eléctrica se mueve, generando un potente campo magnético. El ciclo solar afecta la actividad de la superficie del Sol, como las manchas solares causadas por los campos magnéticos. Las manchas solares, mostradas en la Ilustración 1, son áreas oscuras y más frías en la fotosfera del Sol, e indican el máximo solar, cuando el Sol tiene más actividad. La duración de una mancha solar comprende tan solo unos pocos días o semanas. Cuando desaparece, enseguida otra emerge y toma su lugar (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, s.f.-a).



**Ilustración 1.** Manchas solares.

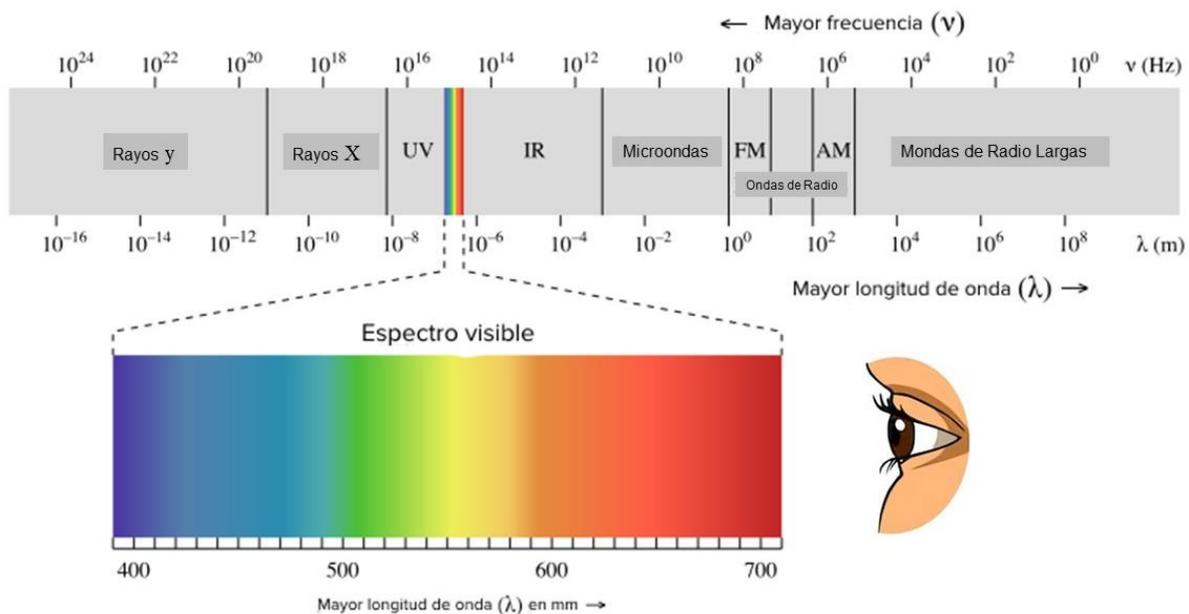
Fuente: Cortesía de NASA/SDO y los grupos científicos AIA, EVE y HMI.

<https://svs.gsfc.nasa.gov/12500/>

## 2.3 Radiación Solar

La radiación solar es la energía que desprende el Sol en forma de ondas electromagnéticas que se propagan en todas las direcciones a través del espacio. La radiación solar se compone de varios tipos de radiaciones:

- Rayos infrarrojos (IR): Proporcionan calor y representan el 49% de la radiación solar.
- Rayos visibles (VI): Representan el 43% y proporcionan luz visible.
- Rayos ultravioletas (UV): Representan el 7% y se subdividen en tres tipos:
  - Ultravioleta A (UVA): Atraviesan fácilmente la atmósfera y llegan a toda la superficie terrestre.
  - Ultravioleta B (UVB): Tienen mayor dificultad para atravesar la atmósfera y llegan con más facilidad a la zona ecuatorial.
  - Ultravioleta C (UVC): No atraviesan la atmósfera y son absorbidos por la capa de ozono.

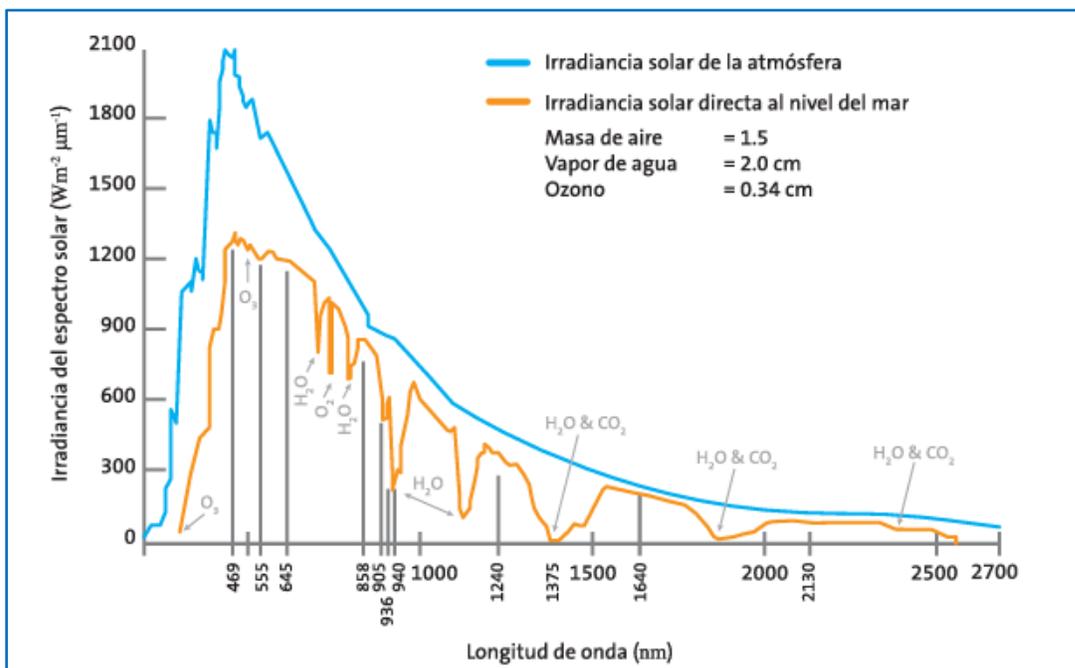


**Ilustración 2.** Zona del espectro electromagnético visible para los humanos.

Fuente: Imagen tomada de *Wikipedia*.

[https://es.wikipedia.org/wiki/Archivo:EM\\_spectrum\\_es.svg](https://es.wikipedia.org/wiki/Archivo:EM_spectrum_es.svg)

La distribución espectral de la radiación solar incide sobre la superficie terrestre en diferentes frecuencias y longitudes de onda, divididos principalmente en tres regiones: infrarrojo (IR), visible y ultravioleta (UV). En la Ilustración 2 se muestra las regiones del espectro electromagnético de la luz (LibreTexts, s.f.). La radiación visible es la que puede percibir la sensibilidad del ojo humano (región entre  $400 \text{ nm} < \lambda < 700 \text{ nm}$ ) que incluye los colores entre los rangos de colores violeta y rojo. La región del UV se encuentra entre los  $100 \text{ nm}$  y los  $400 \text{ nm}$ , que corresponde a altas frecuencias y tienen altas energías que puede resultar dañinos para los organismos vivos. La región de infrarrojos comprende entre los  $700 \text{ nm}$  y  $3000 \text{ nm}$ , la cual no es dañina, pues sus frecuencias son muy bajas.



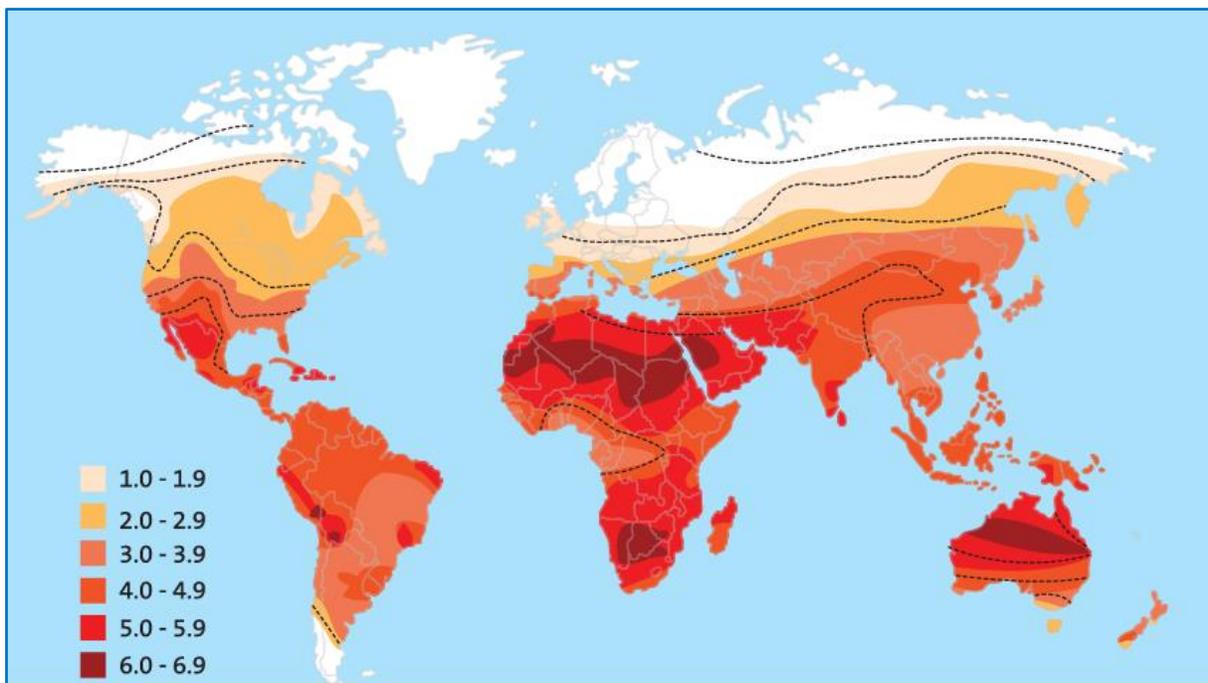
**Ilustración 3.** Espectro solar de la atmósfera y al nivel del mar (García Valladares & Pilatowsky Figueroa, 2017).

La atmósfera de la Tierra constituye un importante filtro que elimina las longitudes de onda inferiores a las  $0.29 \text{ nm}$  por la fuerte absorción del ozono y el oxígeno. Por tanto, la cantidad de irradiación solar a nivel del mar disminuye a diferencia de la irradiancia de la atmósfera, como se observa en la Ilustración 3 (García Valladares & Pilatowsky Figueroa, 2017). Esto beneficia a la población ya que no están expuestos a recibir rayos ultravioletas que pueden resultar dañinos para la salud. La atmósfera es opaca a toda radiación infrarroja de longitud de onda superior a  $24 \text{ nm}$ . La radiación que incide sobre la Tierra abarca, en un 98%, de los  $250 \text{ nm}$  a los  $2500 \text{ nm}$ . A cada región le corresponde una fracción de la energía total incidente distribuida con un 7% al ultravioleta; 47,3% al visible y 45,7% al infrarrojo (Instituto de

Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, s.f.-b). Las ondas en el intervalo de 0,25 m a 4,0 m se denominan espectro de onda corta, que tiene aplicaciones en el área de celdas solares.

La radiación solar global puede expresarse como irradiancia e irradiación. El primer término se refiere a la medida instantánea por unidad de área, representada en unidades de potencia ( $\text{W}/\text{m}^2$ ), y la irradiación es la cantidad integrada en un periodo de tiempo dada en unidades de energía ( $\text{MJ}/\text{m}^2$  o  $\text{KWh}/\text{m}^2$ ). La Tierra recibe la irradiancia de  $1,360.8 \pm 0.5 \text{ W}/\text{m}^2$ , que corresponde a la constante solar (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, s.f.-c). A lo largo del año, la radiación puede cambiar debido a la trayectoria elíptica de la órbita terrestre alrededor del Sol, también depende de factores como la latitud, la altitud, la estación, la hora del día y las condiciones meteorológicas.

La radiación solar global es la suma de la radiación directa y la radiación difusa. La primera es aquella que no sufre cambios de dirección o sea llega directamente del Sol, mientras que la radiación difusa es aquella recibida desde cualquier dirección después de haber pasado un proceso de difusión por partículas atmosféricas y nubes. La radiación solar es importante para la vida en la Tierra, ya que es la fuente de energía que permite la fotosíntesis en las plantas y el calentamiento de la atmósfera. En la Ilustración 4 se observa la radiación solar promedio diaria recibida en todos los continentes



**Ilustración 4.** Radiación solar promedio diaria (García Valladares & Pilatowsky Figueroa, 2017)

Respecto a México, la radiación solar en este país varía según la ubicación, el clima y el tiempo. México se encuentra entre 15° y 35° de latitud, que lo hace una región favorecida en recursos solares, recibiendo diariamente en promedio una irradiación solar de 5.5 KWh/m<sup>2</sup> (Limón Portillo, 2017). En este país se tiene en promedio 11 horas luz en invierno y de casi 13 horas en verano, que lo convierte en un país con mayor irradiación en el mundo. La zona norte del país es considerada como una de las más soleadas del planeta. En la Ilustración 5 se muestra la radiación solar diaria promedio anual en México presentando un periodo hasta el 2022.

La intensidad de la radiación está sujeta a la zona horaria y a la época del año en cuestión. La altura del Sol influye en la incidencia de los rayos solares sobre la superficie de la tierra, cuando el Sol se encuentra a mayor altura, como en el mes de junio, la irradiación solar es mayor.



**Ilustración 5.** Mapa de valores de radiación directa normal para México.  
 Fuente: Global Wind Atlas (<https://globalsolaratlas.info/map>)

## 2.4. Transferencia de Calor

Teniendo en cuenta que los sistemas solares pueden transformar la energía solar en energía térmica (llamada también energía calórica o calorífica), es importante definir ciertos conceptos sobre la transferencia de calor que puede ocurrir entre dos cuerpos.

El calor se define como la energía cinética total de todos los átomos o moléculas que forman a un material. Mientras que la temperatura es la medida de esta energía cinética promedio. Cuando un material está expuesto a calor, sus átomos o moléculas se mueven más rápido y su temperatura se eleva.

La transferencia de calor es un proceso físico que consiste en el intercambio de energía, en forma de calor, entre cuerpos materiales a diferentes temperaturas, perteneciendo estos a un mismo sistema (Cengel, 2017). Durante este proceso también se puede predecir la rapidez con la que, bajo ciertas condiciones específicas, tendrá lugar esa transferencia de calor. Cuando dos cuerpos están en contacto entre sí, se produce el traspaso o la propagación de calor desde el cuerpo de mayor temperatura al de menor temperatura. Mediante un análisis termodinámico se puede determinar la cantidad de calor que produce un sistema, desde un estado de equilibrio a otro. El calor puede transferirse mediante tres mecanismos físicos, por conducción, convección y radiación, hasta que ambos medios alcanzan la misma temperatura. En la Ilustración 6 se muestra un ejemplo cotidiano donde se presenta estos tres mecanismos.

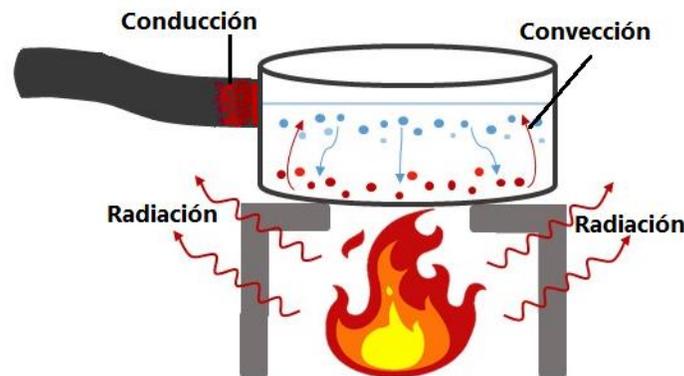
### 2.4.1 Conducción

En este proceso, el calor fluye de un medio con mayor temperatura hacia otro de menor temperatura cuando están en contacto físico directo. Esto se produce por el movimiento cinético o el impacto directo de las moléculas, como en el caso de fluidos en reposo o por el arrastre de los electrones (en los metales). La transferencia de calor puede darse en sólidos, líquidos o gases.

Algunos sólidos pueden considerarse como conductores eléctricos, los cuales tienen un gran número de electrones libres que se mueven alrededor de una estructura cristalina. Por esta razón los materiales que son buenos conductores de electricidad son generalmente buenos conductores de calor. Los metales se consideran como buenos conductores de calor. Mientras que el aire es considerado un aislante, es decir no conduce el calor entre medios. Independientemente del mecanismo exacto, el efecto observable de la conducción de calor es un equilibrio de temperaturas.

## 2.4.2 Convección

La convección es un proceso de transporte de energía por acción combinada de conducción de calor, almacenamiento de energía y movimiento de mezcla. Cuando un fluido (líquido o gaseoso) en movimiento pasa sobre un cuerpo sólido o fluye dentro de un canal, y si las temperaturas del fluido y del sólido o del canal son diferentes, habrá transferencia de calor entre el fluido y la superficie sólida debido al movimiento relativo entre el fluido y la superficie. Esta transferencia puede darse por movimiento de masa o circulación dentro de un medio, de manera natural (por el cambio de densidad de la materia) o forzada (cuando la materia es obligada a moverse de un lugar a otro por un agente externo).



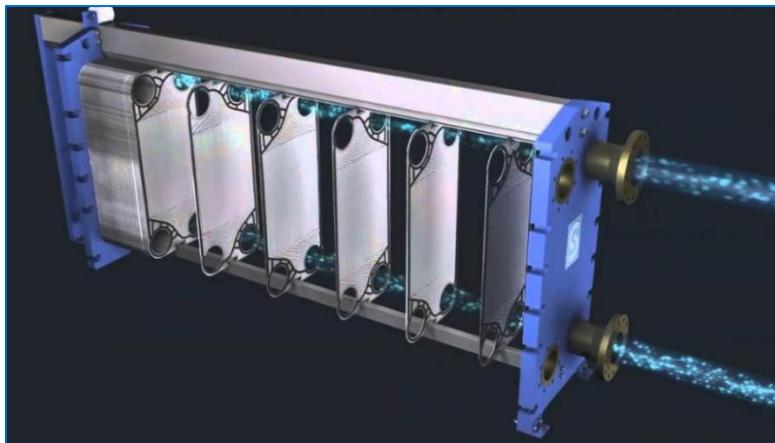
**Ilustración 6.** Diagrama de los mecanismos de la transferencia de calor (elaboración propia).

## 2.4.3 Radiación

La transmisión de calor por radiación térmica ocurre cuando un cuerpo, que se encuentra a cierta temperatura, emite energía en forma de ondas electromagnéticas a otro, que va desde el rango ultravioleta, visible e infrarrojo. Esta transferencia de energía ocurre en los sólidos, líquidos y gases, desde la fuente de energía hacia afuera en todas las direcciones. Los cambios en las configuraciones electrónicas de los átomos o moléculas de un material pueden producir este tipo de radiación. A diferencia de la conducción y la convección, la radiación térmica no requiere de un medio para propagarse, es decir la transferencia de energía por radiación es mejor en el vacío. La luz del Sol, las emisiones de un horno de microondas, las lámparas incandescentes o el fuego son ejemplos de transferencia de calor por radiación, las cuales son usadas para calentar alimentos.

## 2.5 Intercambiador de Calor

Un intercambiador de calor es un dispositivo diseñado para transferir calor entre dos o más fluidos (líquidos, gases o sólidos) que están a diferentes temperaturas y en contacto a través de una pared separadora, o que están mezclados (Cengel, 2017). Los intercambiadores de calor se utilizan comúnmente en aplicaciones de ingeniería para la calefacción y refrigeración en procesos industriales, sistemas de climatización, motores y en la generación de energía. Dependiendo de la trayectoria del fluido, la forma en que el calor es transferido, el número de fluidos involucrados, etc., se han propuestos diferentes diseños de intercambiadores de calor.



**Ilustración 7.** Intercambiador de calor de placas.

Fuente: <https://t-solucionaria.com/funcionamiento-del-intercambiador-de-calor-a-placas/>

Los intercambiadores de placa están constituidos por placas metálicas con una cámara de aire entre ellas para transferir calor entre dos fluidos (ver Ilustración 7). El espacio crea conductos por los cuales pueden fluir ambos fluidos, intercambiando calor entre placas. El número de placas dependerá de la capacidad de calor (kW) deseado. Aunque este diseño no puede soportar altas presiones ni temperaturas, tiene varias ventajas sobre los intercambiadores de calor convencionales, como:

- Alta eficiencia de transferencia de calor: Las placas corrugadas producen turbulencias que mejoran la transferencia de calor.
- Compactos y ligeros: Debido a su diseño eficiente, ocupan menos espacio y son más fáciles de instalar y mantener.
- Fácil limpieza y mantenimiento: Las placas pueden desmontarse para limpiarlas.

- Flexibilidad: Se pueden agregar o quitar placas para ajustar la capacidad del intercambiador.

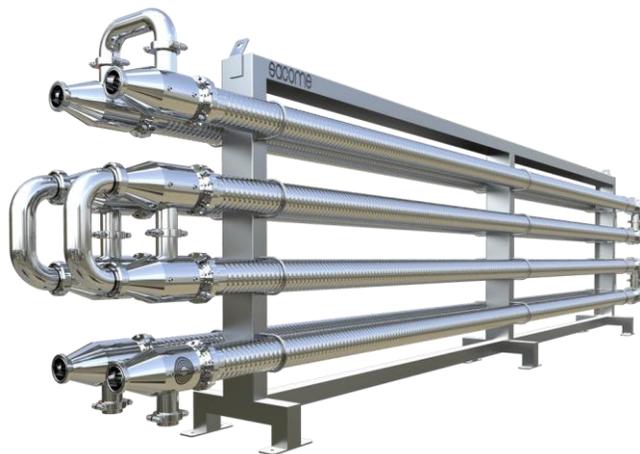
Son especialmente útiles en industrias donde se requiere una transferencia de calor eficiente en un espacio limitado.

Los intercambiadores de calor de tubos, también conocidos como intercambiadores de calor tubulares, son un tipo de intercambiador de calor que utiliza tubos para transferir calor entre dos fluidos, como se observa en la Ilustración 8. Generalmente están contruidos por tubos circulares, elípticos, rectangulares, redondos y planas. El diseño de estos intercambiadores puede considerar diferente geometría cambiando el diámetro, posición y longitud del tubo.

Algunas de sus ventajas incluyen:

- Robustez: Son adecuados para condiciones de alta presión y temperatura.
- Versatilidad: Pueden ser utilizados con una amplia variedad de fluidos.
- Facilidad de inspección: Es posible inspeccionar los tubos individualmente.

Son comunes en la industria petroquímica y en procesos que requieren el manejo de fluidos corrosivos o a altas temperaturas.



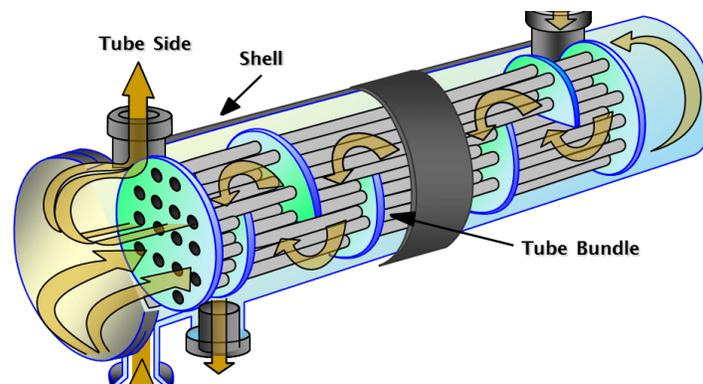
**Ilustración 8.** Intercambiador de calor de tubos.

Fuente: <https://www.sacome.com/calculo-termico-intercambiadores-tubulares/>

En la Ilustración 9 se observa un intercambiador de calor de carcasa y tubos que consiste en un conjunto de tubos cilíndricos dentro de una carcasa cilíndrica más grande, con el eje de los tubos paralelos al eje de la carcasa. El fluido caliente pasa por los tubos mientras el fluido frío fluye por la carcasa alrededor de los tubos. Algunas ventajas son:

- Gran capacidad de transferencia de calor: Adecuados para grandes volúmenes de fluidos.
- Resistencia a altas presiones: Pueden manejar diferencias significativas de presión entre los dos fluidos.
- Facilidad de mantenimiento: Los tubos pueden limpiarse o reemplazarse sin necesidad de desmontar todo el intercambiador.

Este diseño es construido para evitar fugas, por facilidad de limpieza, y para controlar más fácilmente la corrosión. Son ampliamente utilizados en la industria química, petroquímica y en plantas de energía.



**Ilustración 9.** Intercambiador de calor de carcasa y tubos.

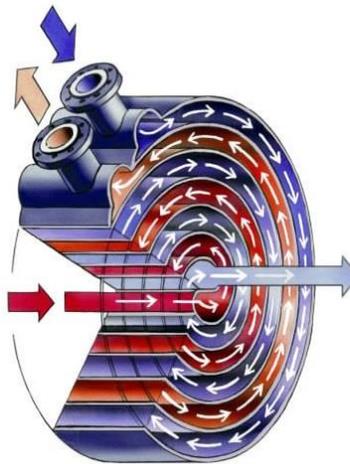
Fuente: <https://www.sacome.com/calculo-termico-intercambiadores-tubulares/>

Por otro lado, existe el intercambiador de calor tipo tubo espiral, mostrado en la Ilustración 10, que utiliza tubos en forma de espiral colocadas dentro de un depósito para facilitar la transferencia de calor. Algunas ventajas incluyen:

- Eficiencia en la transferencia de calor: La forma espiral crea un flujo turbulento que mejora la transferencia de calor.
- Compactos: Su diseño permite una gran superficie de transferencia de calor en un espacio reducido.

- Menos propensos a la obstrucción: La forma espiral permite que los sólidos pasen más fácilmente sin obstruir el intercambiador.

La geometría en espiral de este intercambiador permite una mayor tasa de transferencia de calor en comparación a la de un tubo recto. La desventaja de este intercambiador es la limpieza de este. Son útiles en aplicaciones donde los fluidos contienen sólidos o partículas que podrían bloquear otros tipos de intercambiadores.



**Ilustración 10.** Intercambiador de calor de tubos espiral.  
Fuente: <https://promac.com.co/intercambiadores-de-calor/>

En un intercambiador de calor de tubo espiral, uno de los fluidos fluye por el interior del tubo espiral mientras que el otro fluye por el espacio entre el tubo espiral y la carcasa exterior. La transferencia de calor ocurre principalmente por conducción a través del material del tubo y por convección entre el tubo y los fluidos.

Esta geometría es de principal interés pues uno de los objetivos de este trabajo de tesis es monitorear la temperatura alcanzada en un serpentín fabricado por un tubo recto y otro en espiral. En principio, la forma espiral del tubo crea un flujo turbulento que mejora la eficiencia de la transferencia de calor al aumentar la agitación del fluido y, por lo tanto, el coeficiente de transferencia de calor (Ardila Marín & Hincapié Zuluaga, 2012). Esto significa que más calor puede ser transferido en un período de tiempo dado en comparación con un flujo laminar en un tubo recto. Además, la forma espiral permite un camino más largo

para el fluido, lo que aumenta el tiempo de contacto entre los fluidos y las superficies de transferencia de calor, mejorando aún más la eficiencia.

## 2.6 Estufas Solares

Una estufa solar es un dispositivo que capta la energía solar y la transforma en energía térmica para alcanzar una temperatura que sea útil para calentar o cocinar alimentos. Son una alternativa ecológica y económica a las estufas eléctricas, de leña y de gas (Arunachala & Kundapur, 2020).

La primera estufa solar se remonta a 1767, cuando el naturalista suizo Horace de Saussure diseñó el primer colector plano para aprovechar el calor solar. Experimentó con cajas negras con tapa de vidrio expuestas al sol, creando un efecto invernadero, y descubrió que la temperatura dentro de las cajas podía aumentar hasta más de 85 °C, lo suficiente para cocer fruta. Más tarde, en 1860, el profesor francés Auguste Mouchot desarrolló un horno solar más eficiente utilizando espejos parabólicos, capaz de alcanzar temperaturas de hasta 120 °C. Por otro lado, en Bombay, India en 1878, el inglés William Adams llevó a cabo experimentos sobre cocinas solares utilizando espejos de vidrio plano colocados en forma de pirámide de ocho lados invertida, permitiendo que la luz se centrara a través de una campana de vidrio cilíndrica hasta incidir en el lugar donde se situaban los alimentos. Estos desarrollos fueron fundamentales para el avance de la tecnología solar y su aplicación práctica en la cocina.

Las cocinas solares tienen varias aplicaciones modernas, especialmente en áreas donde la energía solar es abundante y otras fuentes de energía son escasas o costosas. Algunas aplicaciones incluyen:

- Áreas rurales y remotas: Donde el acceso a la electricidad o combustibles fósiles es limitado.
- Camping y actividades al aire libre: Donde se busca una alternativa ecológica y práctica para cocinar.
- Educación y concienciación ambiental: Como herramienta para enseñar sobre energías renovables y sostenibilidad.
- Programas de ayuda humanitaria: Para proporcionar una forma de cocinar segura y económica en situaciones de emergencia o en campos de refugiados.
- Investigación y desarrollo: Para mejorar la eficiencia de las tecnologías de cocina solar y su integración en sistemas de energía más amplios.

Las cocinas solares son valoradas por su capacidad de reducir la dependencia de combustibles fósiles, disminuir la emisión de gases contaminantes y proporcionar una solución sostenible para la preparación de alimentos.

El diseño y la construcción de una estufa solar considera diferentes factores como el material, la geometría del captador, el rendimiento deseado, etc. A continuación, se enlistan algunos aspectos generales de una estufa solar.

- Facilidad técnica de construcción
- Empleo de materiales comercialmente existentes
- Alta potencia de cocción
- Viabilidad económica

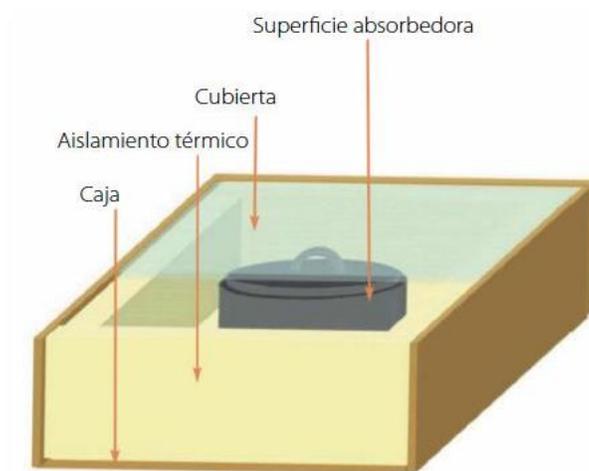
El desarrollo de prototipos de estufas solares ha sido muy variado. En muchas regiones del mundo se han construido y experimentado al punto de llegar a su fabricación en serie. Existen diseños de estufas solares que cumplen un objetivo o satisfacen una necesidad en particular, y los hay desde los más novedosos, hasta los más sencillos y económicos.

Los diseños más comunes de estufas solares, de acuerdo con su forma de captar la radiación solar y transformarla en energía térmica, se describen a continuación. La potencia de las estufas solares depende de la calidad de los materiales, las condiciones climatológicas, el diseño apropiado y la colocación correcta (Aramesh et al, 2019).

### **2.6.1. Tipo Caja**

Esta estufa solar está constituida por una caja térmicamente aislada, en donde los rayos del sol inciden a través de un material transparente como el cristal o el plástico, como se observa en la Ilustración 11. Esta configuración permite absorber la mayor cantidad de energía solar y mantener el calor en su interior (Misra et al, 2023). La luz pasa fácilmente a través del cristal e incide sobre los materiales que se encuentran en su interior, la olla y las paredes. Normalmente, el recipiente está pintado de color negro con el objetivo de que sea absorbente, ayudando a captar y mantener mayor radiación. Las paredes que normalmente están forrada de un material reflejante funcionan como reflectores la de radiación solar. El aumento de

temperatura en el interior de la estufa solar tipo caja provoca que la energía absorbida por los metales se transforme en energía calorífica y sea almacenada en ella por efecto invernadero. En estos diseños es posible que ocurra pérdida de calor, lo cual hace que estas cocinas sean difíciles de operar en horas sin Sol y en condiciones de viento, además de requerir varias horas de cocción. No pueden generar altas temperaturas y por lo tanto no se pueden utilizar para freír ni asar (Misra et al, 2023).



**Ilustración 11.** Diagrama de una estufa de caja.

### 2.6.2. Tipo parabólico

Una estufa solar tipo parabólico es un dispositivo que utiliza una superficie reflectora en forma de un paraboloide de revolución que concentra la energía solar en un punto donde se coloca la olla o el recipiente de cocción, generando la temperatura necesaria para la cocción de los alimentos. En general, una estufa solar parabólica consta de tres partes principales: una parrilla o soporte para el recipiente de cocción, un concentrador parabólico y una estructura soporte del sistema, como se observa en la Ilustración 12 (Gastronomía Solar, s.f.). El concentrador parabólico es la parte metálica encargada de concentrar la energía solar incidente sobre la superficie reflectora y que se refleja sobre el punto en donde se ubica el recipiente con los alimentos. El interior de este concentrador está fabricado con material de alto poder reflexivo, resistente a la intemperie y fácil de limpiar. El principio de funcionamiento de este tipo de estufa solar se basa en la concentración de los rayos solares en un punto determinado, llamado foco de la parábola. La reunión de los rayos en un punto focal producirá una temperatura alta en esa región.

Por tanto, la estufa solar parabólica es capaz de generar altas temperaturas, lo que lo convierte en una alternativa ecológica y económica para freír, hornear, hervir y asar alimentos. En las cocinas parabólicas la temperatura se alcanza entre 350 °C y 400 °C, por lo que la cocción se puede lograr en un corto período. Sin embargo, la principal desventaja de las cocinas de concentración es su costo, tamaño y riesgo de incendio y quemaduras. Para optimizar estos sistemas parabólicos se han incluido a su configuración un seguimiento continuo del Sol. Algunos modelos son plegables y fáciles de transportar, ideales para camping o uso temporal.



**Ilustración 12.** Diagrama de una estufa parabólica.

Fuente: Gastronomía solar diseñada por Dieter Seifert, Alemania (Gastronomía Solar, s.f.).

Otro prototipo solar ha utilizado un tipo particular de lente llamada lente Fresnel, ya que puede concentrar la luz solar con precisión en un área enfocada y puede estar hecha de plástico, lo que soporta el desgaste durante períodos prolongados contra los rayos UV y las abrasiones (Valmiki et al, 2011). El inconveniente de esta cocina solar, al igual que el tipo caja, recae en que el usuario debe estar expuesto a la radiación solar para monitorear el proceso de cocción o retirar el alimento cocinado, como se observa en la Ilustración 13. Además, solo generan calor mientras exista radiación solar, es decir durante días soleados.



**Ilustración 13.** Estufa solar con lente de Fresnel demostrada en el National Mall de Washington, DC, EE.UU (Valmiki et al, 2011)

Una variante de la geometría del concentrador parabólico es el diseño constituido por un material reflejante en forma cilíndrico parabólico, el cual concentra la radiación solar a lo largo del eje focal de la parábola. Como colector de dicha radiación, se emplea un tubo de vidrio que en su interior tiene un material absorbente capaz de transformar la energía solar en energía térmica. Este tubo colector es colocado en la distancia focal de la parábola para obtener una máxima temperatura. Los alimentos son cocinados dentro del tubo. En la Ilustración 14 se muestra una estufa solar diseñada y construida por estudiantes del Instituto de Investigación e Innovación en Energías Renovables (IIER) que tiene un concentrador reflejante con geometría cilíndrica parabólica y un colector de tubo de vacío usado en calentadores solares de agua (Toledo et al, 2022).



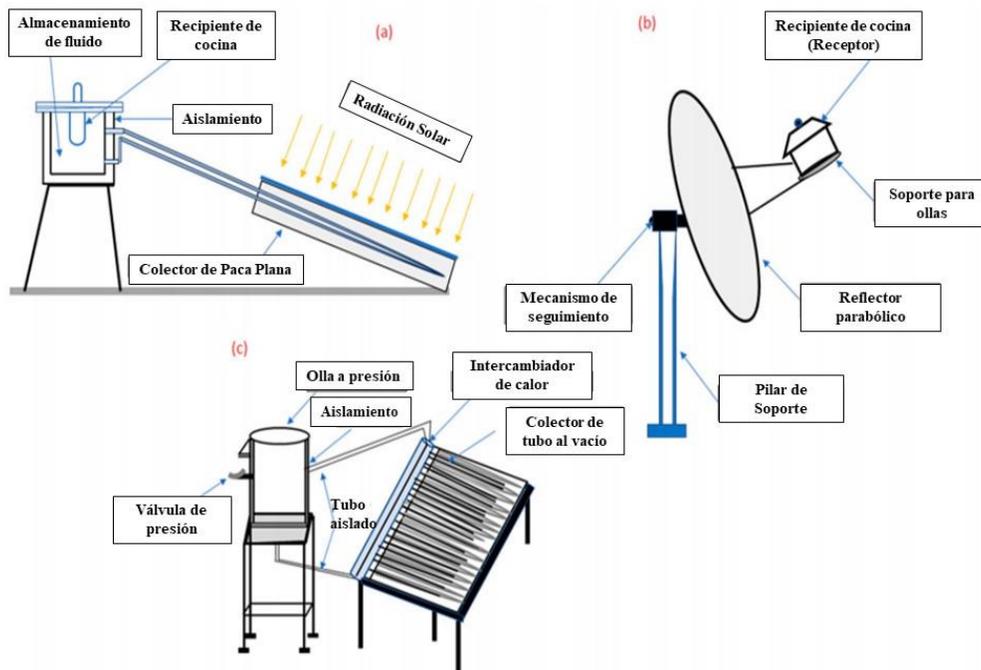
**Ilustración 14.** Estufa solar cilíndrico-parabólica (Toledo et al, 2022).

### **2.6.3 Estufas Solares Indirectas**

La energía solar se puede utilizar eficientemente durante el día cuando la cantidad de rayos solares está disponible, pero existe una limitación en su uso durante la cocción al final de la tarde. Las estufas solares tipo caja o parabólico tienen la limitante de no poseer un sistema de almacenamiento térmico lo cual impide su funcionamiento para cocinar durante los períodos sin Sol. Otro punto para considerar en el diseño de un sistema solar térmico es poder utilizarlo en el exterior, bajo el sol directo, como en el interior, con la ayuda de métodos de cocción indirectos.

Las estufas solares de cocción directa dirigen los rayos solares directamente en el área receptora donde se encuentra la olla o recipiente; mientras que en una estufa solar indirecta se emplea un fluido transitorio que transporta calor desde el colector a la unidad de cocción.

Las estufas solares indirectas utilizan el calor térmico de un fluido (caloportador), como aceites térmicos y sales fundidas, que proviene del punto focal del reflector. Luego, este calor se transporta a recipientes de cocción para cocinar. En este diseño, las secciones de recolección de calor y cocción están separadas. La unidad de captación de calor se coloca en el exterior o en el techo, mientras que la unidad de cocción se encuentra en el interior del hogar o en la cocina. Para la recolección de calor se utilizan varios tipos de colectores, como los de placa plana o los colectores cilindro-parabólicos, como se presenta en la Ilustración 15.



**Ilustración 15.** Estufas solares indirectas: a) Colector de placa plana; (b) Colector parabólico; (c) Colector de tubo de vacío. Fuente: Misra et al, 2023

La ventaja de este diseño es que la unidad de cocción se coloca en el interior del hogar, por lo que los alimentos permanecen higiénicos y libres de suciedad y contaminación. Estas estufas pueden funcionar en rangos de temperatura intermedia a alta, adecuados para freír carne y cocinar verduras. Sin embargo, la principal desventaja es la pérdida de calor del fluido de transferencia térmica mientras transporta calor desde la unidad de recolección a la unidad de cocción. La construcción de estas cocinas puede resultar costosa y difícil de operar y mantener.

## 2.7. Sistemas Solares para Calentamiento de Agua (SSCA)

Los sistemas solares para calentamiento de agua, como alternativa para sustituir los calentadores de agua tradicionales (eléctricos o de gas), son dispositivos que aprovechan la energía solar para calentar agua para usos como la calefacción de ambientes o para consumo doméstico en una vivienda típica. También tiene aplicaciones para uso comercial o industrial. Los SSCA constan de un colector solar que absorben la radiación solar y transfieren el calor al agua que está circulando en las tuberías. El agua caliente es almacenada en un depósito (termotanque) para su uso posterior. Dependiendo de las condiciones externas algunos sistemas solares de calentamiento de agua requieren adicionalmente de una bomba. Estos sistemas funcionan bajo el principio de circulación forzada.

La configuración de un sistema solar para calentamiento de algún líquido depende del tipo de sistema que se esté utilizando. En la Ilustración 16(a) se muestra el diagrama de un sistema solar que consta de los siguientes componentes:

- 1. Colector solar:** Es el componente que absorbe la radiación solar y la convierte en calor. Los *colectores solares planos* (ver Ilustración 16(b)) son los más comunes y se utilizan para calentar agua. Estos sistemas consisten en una caja, que puede presentar una cubierta transparente para crear un efecto invernadero y limitar las pérdidas de calor. Dentro de la caja se colocan los conductos (una serie de tubos), ya sea de cobre o metal, revestido de pintura negra absorbente selectiva. Existen modelos que no tienen la cubierta transparente, lo que resulta ser un sistema más económico, pero con menor rendimiento alcanzando temperaturas menores a los 60° C.

Los *colectores de tubos al vacío* consisten en dos tubos de vidrio concéntricos, los cuales están aislados térmicamente por medio de condiciones al vacío (ver Ilustración 17). El tubo exterior es transparente y permite que pasen los rayos solares a través de él con un mínimo de reflexión. El tubo interior está cubierto con una capa especial de material selectivo. Estas condiciones permiten absorber la mayor radiación solar y disminuir las pérdidas térmicas por conducción y convección entre la cubierta de recubrimiento selectivo (absorbedor) y la cubierta de vidrio. Son captadores capaces de alcanzar temperaturas considerablemente superiores a las de los captadores planos. El aislamiento en este caso debe soportar temperaturas por encima de 150 °C.



**Ilustración 16.** Diagrama (a) y fotografía (b) de un sistema solar de calentamiento de agua con colector plana



**Ilustración 17.** Tubo al vacío (a) y sistema de captación solar con tubos (b).

2. **Fluido de trabajo:** El fluido de trabajo es el medio que transporta el calor desde el colector solar hasta el sistema de almacenamiento. El fluido de trabajo puede ser agua, aire o un líquido anticongelante.
3. **Sistema de almacenamiento:** El sistema de almacenamiento es el componente que almacena el calor generado por el colector solar para su uso posterior. El sistema de almacenamiento puede ser un tanque de agua caliente, una batería o un material de cambio de fase.

4. **Sistema de control:** El sistema de control es el componente que regula el flujo de fluido de trabajo y la temperatura del sistema. El sistema de control puede ser manual o automático.
5. **Sistema de distribución:** El sistema de distribución es el componente que distribuye el calor generado por el sistema solar de captación a los puntos de uso. El sistema de distribución puede ser un sistema de tuberías, un ventilador o un sistema de calefacción central.

## 2.8. Conductividad Térmica en un Serpentin de Cobre

Algunos materiales presentan la propiedad física de la conductividad térmica que se refiere a la capacidad para trasladar el calor. En otras palabras, mide la eficiencia con la que un material envía energía térmica a través de él. La conductividad térmica se representa con la letra griega  $\lambda$  (lambda) y se mide en unidades de vatios por metro y por kelvin ( $W/(m \cdot K)$ ) (Ibáñez, 2008).

Cuanto mayor sea la conductividad térmica de un material, mejor será su capacidad para transferir calor. Por ejemplo, los metales como el cobre y el aluminio tienen alta conductividad térmica, lo que los hace excelentes conductores de calor. Por otro lado, los materiales aislantes, como la madera o el poliestireno, tienen baja conductividad térmica y evitan la transferencia de calor. La conductividad térmica es fundamental para comprender cómo los materiales interactúan con el calor y es crucial en aplicaciones como la ingeniería térmica, la construcción y la transferencia de energía en sistemas de calefacción y refrigeración.

El cobre es famoso por su capacidad alta de conductividad térmica y de electricidad debido a su estructura atómica con electrones libres. La conductividad térmica del cobre es de  $413 W/m \cdot K$ . Esto lo hace útil para el diseño de dispositivos y procesos térmicos donde la disipación del calor es crucial, como (Thermal Engineering, s.f.):

- Intercambiadores de calor: Los intercambiadores de calor de cobre se utilizan en sistemas de refrigeración y calefacción debido a su alta eficiencia en la transferencia de calor.
- Componentes electrónicos: Los disipadores de calor de cobre mantienen bajos los niveles de temperatura en CPUs y GPUs, asegurando un funcionamiento óptimo y prolongado.
- Tuberías y radiadores: En sistemas de plomería y automóviles, el cobre se utiliza en tuberías y radiadores debido a su eficiencia en la transferencia de calor y resistencia a la corrosión.

En este trabajo de tesis se diseñó un serpentín de cobre, como un intercambiador de calor, aprovechando su propiedad térmica. Su aplicación en sistemas térmicos ha incrementado el interés por crear diseños de nuevos intercambiadores compactos para incrementar la tasa de transferencia de calor, reducir el tamaño de los intercambiadores de calor y aumentar la efectividad del proceso térmico que se lleva a cabo en esos equipos. La geometría del serpentín puede ser en espiral en forma plana o helicoidal, o en forma de horquilla, como se observa en la Ilustración 18. Un ejemplo de la aplicación de estos serpentines es en sistemas de refrigeración industrial o como componentes de Chillers, que pueden ser alimentados por líquidos refrigerantes, aire o vapor. El principio básico detrás de la operación de un serpentín de cobre es el de transferencia de energía térmica. La energía de la fuente se transfiere al serpentín de cobre, que a su vez se transfiere a la fuente de refrigeración o calentamiento (Borse & Bute, 2018).



**Ilustración 18.** Diferentes geometrías de un serpentín de cobre.

En un intercambiador de calor de serpentín se tiene una fuerza centrífuga debido a que la curvatura del tubo genera un flujo secundario. El paso o ángulo de la hélice influye en la torsión a la que está sujeta el fluido. A causa de la curvatura, la velocidad del fluido que circula por el interior del

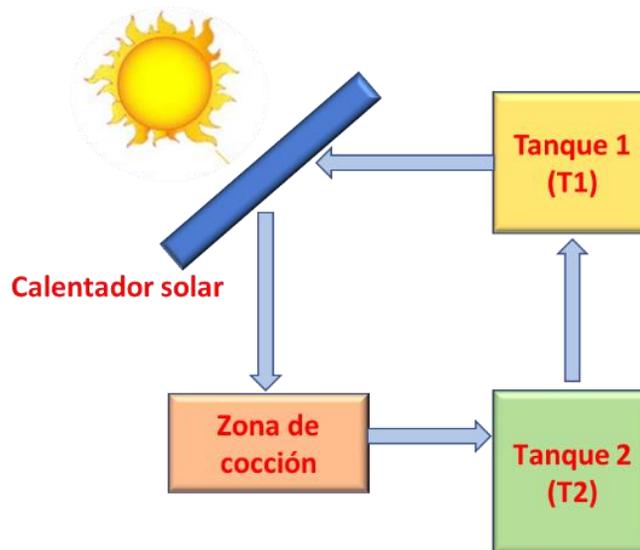
serpentín es mayor en comparación con el fluido que se encuentra por fuera del serpentín. Esta diferencia de velocidad ocasiona la aparición de un flujo secundario el cual aumenta la tasa de transferencia de calor (Borse & Bute, 2018). Un intercambiador de calor en espiral es significativamente mayor que en un intercambiador de tubos rectos debido al patrón de flujo secundario en planos normales a la corriente principal (Ghorbani et al, 2010).

# Capítulo 3: Metodología

En este capítulo se describe la metodología que se utilizó para realizar la investigación sobre el desarrollo de prototipos térmicos. En la primera sección se especifican los elementos necesarios que integran la estufa solar con circulación forzada, la cual usa un serpentín rectangular que se usará como una parrilla para calentar alimentos. En la segunda sección se detalla el diseño de un serpentín en forma espiral plana y el ajuste usando un aislante térmico para mejorar la calidad térmica del dispositivo. Por último, se describen las técnicas e instrumentos que se utilizaron para recolectar y analizar los datos de temperatura.

## 3.1 Diseño Y Construcción De Estufa Solar Con Circulación Forzada

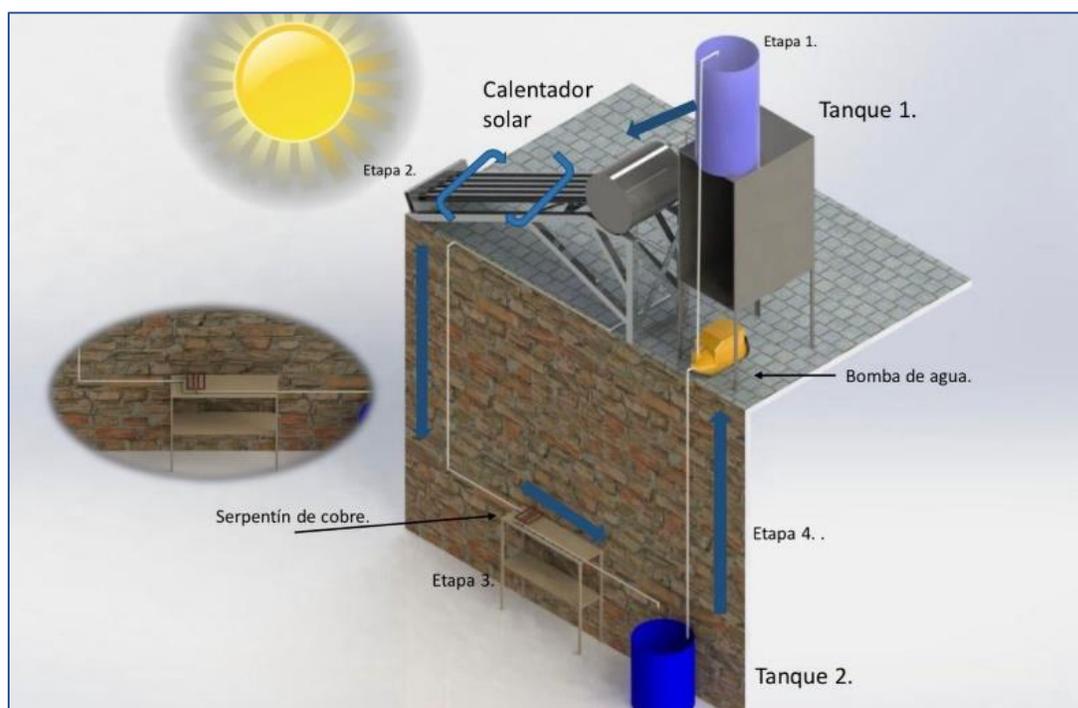
El objetivo de este prototipo solar es elevar la temperatura de un serpentín metálico que servirá como una parrilla para calentar alimentos. Para ello se propuso una estufa solar que está basado en un sistema solar térmico de circulación forzada, como se observa en la Ilustración 19. Los elementos que la conforman son un calentador solar de agua (SSCA), un serpentín metálico (zona de cocción), tanque de almacenamiento de agua (t1 y T2) y un sistema de bombeo de agua.



**Ilustración 19.** Esquema de funcionamiento de estufa solar indirecta con circulación forzada.

El proceso del sistema es el siguiente: Inicialmente, el agua a temperatura ambiente proveniente del Tanque 1 circula hacia un sistema solar de calentamiento de agua. El SSCA transforma la energía solar a energía térmica que servirá para calentar el fluido y luego lo almacena en un termotanque. Posteriormente, el fluido calentado circula hacia la zona de cocción que es un serpentín metálico. Finalmente, el agua se almacena en el Tanque 2. El uso de un SSCA permite almacenar agua caliente para su posterior uso, en horarios nocturnos cuando la radiación solar es nula.

En la Ilustración 20 se presenta el diseño frontal de este prototipo solar elaborado en el software SolidWorks versión 2018. Para la circulación del fluido, en este caso agua, se emplea una bomba de agua que llenará el Tanque 1 con el agua almacenada en el Tanque 2. El SSCA (calentador solar) está constituido por un colector solar de tubos al vacío que calienta el agua y lo almacena en el termotanque. Mediante una llave de paso colocada antes del serpentín se controlará el flujo del agua proveniente del termotanque. La tubería para la circulación de fluido en el sistema este construido por tubos de c-pvc.



**Ilustración 20.** Diseño del prototipo de la estufa solar con circulación forzada.

Para la construcción de la estufa solar indirecta con circulación forzada se requirió el siguiente material:

**3.1.2 Sistema solar de calentamiento del agua:** Este calentador solar (Marca Solaris, Mod. Mini) consta de 5 tubos al vacío y un termotanque, como se observa en la Ilustración 21. Cada tubo al vacío, que tiene una longitud de 180 cm de longitud, está formado por dos tubos concéntricos que juntos crean una cámara de aislamiento térmico y en su interior cuenta con una película delgada de cobre que absorbe la energía solar. El termotanque tiene una capacidad de 60 litros, de baja presión hecho de acero inoxidable, en donde se almacena el agua calentada.



**Ilustración 21.** Calentador solar de calentamiento de agua

**3.1.3 Tanque de almacenamiento de agua (T1 y T2):** Son contenedores de plástico con capacidad de 20 Lt (T1) y 60 Lt (T2), respectivamente. En la Ilustración 22 se muestra cada uno de ellos.



**Ilustración 22.** Contenedores de plástico para T1 y T2.

**3.1.4 Bomba periférica de ½ Hp:** Esta bomba de agua eléctrica AC (Marca Truper Expert, Mod. BOAP-1/2) soporta un caudal máximo de agua de 42L/min. El diámetro de entrada y salida es de 1 pulgada. Para ajustar el sistema hidráulico hecho de C-PVC se usó un reductor de 1 a ½ pulgada. Ver Ilustración 23.



**Ilustración 23** Bomba eléctrica de agua con tubería de C-PVC

**3.1.5 Serpentín de cobre:** Un tubo de cobre de longitud 0.94 metros con diámetro de ½ pulgada moldeada como se muestra en la Ilustración 24 para lograr el serpentín.



**Ilustración 24.** Serpentín de cobre moldeado en forma rectangular.

**3.1.6 Sistema hidráulico:** Para conectar cada componente de este sistema se usaron tubos de C-PVC de diámetro de  $\frac{1}{2}$  pulgada de alta resistencia a la corrosión (ver Ilustración 25). Estos tubos son usados para el paso del fluido de agua fría o caliente, brindan un ajuste preciso sin fugas y presentan gran resistencia a las fracturas por impacto. El corte de los tubos de C-PVC se realizaron en el taller de prototipos del IIIER.



**Ilustración 25.** Tubos de C-PVC

La construcción e instalación del sistema se llevó a cabo a un costado de la plataforma de prototipos del IIER ubicado en la zona norte de la ciudad de Tuxtla Gutiérrez, Chiapas. En la ilustración 26 se muestra una fotografía del prototipo construido.

Al activar el sistema, el agua caliente proveniente del termotanque del SSCA circula por una tubería de CPVC hasta llegar al serpentín de cobre. Este a su vez, transfiere calor hacia un comal delgado de grado alimenticio que servirá para calentar los alimentos. Posteriormente, el líquido circula hacia un Tanque 2 que funciona como almacenamiento. Con la ayuda de una bomba de agua se hace recircular el líquido hacia el Tanque 1, el cual está posicionado a una mayor altura que el calentador solar para aprovechar la gravedad y así continuar con el circuito de circulación. El tiempo de llenado del Tanque 1 usando la bomba de agua es de 1:52 minutos.

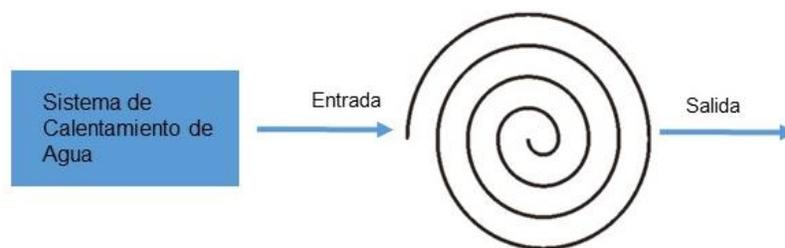


**Ilustración 26.** Prototipo experimental de la estufa solar indirecta con circulación forzada.

Es importante resaltar, que este sistema permite que el usuario no este expuesto a la radiación solar durante la cocción de los alimentos, ya que como se observa en la Ilustración 26, el serpentín se encuentra posicionado en un área techada. Mediante la circulación constante de agua caliente a través del serpentín se logró obtener una temperatura capaz de calentar alimentos.

### 3.2 Diseño Y Construcción De Serpentín Espiral Plano

Con el fin de mejorar el sistema anterior, se propuso modificar la forma y las dimensiones del serpentín. Para esto, se diseñó un serpentín con geometría de un espiral plano, como se observa en la Ilustración 27.



**Ilustración 27.** Diagrama del sistema con el serpentín de cobre en forma de espiral plano.

Para la construcción del serpentín se utilizó un tramo de tubo de cobre flexible de  $\frac{1}{4}$  pulgada de diámetro y de longitud de 2.55 metros. La tubería enrollada en forma de espiral plano tiene un diámetro exterior de 20 centímetros. En la Ilustración 28 se señalan los diámetros del serpentín. Se observa que en la salida (del diámetro exterior) se acopló una llave de paso para controlar el flujo del agua. La entrada del agua es por el extremo que se encuentra en el centro de la espiral.

Es importante mencionar que en este caso se usó un sistema de calentamiento de agua eléctrico, ya que las condiciones climáticas no permitieron utilizar un calentador solar. Sin embargo, para efectos de la prueba, solo fue necesario pasar agua caliente a través del serpentín para evaluar las temperaturas alcanzadas en su superficie y analizar la capacidad de conservar el calor generado.



**Ilustración 28.** Construcción de la espiral de cobre en forma de espiral.

Luego de monitorear la temperatura del serpentín al hacerle pasar agua caliente en su interior, se agregó un material térmico al serpentín con el objetivo de disminuir la pérdida de calor. En la Ilustración 29 se muestra un bloque hecho de espuma de poliuretano, el cual funge como un aislante térmico. Esta base aislante tiene un área de  $24 \text{ cm}^2$  y una altura de 7.5 cm.



**Ilustración 29.** Base de aislante térmico.

Para ajustar el serpentín con la base aislante, se ranuró el aislante térmico en forma de espiral plano y en el centro se hizo una perforación para introducir la salida del serpentín (ver Ilustración 30).



**Ilustración 30.** Ajuste de aislante térmico al serpentín de cobre.

### 3.3 Evaluación Térmica De Los Prototipos

Después de construir el sistema solar térmico se procedió a realizar la primera evaluación térmica del serpentín rectangular. Para esto se midió la temperatura alcanzada del agua en la salida del calentador solar, así como la temperatura del serpentín del cobre mientras el agua caliente circula a través de ella. La prueba se llevó a cabo el día 29 de septiembre de 2022 y se discutirán en el capítulo Resultados y Discusiones.

Para llevar a cabo la segunda prueba, se modificó el sistema cambiando el serpentín en forma de espiral. Se monitoreó la temperatura en el serpentín para conocer la distribución de calor en su superficie, en las siguientes condiciones: a) agua caliente en su interior sin circulación, b) con circulación del agua caliente, c) serpentín con aislante térmico con circulación de agua. Como el objetivo es analizar la capacidad térmica del serpentín, se procedió a simular el agua caliente proveniente del termotanque por agua

calentada en una parrilla eléctrica. Para este caso se obtuvo una temperatura de alrededor de los 75 °C. Considerando que un calentador solar es capaz de alcanzar esta temperatura, se puede decir que las pruebas se asemejan a condiciones reales, los resultados se discutirán en el siguiente apartado.

A continuación, se describe los equipos de medición de temperatura usados en este trabajo de tesis.

- **Termómetro digital de Contacto/Inmersión TE-1300:** Este dispositivo es utilizado para medir la temperatura de sólidos y líquidos (ver Ilustración 31), que cuenta con un sensor termocupla tipo K con un rango de medición de -50 °C a 1300 °C (-50 °F a 1999 °F).



**Ilustración 31.** Termómetro Digital de Contacto/Inmersión

- **Dispositivo de medición de temperatura y voltaje:** Es un módulo de alta velocidad que se utiliza para medir temperatura y voltaje alimentado por USB (modelo USB-TEMP-AI). Es manufacturado por Measurement Computing (ver Ilustración 32). Cuenta con 4 entradas de temperatura diferenciales que soporta cuatro tipos de sensores: termopares, sensor de temperatura resistivos, termistores y sensores semiconductores de temperatura. Además, tiene 4 entradas de voltaje en rangos de voltaje:  $\pm 10$  V,  $\pm 5$  V,  $\pm 2.5$  V,  $\pm 1.25$  V (Digilent, s.f.). El dispositivo cuenta con un software DAQami que consiste en una aplicación de registro de datos, visualización y generación de señales. Los datos se pueden ver en tiempo real o después de la adquisición en pantallas configurables por el usuario. En este trabajo, este sensor se utilizó para monitorear la lectura de temperatura en tiempo real durante las pruebas.



**Ilustración 32.** Dispositivo de medición de temperatura (USB-TEMP-AI)

- **Cámara termográfica o cámara infrarroja:** esta cámara modelo FLIR E60 tiene un alto rendimiento que se utiliza para detectar y medir la temperatura de objetos y materiales. La cámara tiene una pantalla táctil de 3.5" con resolución de 320 x 240 píxeles y una sensibilidad térmica de  $<0.05^{\circ}\text{C}$  (ver Ilustración 33). El software de la cámara permite acceder a las herramientas de medición de temperatura, modos de imagen y almacenamiento de imágenes. La cámara también cuenta con una lámpara LED incorporada que garantiza imágenes visuales de calidad, independientemente de los niveles de iluminación del lugar de trabajo. La cámara termográfica FLIR E60 es una herramienta útil para la detección de problemas en sistemas eléctricos, mecánicos y de construcción, así como para la inspección de edificios y la detección de fugas de energía. Como resultado de la edición muestra en la pantalla una imagen de la radiación calorífica de un cuerpo (Teledyne Flir, s.f.).



**Ilustración 33.** Cámara termográfica modelo FLIR E60

# Capítulo 4: Resultados y discusiones

En este capítulo se presentan, analizan e interpretan los resultados obtenidos de la evaluación térmica de prototipo solar térmico usando un serpentín en forma rectangular y uno en espiral plano. En la primera sección se reportan las temperaturas logradas del agua en la salida del sistema solar con el serpentín rectangular, mientras que en la segunda sección se presenta la temperatura en tiempo real empleando un serpentín en forma de espiral plano con y sin aislante térmico.

## 4.1 Evaluación Térmica Del Serpentín Rectangular

La primera evaluación del sistema solar térmico consistió en monitorear y comparar la temperatura del agua en la entrada y salida del serpentín usando el termómetro digital. Las pruebas de operación de este sistema están en fase inicial. Las primeras mediciones se realizaron en condiciones de nubosidad, debido a la temporada de tormentas tropicales y huracanes que imperan en la región durante el segundo semestre del año.

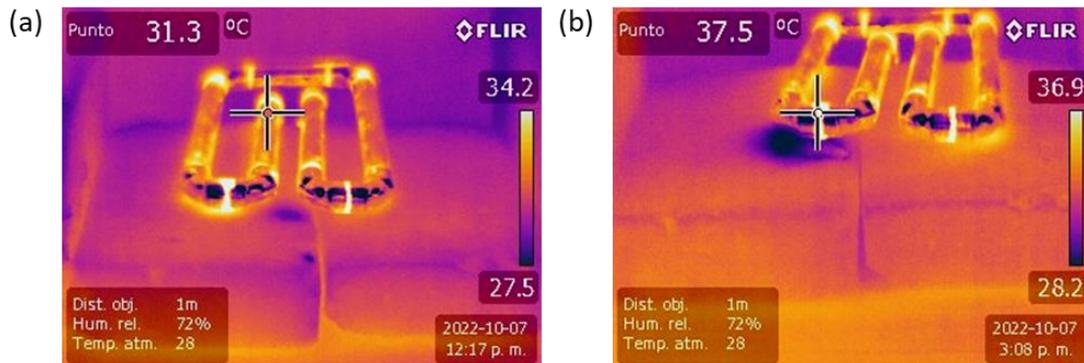
La Tabla 1 presenta las temperaturas registradas en el sistema solar térmico. Al inicio de la prueba (minuto 0), la temperatura del agua fue de 26 °C a temperatura ambiente la cual era de 27 °C, y al circular agua por el SSCA aumentó de 32 °C hasta un máximo de 45 °C. La temperatura inicial en el serpentín fue de 31.3°C (sin circulación de agua). Después de hacerle circular el agua caliente en el serpentín, se observó un aumento en la temperatura de hasta 38.5°C (minuto 20). Se observa que la temperatura máxima alcanzada en el serpentín es superior a la inicial.

**Tabla 1.** Temperatura medidas en el serpentín rectangular de la estufa solar.

|   | Inicio | Intermedio | Final |
|---|--------|------------|-------|
| <b>T<sub>agua ambiente</sub> (°C)</b>       | 25     | 26         | 26    |
| <b>T<sub>agua del calentador</sub> (°C)</b> | 32     | 39         | 45    |
| <b>T<sub>serpentín</sub> (°C)</b>           | 31.3   | 35.5       | 38.5  |

Para conocer la distribución de la temperatura en la superficie del serpentín se capturó una imagen termográfica durante la prueba. En la Ilustración 34 se muestra la imagen infrarroja del serpentín de cobre mientras circulaba agua a 45°C proveniente del calentador en su interior. La ilustración 34(a) es la fotografía al momento de iniciar la circulación de agua caliente por el serpentín, alcanzando una

temperatura de 31.3°C en su superficie. Después de 20 minutos se capturó de nuevo la imagen termográfica del serpentín mostrada en la Ilustración 34(b), en donde claramente se observa un aumento de temperatura a 37.5°C. Debido a las inclemencias del tiempo, no se pudo obtener una temperatura más elevada. Sin embargo, se comprobó que el sistema solar térmico desarrollado cumple con la función de aumentar la temperatura del serpentín, que por transferencia de calor a un comal podría usarse para calentar alimentos.



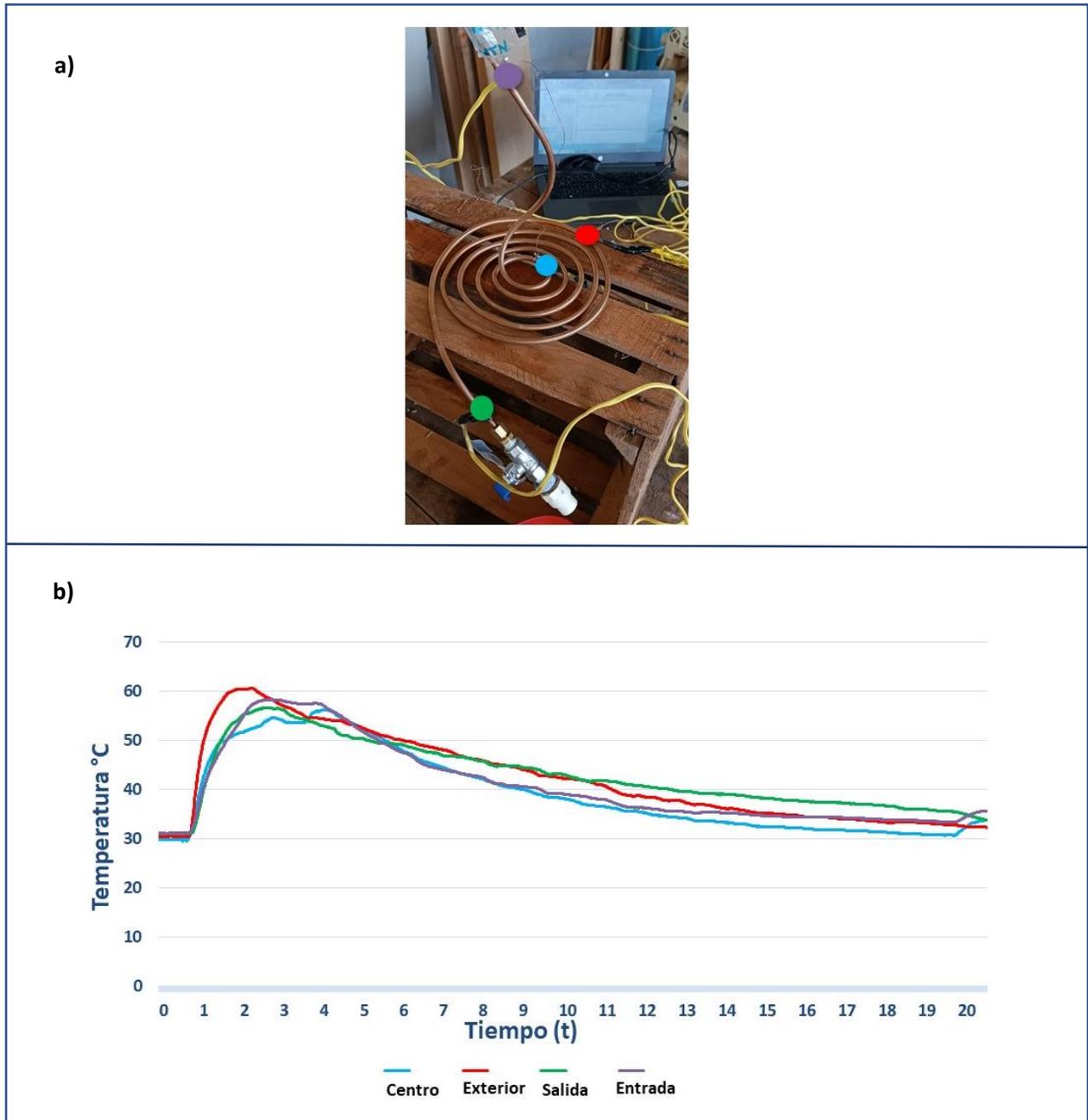
**Ilustración 34.** Imagen termográfica del serpentín de cobre rectangular.

#### 4.2 Evaluación Térmica Del Serpentín Espiral Plano Sin Circulación De Agua

En la Ilustración 35(a) se muestra la ubicación de los termopares usados en diferentes partes del serpentín. La línea en color morado corresponde a la temperatura del serpentín en la entrada de agua caliente, la de color celeste a la parte central, la de color rojo a un extremo del serpentín, y por último la de color verde es la temperatura a la salida del sistema. En la gráfica de la Ilustración 35(b) se observa la temperatura del serpentín cuando se almacena agua caliente de 90 °C (sin circulación de agua) durante 20 minutos. Inicialmente la temperatura del serpentín es de 30 °C. Al momento de agregar agua caliente y mantenerla dentro de ella, se observó que la temperatura en todo el serpentín aumentó en promedio a 55.6 °C en un tiempo de 2.5 minutos. Pero después de este tiempo, la temperatura empezó a descender lentamente hasta llegar a la temperatura inicial en un lapso de 17 minutos.

De acuerdo con este resultado se observa que la diferencia de temperatura en cualquier parte del serpentín no es mayor de 5 °C. Por tanto, se puede considerar que la distribución de energía térmica en esta estructura es casi homogénea. Este dato es de interés, pues la función del serpentín será la de una parrilla

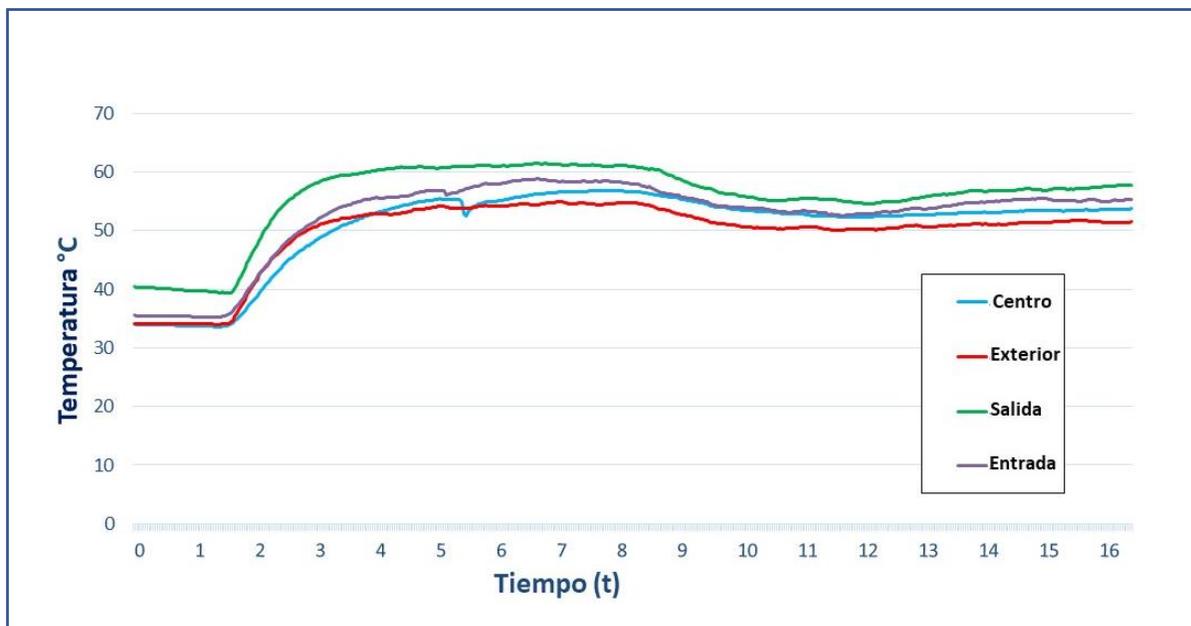
y lo que se desea es calentar el alimento de manera uniforme. Además, se puede resaltar que, en un instante corto de tiempo, el serpentín puede adquirir hasta un 63% de la temperatura inicial del líquido calentado.



**Ilustración 35.** (a) Ubicación de los termopares. (b) gráfica de las temperaturas monitoreadas en el serpentín al mantener agua caliente a 90 °C respecto al tiempo (t) expuesto en minutos.

### 4.3 Evaluación Térmica Del Serpentín Espiral Plano Con Circulación De Agua Caliente

En esta prueba se midió la temperatura del serpentín mientras circulaba de manera constante agua a 70 °C a través del sistema. De nuevo se colocaron 4 termopares en diferentes zonas del serpentín (semejante a la Ilustración 35), con el fin de conocer la homogeneidad de la temperatura en la superficie. En la Ilustración 36 se muestra la gráfica de temperaturas monitoreadas, en ella se observa que la diferencia de temperatura entre el centro y exterior del serpentín espiral varía alrededor de 6 °C. Inicialmente la temperatura en el serpentín fue de 35 °C en promedio. De igual forma que en el caso anterior, después de 3 minutos de iniciar la circulación de líquido caliente, la temperatura promedio del serpentín aumentó 20 °C, subiendo de 35 °C hasta 56 °C, manteniéndose casi constante. Esto indica que ocurrió una transferencia de calor del fluido al cobre de 57%. Con esto se concluye que la circulación constante de líquido definitivamente evita que se pierda el calor y la temperatura se mantenga constante mientras el agua caliente fluya dentro del tubo del serpentín.



**Ilustración 36.** Gráfica del comportamiento de la temperatura del serpentín espiral plano con circulación constante de líquido caliente respecto al tiempo (t) expuesto en minutos.

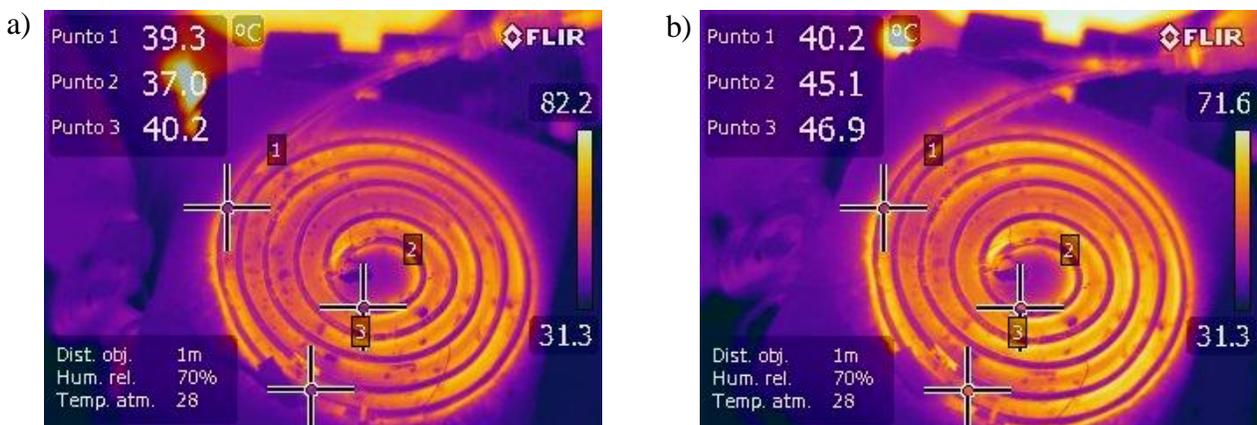
La diferencia de temperatura del centro (línea en color celeste) y el exterior (línea en color rojo) del serpentín ronda de alrededor de 3 °C. Esto es un buen indicativo ya que se requiere que el alimento se caliente de manera homogénea.

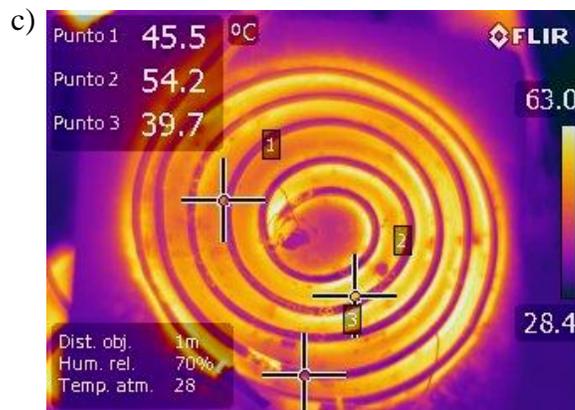
Por otro lado, se puede observar que la temperatura durante la prueba esta seccionado en dos partes, la primera en el lapso del minuto 3 al 8 con una temperatura casi constante a 56 °C, pero después de un instante disminuye alrededor de 3 °C, en el segundo lapso del minuto 10 al 17. Esto indica que existe poca pérdida de calor en el transcurso de la entrada del serpentín a la zona de cocción.

#### 4.4 Evaluación Del Prototipo Solar Con Serpentín Espiral Plano Con Aislante Térmico (Con Circulación De Agua)

Con el fin de almacenar y mantener la temperatura lograda en el serpentín durante toda la prueba, se agregó un bloque de espuma de poliuretano, que sirve como un aislante térmico. Las imágenes de la Ilustración 37 capturadas con una cámara termográfica, muestran el aumento gradual de temperatura en el serpentín al mantener una circulación constante de agua a 70° C. La Ilustración 37a, 37b y 37c fueron capturadas en el minuto 2, 4 y 10, respectivamente, después de iniciar la circulación de agua caliente. Considerando la temperatura del serpentín en el punto 2 de cada imagen es evidente el aumento de la temperatura en la superficie de 37 °C a 54.2 °C.

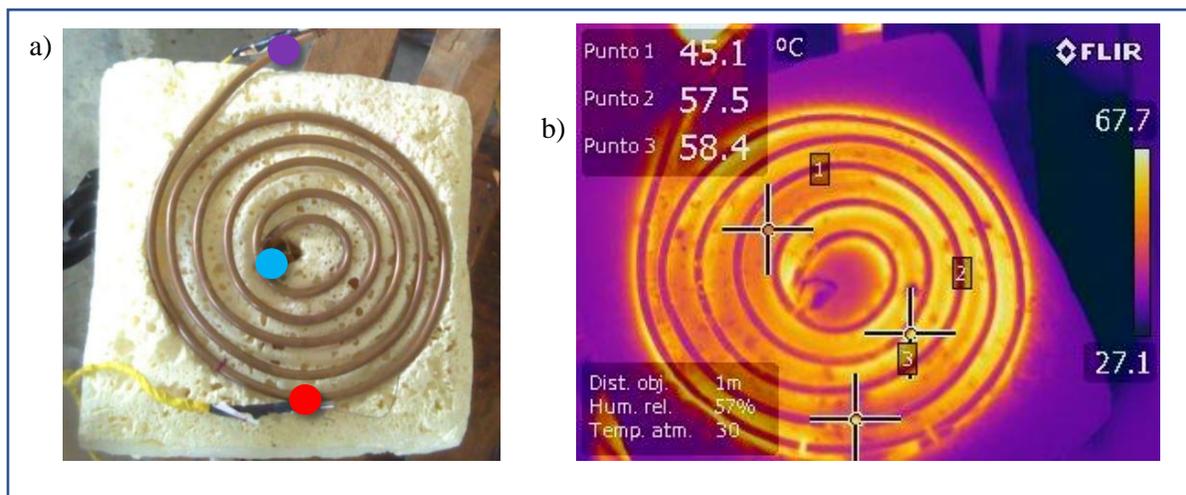
El cobre es un disipador de calor, debido a que su alta conductividad térmica permite que el calor se mueva rápidamente en su superficie, donde luego es dispersado en el aire. Esto quiere decir que el serpentín de cobre no retiene el calor por mucho tiempo. Sin embargo, este calor se disipa hacia el bloque de la espuma de poliuretano. Que cumple con la función de mantener el calor transmitido por el serpentín de manera homogénea.





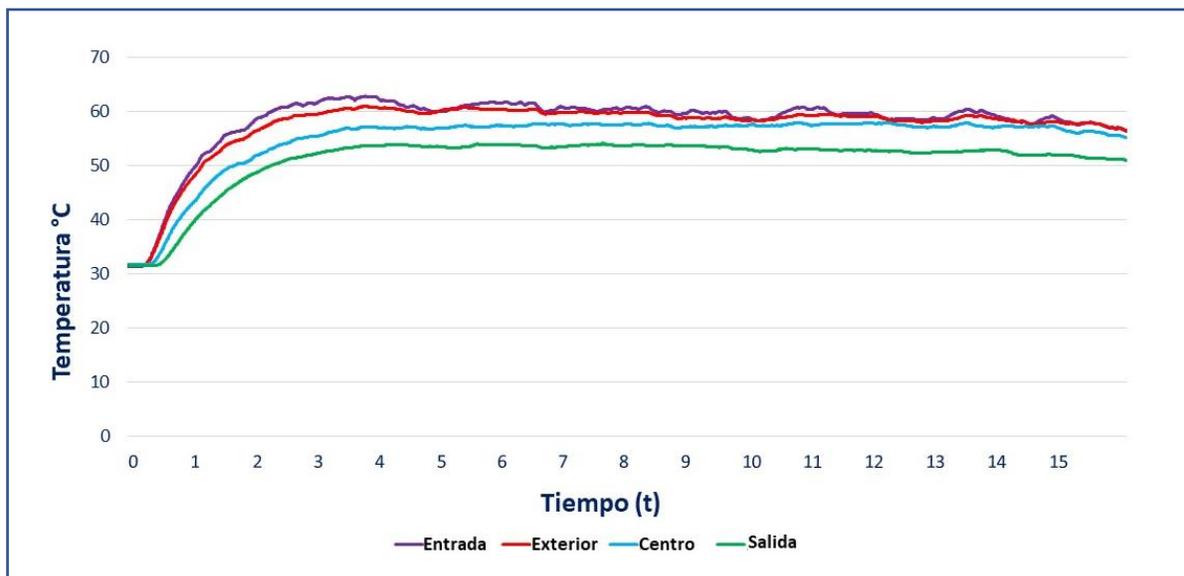
**Ilustración 37.** Imágenes termográficas del aumento gradual de la temperatura en el serpentín después de un tiempo de (a) 2 min, (b) 4 min y (c) 10 min de iniciar la circulación del agua, respectivamente.

La siguiente prueba consistió en monitorear las temperaturas en función del tiempo en diferentes partes del serpentín. En la Ilustración 38a se muestra la ubicación de los termopares sobre la superficie del serpentín: en la zona de entrada de agua (punto color morado), en el centro (punto color celeste) y en el exterior del serpentín (punto color rojo), y en la zona de salida de agua (se encuentra debajo del bloque aislante térmico, punto verde). El gradiente de temperatura sobre el serpentín y el bloque de aislante térmico se obtuvo mediante la cámara termográfica. En la Ilustración 38b se observa la imagen capturada con la cámara termográfica en donde los puntos corresponden a la temperatura en la región del aislante térmico, con un máximo de hasta 58.4 °C. Dependiendo de la configuración de la cámara y de la distancia a la cual se captura la imagen se podría presentar algún error en la medición de temperatura.



**Ilustración 38.** Fotografía del serpentín con los termopares (a) y con la cámara termográfica (b) transcurridos 15 minutos de haber iniciado las pruebas.

Para corroborar el resultado anterior, se analizó la gráfica de la Ilustración 39 que corresponde a la temperatura medida por los termopares al circular agua a 70 °C en su interior. Inicialmente se tiene 32 °C en todo el serpentín, sin embargo, en un lapso de 2 a 4 minutos se logró una temperatura máxima de 62.8 °C, que corresponde a un 89.7 % respecto a la temperatura del agua. Después tiende a ser constante alrededor de 58.5 °C (83.6%) en la sección de entrada, centro y exterior del serpentín, que es la región que se usará como parrilla para calentar alimentos. La temperatura en la salida del serpentín disminuye a 54 °C, que indica que el calor del fluido calentado decrece conforme circula a lo largo del serpentín.



**Ilustración 39.** Comportamiento de la temperatura del serpentín de cobre con aislante térmico durante la circulación constante de agua caliente respecto al tiempo (t).

En la Tabla 2 se resume las temperaturas alcanzadas por las configuraciones previamente discutidas del serpentín de cobre, así como su estabilidad térmica en función del tiempo. La temperatura del fluido (agua) dependió del sistema de calentamiento empleado. El uso de un aislante térmico hecho de espuma de poliuretano mejoró la conservación del calor de manera uniforme en el área destinada para la cocción de alimentos, ya que sin el aislante térmico se obtuvo ligeras variaciones en la temperatura durante toda la prueba.

La temperatura recomendada para cocinar alimentos depende si se trata de verduras o proteínas que se encuentra en el rango de 65 °C hasta 100 °C (Food Safety, s.f). Aunque las temperaturas monitoreadas en este prototipo térmico solar al circular agua caliente en el sistema no alcanzan las mínimas necesarias para

cocinar alimentos, es importante resaltar que la configuración del serpentín de cobre espiral plano con aislante térmico cumple con la función de mantener el calor en la parrilla. Por tanto, en el caso de que se hiciera circular un líquido con mayor temperatura o con mejor propiedad de transferencia de calor, se podría obtener temperaturas óptimas para calentar o incluso cocinar alimentos.

**Tabla 2.** Resumen de las temperaturas por cada configuración del serpentín de cobre

| Serpentín de cobre   | Temperatura |                    |                    | Estabilidad de la temperatura            |
|--|-------------|--------------------|--------------------|--|
|  | Agua        | Serpentín (mínimo) | Serpentín (máximo) |  |
| Rectangular con circulación de agua (calentador solar)     | 45 °C       | 31.3 °C            | 38.5 °C            | Se mantiene con pequeñas irregularidades |
| Espiral plana sin circulación de agua                      | 90 °C       | 30 °C              | 55.6 °C            | Alcanza un máximo y empieza a disminuir  |
| Espiral plana con circulación de agua                      | 70 °C       | 35 °C              | 56 °C              | Se mantiene con pequeñas irregularidades |
| Espiral plana con aislante térmico con circulación de agua | 70 °C       | 32 °C              | 58.5 °C            | Se mantiene constante                    |

# Capítulo 5: Conclusiones

En este trabajo de tesis se evaluó y analizó las temperaturas logradas en un serpentín de cobre en forma rectangular y en espiral plano, al hacerle circular agua calentada por un sistema térmico solar o eléctrico.

Después de analizar y comparar la temperatura obtenida se concluyó que el prototipo constituido por un serpentín de cobre en forma de espiral acoplado a un aislante térmico es la configuración que presenta la capacidad de almacenar calor de manera uniforme sobre toda la superficie, alcanzando una temperatura promedio constante de 58.5 °C. Aunque las temperaturas monitoreadas en este prototipo térmico solar no alcanzan las mínimas recomendadas para cocinar alimentos en el rango de 65 °C hasta 100 °C, es importante resaltar que este prototipo cumple con la función de mantener el calor en la parrilla. Por tanto, en el caso de que se hiciera circular un líquido con mayor temperatura o con mejor propiedad de transferencia de calor, se podría obtener temperaturas óptimas para calentar o incluso cocinar alimentos.

En comparación de una estufa solar convencional, la ventaja de usar un serpentín en una estufa solar indirecta incide en que el usuario puede cocinar sus alimentos sin la necesidad de estar expuesto a la radiación solar. El desarrollo de estufas solares indirectas presenta un impacto importante en la sociedad ya que son una fuente de ayuda para ahorrar en el gasto económico de energía utilizada para la cocción de alimentos. También disminuyen la mortandad en las regiones donde la población cocina con combustibles sólidos como la leña, ya que no emiten gases a la atmósfera.

# Trabajo A Futuro

Para mejorar las características técnicas del serpentín de cobre de una estufa solar indirecta, se puede considerar:

1. Evaluar la temperatura usando otros fluidos con mejor transferencia de calor, como aceite comestible, glicol y chevron (Wattco,2024).
2. Determinar la velocidad de fluido óptima para obtener una máxima temperatura.
3. Realizar pruebas con otras geometrías, dimensiones y materiales del serpentín: área de transferencia de calor, número de vueltas del serpentín, etc.
4. Implementación de un panel solar que alimente la bomba de agua de 12 V para evitar el uso de una fuente de energía externa.

# Referencias

- Acosta Moyado, L.D., García Montalvo, I.A. & Fernández Zayas, J.L. (2022). *Situación actual de la energía solar en Oaxaca, México*. <https://ru.iiec.unam.mx/5946/1/4.%20088-Acosta-Garc%C3%ADa-Fern%C3%A1ndez.pdf>
- Aramesh, M., Ghalebani, M., Kasaeian, A., Zamani, H., Lorenzini, G., Mahian, O., & Wongwises, S. (2019). A review of recent advances in solar cooking technology. *Renewable Energy*, 140, 419-435.
- Ardila Marín, J. G., & Hincapié Zuluaga, D. A. (2012). *Intercambiadores de calor de tubo en espiral*. *Revista UIS Ingenierías*, 11(2), 203-213.
- Arunachala, U. C., & Kundapur, A. (2020). Cost-effective solar cookers: A global review. *Solar Energy*, 207, 903-916.
- Borse, D., & Bute, J. V. (2018). *A Review on Helical Coil Heat Exchanger*. *International Journal for Research in Applied Science & Engineering Technology*, 6 (2), 492-497.
- Bulnes, C.A. & Best y Brown, R. (2010). Energía del sol. *Revista Ciencia*, 61, 10-17.
- Cengel, Y. A. (2017). *Transferencia De Calor y Masa: Un enfoque práctico*. McGraw-Hill.
- Cruz Carmona, J. (2014). *Actualidad de materiales para la captación de energía solar térmica y fotovoltaica* [Tesis de pregrado, Universidad Autónoma del Estado De México]. <http://ri.uaemex.mx/handle/123456789/14486>
- Digilent (s.f.). MCC USB-TEMP and TC Series: Temperature and Voltage Measurement USB DAQ Devices. <https://digilent.com/shop/mcc-usb-temp-and-tc-series-temperature-and-voltage-measurement-usb-daq-devices/>
- Food safety (s.f.). *Cook to a Safe Minimum Internal Temperature*. <https://www.foodsafety.gov/food-safety-charts/safe-minimum-internal-temperatures>

- García Valladares, O., & Pilatowsky Figueroa, I. (2017). *Aplicaciones térmicas de la energía solar en los sectores residencial, servicio e industrial*. [http://www.fordecyt.ier.unam.mx/html/produccion\\_cientifica\\_libro\\_termosolar\\_4.html](http://www.fordecyt.ier.unam.mx/html/produccion_cientifica_libro_termosolar_4.html)
- Gastronomía Solar (s.f.). *Cocina solar parabólica*. <https://gastronomiasolar.com/cocina-solar-parabolica/>
- Ghorbani, N., Taherian, H., Gorji, M., & Mirgolbabaei, H. (2010). *Experimental study of mixed convection heat transfer in vertical helically coiled tube heat exchangers*. *Experimental Thermal and Fluid Science*, 34(7), 900-905.
- Gobierno de México (11 de septiembre de 2017). *Objetivo de Desarrollo Sostenible*. <https://www.gob.mx/agenda2030/articulos/objetivo-de-desarrollo-sostenible-2-hambre-cero>
- Ibáñez, J. A., Abellán, F. J., Valerdi, R. P. & García, J. A. G. (2008). *Conductividad térmica de una barra de cobre. Estudio experimental del transitorio*, *Lat. Am. J. Phys. Educ.* 2, 259-267, <http://www.journal.lapen.org.mx>.
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (s.f.-a). *Generalidades del Sol*. <http://www.ideam.gov.co/web/tiempo-y-clima/generalidades-del-sol>
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (s.f.-b). *Generalidades de la radiación ultravioleta*. <http://www.ideam.gov.co/web/tiempo-y-clima/generalidades-de-la-radiacion-ultravioleta>
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (s.f.-c). *Características de la radiación solar*. <http://www.ideam.gov.co/web/tiempo-y-clima/caracteristicas-de-la-radiacion-solar>
- LibreTexts (s.f.). *Electromagnetic Radiation*. [https://chem.libretexts.org/Physical\\_Chemistry/Spectroscopy/Fundamentals/Electromagnetic Radiation](https://chem.libretexts.org/Physical_Chemistry/Spectroscopy/Fundamentals/Electromagnetic_Radiation)
- Limón Portillo, A. (2017, 2 de junio). *Energía solar en México: su potencial y aprovechamiento*. Centro de Investigación Económica y Presupuestaria. <https://ciep.mx/energia-solar-en-mexico-su-potencial-y-aprovechamiento/>

- Luna, A. (11 de Agosto de 2023). *Cuáles son los estados con más población en pobreza extrema en México*. <https://www.infobae.com/mexico/2023/08/11/cuales-son-los-estados-con-mas-poblacion-en-pobreza-extrema-en-mexico/>
- Misra, N., Anand, A., Pandey, S., Kant, K., Shukla, A., & Sharma, A. (2023). Box-Type Solar Cookers: An Overview of Technological Advancement, Energy, Environmental, and Economic Benefits. *Energies*, 16(4), 1697.
- Naciones Unidas (s.f.). *Las ciudades y la contaminación contribuyen al cambio climático*. <https://www.un.org/es/climatechange/climate-solutions/cities-pollution>
- Nasa space place (22 de julio de 2021). *¿Qué es un ciclo solar?*. <https://spaceplace.nasa.gov/solar-cycles/sp/>
- Teledyne Flir (s.f.). Cámara infrarroja, modelo FLIR E60. <https://www.flir.com.mx/>
- Thermal Engineering (s.f.). *Cobre: Un Excelente Conductor de Calor y Sus Usos Eléctricos*. <https://www.thermal-engineering.org/es/cobre-un-excelente-conductor-de-calor-y-sus-usos-electricos/>
- Toledo B., Larrinaga-González P., Escobar Vera, A. Y., López, Castellanos-Betanzos, I.C., Ruiz-Pineda J., López-Morales, G. & Vilchis-Bravo, H. (2022, 21 de noviembre). *Desarrollo de estufas solares parabólicas con tubo al vacío para su implementación en zonas ecoturísticas del estado de Chiapas*. [Poster]. 3° Congreso Nacional de Secado, Cocción y Refrigeración Solar de Alimentos. Campeche, México. <https://consyca.aseerca.org/memorias> (Pag. 265).
- Valmiki, M. M., Li, P., Heyer, J., Morgan, M., Albinali, A., Alhamidi, K., & Wagoner, J. (2011). A novel application of a Fresnel lens for a solar stove and solar heating. *Renewable Energy*, 36(5), 1614-1620.
- Wattco (2024). *Guía De Los Tipos De Fluidos De Transferencia De Calor Más Comunes*. <https://www.wattco.com/es/2023/10/guia-de-los-tipos-de-fluidos-de-transferencia-de-calor-mas-comunes/#:~:text=El%20agua%2C%20por%20m%C3%A1s%20b%C3%A1sica,para%20la%20calefacción%20y%20refrigeración.>