



EDUCACIÓN

SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA



TECNOLÓGICO
NACIONAL DE MÉXICO

Tecnológico Nacional de México

**Centro Nacional de Investigación
y Desarrollo Tecnológico**

Tesis de Maestría

**Acumulador Térmico Mediante Captación Solar para
la Cocción de Alimentos**

presentada por

Lic. Rafael Guadalupe Solano Góngora

como requisito para la obtención del grado de
Maestro en Ciencias de la Ingeniería

Director de tesis

Dr. Juan Reyes Reyes

Codirector de tesis

Dr. Jesús Arce Landa

Cuernavaca, Morelos, México. Diciembre de 2025.



Educación
Secretaría de Educación Pública



TECNOLÓGICO
NACIONAL DE MÉXICO



Centro Nacional de Investigación y Desarrollo tecnológico
Coordinación de Ciencias de la Ingeniería

Cuernavaca, Mor., 17/ septiembre /2025

OFICIO No. MCI/118/2025
CENIDET-AC-004-M14-OFICIO

Asunto: **Aceptación de documento de tesis**

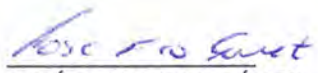
DR. CARLOS MANUEL ASTORGA ZARAGOZA
SUBDIRECTOR ACADÉMICO
PRESENTE

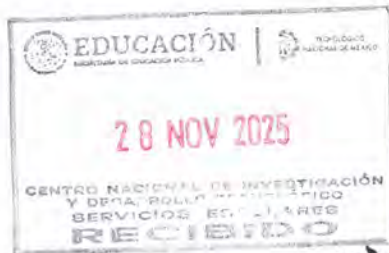
Por este conducto, los integrantes de Comité Tutorial del estudiante **RAFAEL GUADALUPE SOLANO GÓNGORA**, con número de control **M23CE037**, de la Maestría en Ciencias de la Ingeniería, le informamos que hemos revisado el trabajo de tesis de grado titulado **"ACUMULADOR TÉRMICO MEDIANTE CAPTACIÓN SOLAR PARA COCCIÓN DE ALIMENTOS"** y hemos encontrado que se han atendido todas las observaciones que se le indicaron, por lo que hemos acordado aceptar el documento de tesis y le solicitamos la autorización de impresión definitiva.


DR. JUAN REYES REYES
Director de tesis


DR. JESÚS ARCE LANDA
Codirector de Tesis


DR. HUGO ESTRADA ESQUIVEL
Revisor 1


DR. JOSÉ FRANCISCO GÓMEZ
AGUILAR
Revisor 2



C.c.p. Depto. Servicios Escolares.
Expediente / Estudiante
RAVM/ang

Tel. 01 (777) 3627770
Apatzingan 212, Palmira, 62490 Cuernavaca, Mor.
e-mail: coord.ingenieria@cenidet.tecnm.mx | cenidet.tecnm.mx

cenidet
Centro Nacional de Investigación
y Desarrollo Tecnológico



2025
Año de
La Mujer
Indígena



Centro Nacional de Investigación y Desarrollo tecnológico
Subdirección Académica

Cuernavaca Mor, 26/septiembre/2025

Oficio No. SAC/231/2025

Asunto: Autorización de impresión de tesis

RAFAEL GUADALUPE SOLANO GÓNGORA
CANDIDATO AL GRADO DE MAESTRO EN
CIENCIAS DE LA INGENIERÍA
P R E S E N T E

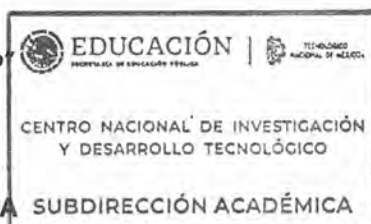
Por este conducto, tengo el agrado de comunicarle que el Comité Tutorial asignado a su trabajo de tesis titulado **"ACUMULADOR TÉRMICO MEDIANTE CAPTACIÓN SOLAR PARA COCCIÓN DE ALIMENTOS"**, ha informado a esta Subdirección Académica, que están de acuerdo con el trabajo presentado. Por lo anterior, se le autoriza a que proceda con la impresión definitiva de su trabajo de tesis.

Esperando que el logro del mismo sea acorde con sus aspiraciones profesionales, reciba un cordial saludo.

ATENTAMENTE

Excelencia en Educación Tecnológica®

"Conocimiento y Tecnología al Servicio de México"



CARLOS MANUEL ASTORGA ZARAGOZA
SUBDIRECTOR ACADÉMICO

c.c.p. Coordinación de Ingeniería
Departamento de Servicios Escolares

CMAZ/lmz



CBN



2025
Año de
La Mujer
Indígena

Interior Internado Palmira S/N, Col. Palmira,
C. P. 62490, Cuernavaca, Morelos Tel. 01 (777) 3627770, ext. 4104,
e-mail: acad_cenidet@tecnm.mx tecnm.mx | cenidet.tecnm.mx

cenidet
Centro Nacional de Investigación y Desarrollo Tecnológico



DEDICATORIA

A mi esposa **Esbeydhi Martínez Bustos** “Bruja”, por estar presente en las buenas y en las malas, por enseñarme a no rendirme, seguir adelante y sobre todo por estar al pendiente de nuestros hijos, te amo.

A mis hijos **Nikte-Há** que con su sonrisa y travesuras siempre me alegra mi día, **Rafita** por demostrarme que a su corta edad es capaz de todo, **Julian** por ser tan alegre, a los tres por continuar con sus estudios.

A mis padres **Rafael Solano y Bertha Ma. Góngora** por el amor, apoyo incondicional y motivación a seguir adelante con mis estudios, los amo.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco:

Al **Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT)**, por el apoyo económico que me brindo durante mis estudios de maestría.

A **Dios** por darme la fuerza en los momentos más difíciles de mi vida, así como sus bendiciones.

A mi compañera de vida **Esbeydhi Martínez Bustos** por estar siempre pendiente de nuestra familia.

A mis cuatro hijos **Nikte-Há, Rafita, Julián, *** por su amor incondicional.

A mis padres **Rafael Solano y Bertha Ma. Góngora** por creer siempre en mí y sobre todo por su apoyo incondicional.

Al **Dr. Juan Reyes Reyes**, por la oportunidad que me dio para este tema de tesis y sobre todo por su paciencia.

Al **Dr. Jesús Arce Landa** por todo el apoyo y sobre todo por sus asesorías.

Al **Dr. Hugo Estrada** por sus consejos y aportaciones durante mis presentaciones.

Al **Dr. Astorga** por darme animos para seguir adelante (NO declines).

A **Norita** por todas las facilidades para concluir esta maestría.

A todas aquellas personas que siempre me dieron ánimos para seguir adelante, compañeros de trabajo y amigos que saben que están en mi corazón.

Al **Centro Nacional de Investigación y Desarrollo Tecnológico (CENIDET)** que me abrió las puertas para ser trabajador y estudiante, por ser mi segunda casa.

Contenido

Índice de figuras	I
Índice de tablas	II
Nomenclatura	III
Resumen	IV
Abstract	VI
Capítulo 1	1
1. Introducción	2
1.1. Identificación del problema	2
1.2. Planteamiento del problema	8
1.3. Justificación	12
1.4. Generalidades	12
1.5. Revisión bibliográfica	14
1.5.1. Trabajos teórico experimentales	14
1.6. Conclusiones de la revisión bibliográfica	21
1.7. Objetivo general	22
1.8. Objetivos específicos	23
1.9. Alcances	23
1.10. Limitaciones	23
1.11. Estructura de la tesis	24
Capítulo 2	25
2. Marco teórico	26
2.1. Primera ley de la termodinámica.	26
2.2. Acumulador térmico	27
2.3. Captación solar	29
2.4. Cocción de alimentos	30
2.4.1. Descripción de la cocción de los alimentos	32
2.4.2. Los ingredientes en la cocción	32
Capítulo 3	33
3. Modelos Térmicos Dinámicos Propuestos	34
3.1. Un modelo dinámico térmico de una placa expuesta a la radiación solar.	34
3.1.1. Interpretación de los términos	37
3.1.2. Interpretación del perfil de la temperatura y su derivada	38
3.2. Un modelo dinámico térmico de dos placas expuestas a la radiación solar	39
3.2.1. Método de solución de las ecuaciones diferenciales para dos placas de hierro.	41

Capítulo 4	43
4. Resultados teóricos experimentales	44
4.1. Registros experimentales de una placa expuesta a la radiación solar	44
4.2. Simulación de dos placas emparedadas	46
4.2.1. Objetivo de la simulación	46
4.2.2. Desarrollo de la simulación	47
4.2.3. Análisis de los resultados de la simulación	47
4.2.4. Conclusiones de la simulación	47
4.3. Modelo del recipiente colector de los alimentos.	48
4.4. Conclusiones del modelo matemático.	53
Capítulo 5	54
5. Resultados experimentales de cocción.	55
5.1. Alimentos a cocinar.	55
5.1.1. Arroz.	55
5.1.2. Lentejas.	55
5.1.3. Elote.	55
5.2. Recetas.	56
5.2.1. Caldo de lentejas.	57
5.2.2. Arroz blanco.	63
5.2.3. Esquites.	65
5.3. Resultados finales de las cocciones	66
5.3.1. Resultados finales de la receta del Caldo de lentejas	67
5.3.2. Resultados finales de la receta del Arroz blanco	67
5.3.3. Resultados finales de la receta de los esquites	68
5.4. La importancia del concentrador parabólico.	68
5.5. Conclusiones sobre los resultados experimentales.	69
Capítulo 6	70
Conclusiones	71
Recomendaciones	72
Trabajos futuros	72
Referencias	74
Anexos	1
A.1 .- La parábola	1
A.2 .- Precio comercial y características del domo de cristal	4
A.3 .- Precio comercial y características de las cacerolas de hierro	5

Índice de figuras

1.	Radiación solar en México Fuente: https://solargis.info/	6
2.	Radiación solar en Morelos. Fuente: https://solargis.info/	8
3.	Incidencia de la radiación solar en el domo de cristal.	9
4.	Radiación solar distribuida.	9
5.	Efecto invernadero en el interior del domo de cristal.	10
6.	Efecto convectivo.	11
7.	Inicio de la cocción del alimento	11
8.	Energía química a cinética	26
9.	Radiación solar a energía térmica	27
10.	Una placa de hierro expuesta a la radiación solar	28
11.	Caracterización del concentrador solar.	29
12.	Una placa expuesta a la radiación solar	34
13.	Comportamiento de la temperatura de una placa expuesta a la radiación solar	39
14.	Dos placas emparedadas expuestas a la radiación solar	40
15.	Vista frontal de dos placas emparedadas	40
16.	Registros experimentales de una placa de hierro expuesta a la radiación solar	44
17.	Decaimiento de la temperatura de una placa de hierro	45
18.	Comportamiento de la temperatura de manera experimental	46
19.	Gráfica de la simulación en dos placas emparedadas	47
20.	Modelo preliminar de un cuerpo de hierro, expuesto a la radiación solar	48
21.	Efecto invernadero al interior del domo de cristal.	49
22.	Radiación solar	51
23.	Aproximación de la temperatura a partir de datos experimentales a una simulación.	52
24.	Receta 1	57
25.	Alimento en el interior del recipiente colector.	58
26.	Inicio del experimento a una temperatura de 20 °C.	59
27.	Temperatura al interior del domo de cristal de 100 °C.	59
28.	Temperatura máxima alcanzada superior a los 120 °C.	60
29.	Temperatura superior a los 114 °C	61
30.	Cocción del alimento con una temperatura máxima alcanzada de 109 °C.	62
31.	Receta 2	63
32.	Receta 3	65
33.	Prototipo del concentrador parabólico solar	69
34.	La parábola	1
35.	Domo de cristal con plato (perspectiva)	4
36.	Domo de cristal con plato (vista frontal)	4
37.	Cacerola de hierro	5
38.	Termómetro de acero	6

Índice de Tablas

1.	Tiempos de cocción	5
2.	Incremento de la radiación solar	51
3.	Aproximaciones de la radiación solar	52
4.	Resultados preliminares	66
5.	Resultados experimentales preliminares	67
6.	Resultados finales	68

Nomenclatura

Símbolo	Descripción
---------	-------------

E_{in}	Energía de entrada, J
E_g	Energía generada, J
E_{out}	Energía de salida, J
I	Radiación solar, W/m ²
A	Área en contacto con el medio ambiente, m ²
T_{amb}	Temperatura ambiente, °C
T	Temperatura de la placa, °C
m	masa de la placa, kg
c	calor específico de la placa, J/g·°C
S	Área de la placa en contacto con el medio ambiente, m ²
α	Coeficiente asociado a la convección, J/s·m ² °C
a	ancho de la placa, m
e	espesor de la placa, mm
l	largo de la placa, m

Resumen

En este trabajo de tesis se abordó el modelado dinámico simplificado de una y dos placas de hierro emparedadas expuestas a la radiación solar de tal manera que las placas de hierro se aproximaron a un recipiente colector de alimentos, donde se pudo concretar su cocción. Partiendo de la primera ley de la termodinámica y la ley de enfriamiento de Newton se da origen a la selección de tres recetas culinarias de alimentos para su cocción acompañadas de sus respectivos ingredientes, los cuales fueron caldo de lentejas, arroz blanco y esquites.

Se realizaron seis experimentos de cocción de las tres recetas culinarias seleccionadas, los tres primeros experimentos de cocción se utilizó un domo de cristal, dos cacerolas de hierro de 200 ml y en su interior tres alimentos de manera separada así como sus ingredientes, dando los siguientes resultados; las temperaturas máximas alcanzadas para el caldo de lentejas fueron de 50 °C, arroz blanco 58 °C y los esquites de 56 °C. El promedio de cocción de cada alimentos fue de tres horas. Concluyendo que los tres primeros experimentos de cocción no alcanzaron temperaturas adecuadas, ya que estuvieron por debajo de los 70 °C. La radiación solar promedio para los experimentos según la pagina oficial de la CO-NAGUA fue entre los rangos de 670 a 895 W/m².

Las temperaturas de los tres primeros experimentos no fueron suficientes por lo que se procedió a realizarlos nuevamente con la integración de un concentrador solar tipo parabólico compuesto de reflectores de papel aluminio aluminio en sus paredes con el objetivo de captar una mayor concentración de energía calorífica, arrojando los siguientes resultados: para la receta del arroz blanco 101 °C, receta del caldo de lentejas 90 °C y la receta de los esquites 95 °C, donde la radiación solar tuvo un

promedio de 770 a 771 W/m².

Palabras clave: Radiación solar, ley de enfriamiento de Newton, cocinas solares.

Abstract

This thesis addressed the simplified dynamic modeling of a plate exposed to solar radiation. The iron plate exposed to solar radiation was an approximation of a collector container behavior, for cooking food. Based on the first law of thermodynamics and Newton's law of cooling, three foods were chosen for cooking, accompanied by their ingredients from three different recipes, which were white rice, lentil soup, and esquites.

Six cooking experiments were conducted for the three recipes. The first three experiments used a glass dome, two 200 ml iron pans, and inside them three separate foods as well as their ingredients, where the results of the maximum temperatures reached their ingredients, where the maximum temperatures reached for the lentils were 71°C, rice 56°C, and corn 52°C. The average cooking time for each food was three hours. It was concluded that the foods did not reach the optimal temperatures necessary for cooking, as they were below 71 °C. The average solar radiation for the experiments, according to the official CONAGUA website, was between 670 and 895 W/m².

Since the temperatures of the first three experiments were not sufficient, aluminum reflectors were added around and at the base of the glass dome to achieve greater energy concentration. This yielded the following results: 101°C for rice, lentils 90 °C, and corn 95 °C, where solar radiation on the days of the experiments ranged from 770 to 771 W/m².

Keywords: Solar radiation, Newton's law of cooling, solar cookers.

Capítulo 1

Introducción

En este capítulo se aborda la contribución y la importancia del trabajo de investigación, con el apoyo de una revisión bibliográfica, se presentan los objetivos, alcances y la estructura del trabajo de tesis.

1. Introducción

1.1. Identificación del problema

La Organización Mundial de la Salud (OMS) en el año 2010 estimaba que aproximadamente la mitad de la población mundial, quemaba leña, carbón e incluso estiércol para la cocción de sus alimentos o calentar agua. La mala ventilación y combustión dentro de los hogares generaban mezclas peligrosas contaminantes, los cuales se convierten en gases como monóxido de carbono, óxido de nitrógeno, benceno. Dichas mezclas de gases son altamente dañinas para la salud humana así como nuestro planeta, llegando a crear problemas en las vías respiratorias, así como la generación de enfermedades pulmonares.

No tener un control adecuado en la quema de biomasa aumenta el riesgo de padecer cáncer en los pulmones, paralelamente genera un problema independiente en la salud humana, siendo alarmante y preocupante en medio ambiente originando la quema de biomasa, dando como resultado CO_2 , el cuál contribuye al calentamiento de nuestro planeta.

Una de las soluciones que puede disminuir el consumo de los gases fósiles es el uso de cocinas solares térmicas domésticas y de esta manera contribuir a la quema de leña o propio consumo de energía eléctrica. Con el uso de cocinas solares térmicas se puede disminuir el tema de riesgos en la salud de las familias, los accidentes dentro o fuera de los hogares que utilizan materiales inflamables, gases y utensilios domésticos para la cocción de sus alimentos. Las cocinas solares térmicas pueden satisfacer en su totalidad las necesidades requeridas para la alimentación de los seres humanos [Naranjo \(2010\)](#). El consumo energético es la cantidad de energía que se requiere para poder realizar un proceso u actividad determinada y no podemos asegurar que exista una relación entre el cre-

cimiento poblacional y la demanda del consumo energético, pero se puede deducir que hay una mayor demanda del consumo energético de las poblaciones cuando estas son mayores. En México no existen herramientas que pueda medir el total del consumo que se requiere para la satisfacción de la demanda alimentaria [PEÑA et al. \(2012\)](#). La unidad de medida que utilizada para la radiación solar son los vatios por metro cuadrado (W/m^2) [Aparicio \(2020\)](#), si ésta unidad de medida la podemos llevar e interpretar en nuestro consumo de energía eléctrica, se puede realizar el cálculo para determinar como se realiza el cobro de nuestro consumo eléctrico en nuestro hogar al momento de utilizar un horno de microondas, una plancha, un refrigerador, un televisor o una parrilla eléctrica.

La combustión de leña, carbón u otros combustibles fósiles tradicionales dentro de los hogares [Naranjo \(2010\)](#) como fuente de energía calorífica y en la mayoría de los casos barata suele ser insegura al momento de realizar la cocción de los alimentos llegando a provocar accidentes dentro de los hogares. Para el caso en particular de la quema de leña dentro de los hogares genera una problemática contaminando el medio ambiente y sobre todo el organismo del ser humano.

En gran parte del mundo y del territorio mexicano, ejemplificando basados en el estudio de la bibliografía el Estado de Michoacán están expuestos a contaminantes tóxicos e incluso cancerígenos los cuales son originados por la inhalación de los gases que se desprenden durante el proceso de la combustión de la leña, que paralelamente originan enfermedades respiratorias, la misma combustión genera emisiones de bióxido de carbono que resultan contaminantes en el medio ambiente [González-Avilés et al. \(2013\)](#).

En la búsqueda bibliográfica se han registrado hallazgos muy útiles e

importantes para el presente trabajo de tesis, donde se hace uso de las cocinas solares térmicas domésticas, disminuyendo el uso de gases fósiles. Con estas condiciones se puede reducir los riesgos en la salud de los miembros de las familias, así mismo los accidentes dentro de los hogares, las cocinas solares térmicas pueden satisfacer las necesidades requeridas para la cocción de los alimentos de los seres humanos. Éste trabajo de tesis genera aportaciones importantes en la disminución de combustibles que presenta la SENER (Secretaría de Energía) y la CONUEE (Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía), los cuales representan la siguiente participación porcentual en México: en primer lugar con el 80 % el gas LP, seguidos de la leña y el carbon con un 11.3 %, y para el gas natural y la electricidad con un 1.4 %, donde podemos observar ampliamente que no se hace uso de las fuentes renovables para la cocción de los alimentos [ESPINOZA et al. \(2023\)](#).

Si bien es cierto el estudio de los acumuladores térmicos solares térmicas suelen ser variados, el impacto esperado esta orientado hacia los dimensionamientos físicos, las propiedades translúcidas, de almacenamiento, convección y a la radiación térmica para aprovechar el efecto de la energía solar en la acumulación de la energía calorífica necesaria para la cocción de los alimentos.

Los acumuladores térmicos solares se pueden componer de varios elementos que incluso pueden ser reciclados como lo son: pequeños fragmentos de espejos de cristal que reflejen y a su vez puedan concentrar la energía radiante proveniente del sol, domos de cristal templado, recipientes de diferentes materiales como colectores, donde en la mayoría de los casos suelen ser de aluminio en color negro mate para una mejor concentración de la energía. Los recipientes colectores donde son depositados los alimentos acumulan la energía calorífica, de tal manera que una tempe-

ratura de 118 °C es suficiente para la cocción de los alimentos, ya que en su mayoría la temperatura necesaria para la correcta cocción es de 82 °C [Jaime et al. \(2024\)](#).

Algunos hallazgos sobre los tiempos de cocción de alimentos son los que se pueden observar en la Tabla 1.

Tabla 1: Tiempos de cocción

Alimentos de referencia	
Alimentos	Tiempos de cocción (min)
Huevos duros	15 - 18
Pollo asado	50 - 70
Panes o galletas	70 - 80
Carne	140 - 150
Arroz	80 - 90
Papas cocidas	70 - 80
Sopas	110 - 120
Chicharron	140 - 150

Enseguida se hace una descripción general de uno de los fenómenos que se estudiaron para el siguiente documento de tesis, que corresponde al efecto de la radiación solar enfocado a el acumulador térmico solar.

La manera en la que se puede llevar a cabo la medición de la energía proveniente del sol en un territorio es por medio de la radiación solar. Según la International Renewable Energy Agency (IRENA) (2015), nuestro país se encuentra entre 15° y 35° de latitud, región considerada como la más favorecida en recursos solares, donde se recibe diariamente, en promedio, 5.5 Kwh/m² (que es la unidad de medición de la radiación solar). En la Figura 1 podemos observar que el noroeste del país es la zona con mayor potencial de energía solar, donde dicha radiación excede los 8 Kwh/m² en primavera y verano. Los puntos mas elevados de la

demanda se encuentran en el centro del país [Limón Portillo \(2017\)](#), y en esta ubicación podemos observar el estado de Morelos.

Figura 1: Radiación solar en México Fuente: <https://solargis.info/>

información tenga la precisión suficiente para el diseño de nuevos dispositivos o modelos térmicos dinámicos que para nuestro estudio son las cocinas térmicas solares [Valdés-Barrón et al. \(2020\)](#). Para el estudio del modelo térmico solar fue necesario conocer las características básicas de los rayos solares (radiación, ángulos de incidencia, nubosidad). No menos importante se tuvo la necesidad de tomar en cuenta la manipulación de los alimentos considerados. Existen dos sistemas de cocinas solares los cuales se basan en el principio de la acumulación y de la concentración de la energía calorífica, donde para cada sistema de cocinas solares existen diferentes tipos de diseño y geometría [Mozo and González \(2008\)](#). En la actualidad, no hacer uso de los combustibles tradicionales es casi nulo ya que forman parte de la vida diaria del ser humano al ser necesarios para poder realizar la cocción de los alimentos en la forma tradicional, no solo en las zonas urbanas sino también en las zonas mas alejadas, se puede entender que debido a la lejanía o nivel adquisitivo que es bajo, es mayor el consumo de los recursos naturales como suele ser la leña. En las zonas alejadas o rurales, el uso de leña para la cocción de los alimentos ocasiona consecuencias en la salud del ser humano, como ejemplo pueden ser las enfermedades respiratorias, que a su vez contribuyen con la tala clandestina, en conjunto contribuyen y son un problema grave, impactando en el deterioro del medio ambiente, que mayormente es irreparable. En la actualidad necesitamos instrumentos de energías renovables que ayuden a la disminución en el de combustibles y que a su vez contribuyan e impacten en el ahorro económico de las familias mexicanas. Una de las alternativas para estos problemas son las cocinas solares térmicas, además de que son una importante fuente de energía renovables, las cocinas solares térmicas son instrumentos que se han utilizado desde hace años para lograr la cocción de los alimentos a través de la energía solar. Las cocinas solares instrumentos que transforman la radiación del sol en poder calorífico que es suficiente para lograr la cocción de alimentos que no requieran de altas

temperaturas. Existen múltiples diseños de acumuladores térmicos en la actualidad alrededor del mundo, pero aún queda mucho por investigar, mejorar y contribuir [Avilés et al. \(2017\)](#). En México, basados en el Balance Nacional de Energía del año 2014, el uso de Energías Renovables (FRE), son casi nulas, ya que solo son representadas por un 7.6 %, en una comparación con el petróleo la cual es representada por un 63.4 % y la del gas natural con un 23.6 %, si consideramos el gran potencial que se tendría el aprovechamiento de las Fuentes de Energía Renovable FRE. Es de suma importancia el estudio para el desarrollo de nuevas tecnologías que puedan aprovechar las Fuentes Renovables de Energía FRE [González-Avilés et al. \(2017\)](#).

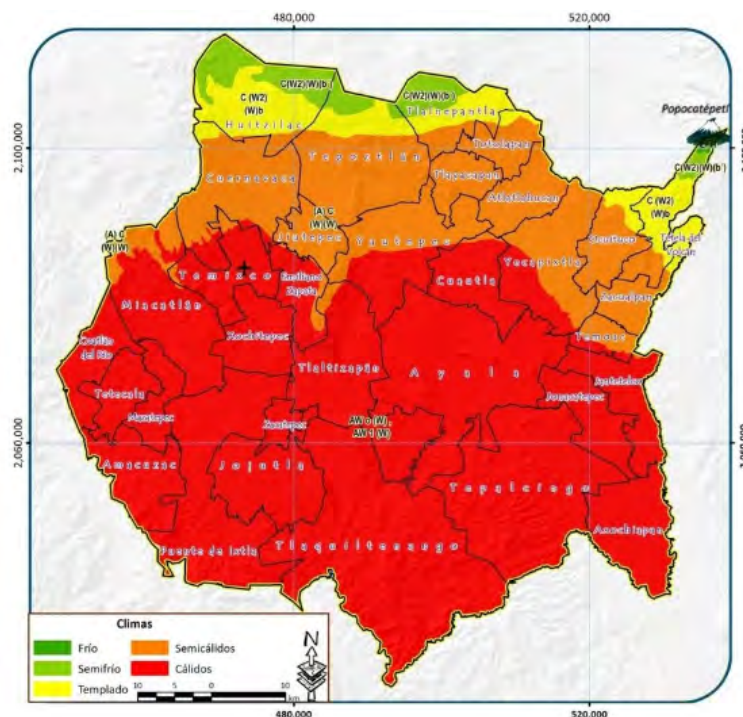


Figura 2: Radiación solar en Morelos. Fuente: <https://solargis.info/>

1.2. Planteamiento del problema

En las siguientes figuras se puede apreciar e interpretar el efecto de la radiación solar sobre el acumulador térmico solar en su interior.

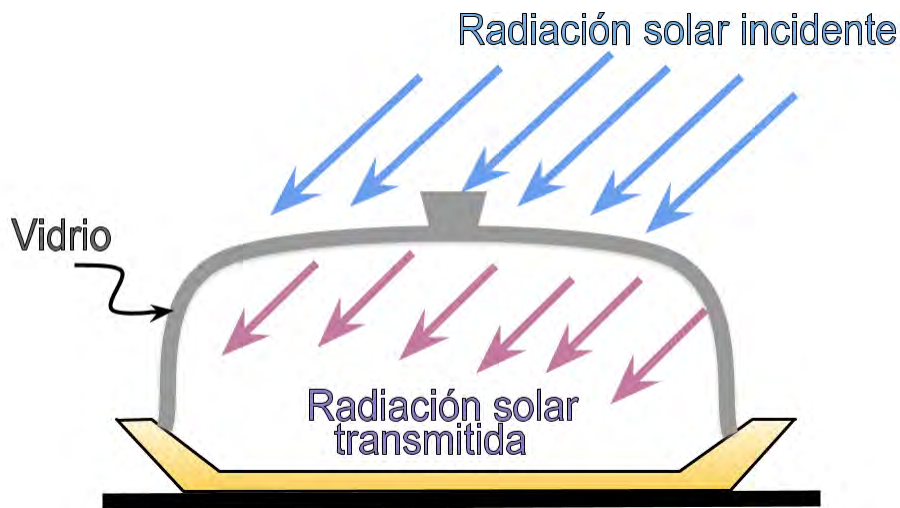


Figura 3: Incidencia de la radiación solar en el domo de cristal.

En la Figura 3 podemos observar como incide la radiación solar hacía el interior del domo de cristal y ésta a su vez al recipiente colector donde son depositados los alimentos.

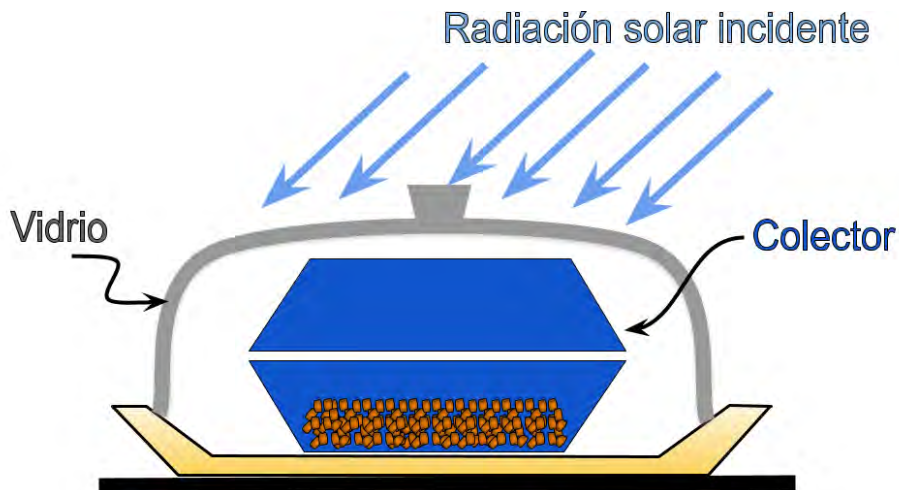


Figura 4: Radiación solar distribuida.

Derivado de la incidencia de la radiación solar al interior del domo de cristal, la energía calorífica es distribuida en su interior como podemos observar en la Figura 4.

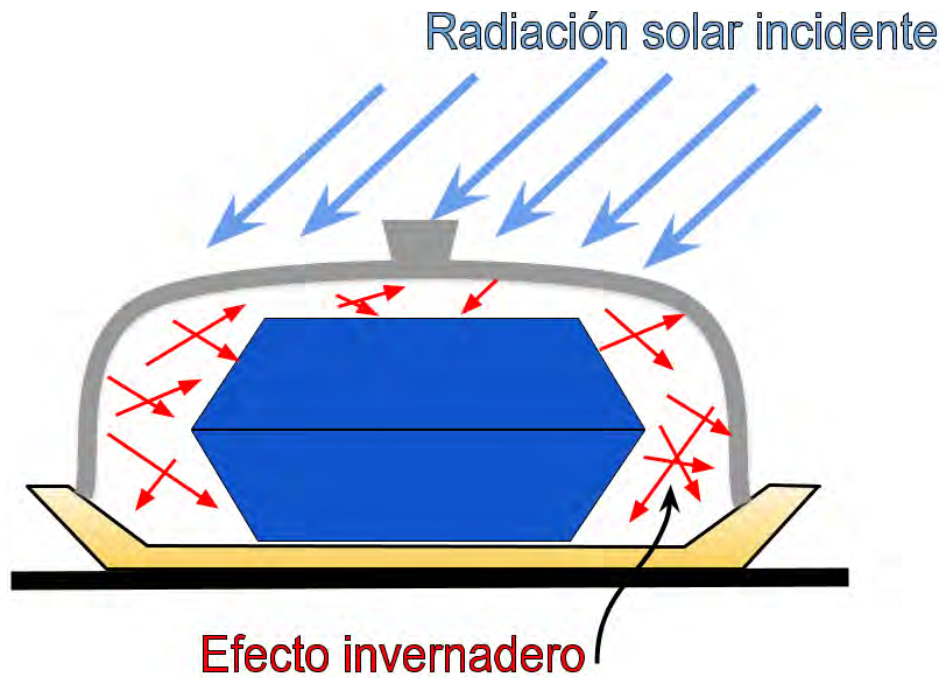


Figura 5: Efecto invernadero en el interior del domo de cristal.

La radiación solar que es recibida en el interior del domo de cristal genera un efecto invernadero, el cual cobija al recipiente colector de los alimentos, como se observa en la Figura 5.

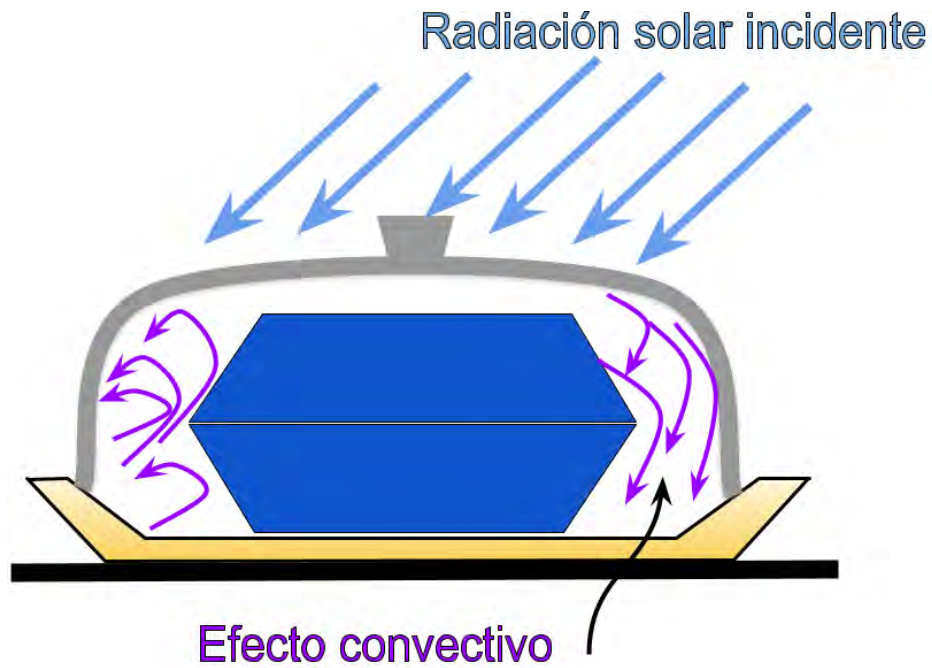


Figura 6: Efecto convectivo.

Podemos apreciar que las pérdidas originadas por la convección son mínimas hacia el exterior del recipiente colector de los alimentos como se observa en la Figura 6.

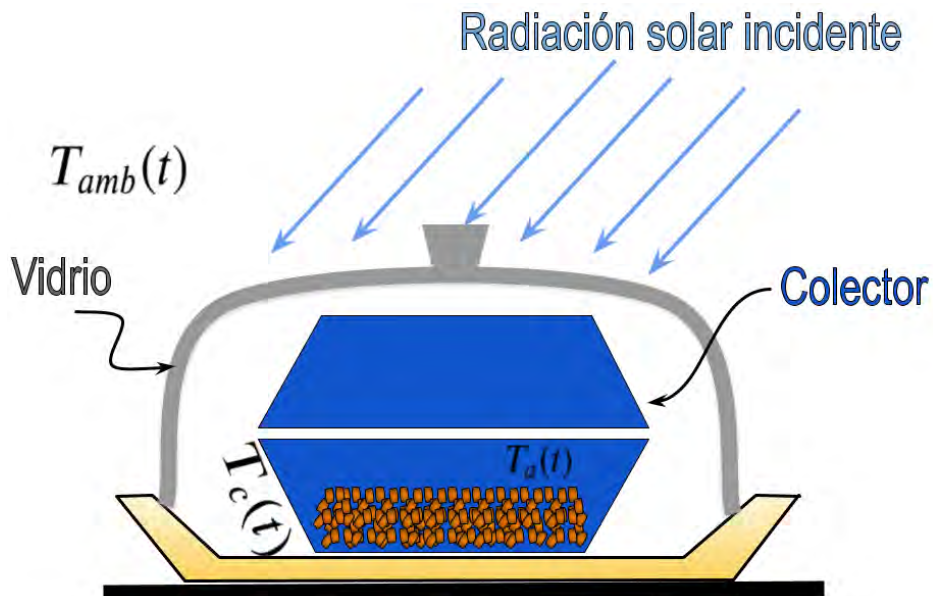


Figura 7: Inicio de la cocción del alimento

Como resultado del efecto invernadero y de convección, el calor se distribuye en el interior del domo de cristal, alcanzando temperaturas mayores a los 70 °C que contribuyen a la cocción de los alimentos como se muestra en la Figura 7.

1.3. Justificación

Este trabajo de investigación genera aportaciones importantes a los problemas prioritarios que corresponden a tres principalmente: la soberanía alimentaria, a la salud y al tema de energía, en el sentido de que ofrece una fuente alterna para la cocción de alimentos de manera segura.

Si bien el estudio de los acumuladores térmico solares es amplio y variado, en éste documento de tesis el impacto esperado es hacia los dimensionamientos físicos, las propiedades translúcidas, de almacenamiento, convección y radiación térmica para aprovechar el efecto de la energía y que a su vez logré temperaturas superiores a los 70 °C necesarios requeridos para la cocción de alimentos.

1.4. Generalidades

Actualmente las energías sustentables se desarrollan en forma exponencial, como fuentes alternas, ecológicas, renovables, no contaminantes y amigables con el medio ambiente, proveyendo un modo de energía alterna para satisfacer las necesidades del hombre. Haciendo uso de la radiación solar en forma de poder calorífico, donde se puede calentar agua, secar frutas y verduras y cocinar alimentos.

En la búsqueda de energías limpias, asequibles, sostenibles uno de los objetivos primordiales así como preocupantes es la preservación del medio

ambiente, haciendo uso de energía que proviene del sol de una manera natural con apoyo de acumuladores y recipientes colectores para poder cocinar alimentos o calentar alimentos.

La energía solar se encuentra presente en gran parte del territorio nacional, de tal manera que al hacer uso de ella se puede disminuir altos costos y consumos de combustibles fósiles.

La radiación solar que se utiliza como energía térmica tiene la posibilidad de ser transmitida, almacenada o acumulada. Gracias a la energía solar se ha logrado el desarrollo de diferentes tipos de cocinas solares térmicas.

Debido a que las propiedades de algunos alimentos no requieren de altas temperaturas para llegar a su cocción se puede hacer uso de la energía calorífica, la cual llega en forma de radiación solar a la tierra, siendo una alternativa para los seres humanos en su alimentación.

Algunas de las formas para calentar agua o cocinar alimentos sin que intervengan los gases naturales, quema de leña, consumo de energía eléctrica es haciendo uso de las cocinas solares térmicas, ya que son dispositivos que tienen la capacidad de convertir la energía radiante proveniente del sol en poder calorífico. Mediante el uso de las cocinas solares térmicas se puede llegar a disminuir los consumos de los combustibles fósiles, los cuales impactan directamente en la contaminación del medio ambiente.

Los acumuladores térmicos solares suelen ser variados, debido a los dimensionamientos físicos, geometrías y sus propiedades translúcidas.

En la actualidad la cocción de los alimentos en su forma tradicional

es de suma importancia para la sobre vivencia del ser humano, por esta razón se busca nuevos métodos y dispositivos para satisfacer las necesidades alimentarias.

1.5. Revisión bibliográfica

A continuación, se presenta la revisión bibliográfica del tema de estudio. Los trabajos de investigación están relacionados con acumuladores térmicos solares de estudios teóricos y experimentales de los últimos ocho años.

1.5.1. Trabajos teórico experimentales

[Javi and Cadena \(2001\)](#) estudiaron en América Latina tres tipos de cocinas solares semejantes, respectivamente. Las comparativas se realizaron en una cocina solar tipo caja de barro y otra de materiales livianos en el mes de Julio de la localidad de los Valles de Calchanqués, región Noreste de Argentina por su buena radiación solar. El objetivo en realizar las pruebas en las cocinas solares fue medir la potencia en la cocción. Dando como resultado una diferencia de 50°C a favor de las cocinas de material liviano.

[González-Avilés et al. \(2017\)](#) estudiaron tres tipos de cocinas solares del tipo concentrador Parabólico Compuesto (CPC) de revolución; (a) Cocina Solar 1 (CS-1), (b) Cocina Solar “Jorhejpatarnskua” (CSJ) y (c) Cocina Solar Rural (CSR), con potencias de cocción estándar de 30, 103 y 130 W respectivamente. Por su mayor rendimiento térmico (20 %), los autores implementaron la cocina solar tipo (CSR), en una comunidad indígena del estado de Michoacán. Para su caracterización se utilizó la Norma ASAE S580 (American Society of Agricultural Engineers [ASAE-2003]). Se capacitó a cinco personas de la comunidad, (en su idioma natal)

para adoptar dicha tecnología a través de manuales de diseño, construcción y mantenimiento de las cocinas solares. Como resultados se obtuvo que del total de familias que recibieron la dotación de cocinas solares, el 85 % las utiliza de manera más frecuente durante los meses de abril y mayo. Con ello se genera un ahorro de recursos maderables del 30 % aproximadamente.

[Chepkurui and Biira \(2020\)](#) construyeron y evaluaron cuatro cocinas solares tipo embudo de diferentes longitudes con materiales económicos. Durante los experimentos se utilizaron cuatro ollas pintadas de negro mate, el fluido en su interior fue un litro agua, que dieron inicio a las nueve de la mañana y finalizando a las cinco de la tarde. Las mediciones de la temperatura del fluido fueron realizadas cada dos horas. Concluyendo que mientras más largo fue el embudo la eficiencia de la cocina solar fue mejor debido a que la superficie de captación solar fue mayor, los experimentos se realizaron en Nagongera, distrito de Tororo, Uganda.

[Battocchio et al. \(2021\)](#) realizaron un estudio bibliográfico de las cocinas solares donde la radiación proveniente del sol es de forma directa. La bibliografía que se analizó para este análisis enfatiza la necesidad de seguir investigando sobre las cocinas solares. Motivados en que el principal tema de discusión es el ahorro energético y el cuidado del medio ambiente. Concluyen que en la revisión bibliográfica para el caso de frutas y verduras, los rayos solares en su forma directa debilitan a las vitaminas y antioxidantes de algunos alimentos, proponen encontrar soluciones que dejen ingresar solo longitudes de onda que no sean tan agresivas para la correcta cocción de los alimentos.

[Lentswe et al. \(2021\)](#) realizaron una revisión bibliográfica de las cocinas solares tipo parábola (cilindro parabólico y disco parabólico). Utilizaron

aluminio como material para el reflector solar. Según el estudio concluyen que existen más cocinas solares de disco parabólico que las de cilindro parabólico, por lo tanto las cocinas solares tipo parábola predominan en su totalidad sobre las de tipo cilindro. Se debe realizar experimentos con otros materiales y diferentes configuraciones en la búsqueda ventajas competitivas de las cocinas solares.

[Ramírez Gil \(2021\)](#) diseñó y mejoró un prototipo de cocina solar tipo parábola. Las pruebas experimentales tuvieron una duración de 2 horas, y se hicieron mediciones de temperatura con intervalos de 5 minutos. Los instrumentos que se usaron fueron; una cámara termográfica, un termómetro digital y un piranómetro (para medir la radiación solar). Los experimentos dieron inicio a partir de las 6:00 a.m. y finalizaron a las 6:00 p.m. Las mejores condiciones de irradiación solar, que dieron origen al mayor incremento de temperatura fueron entre las 10:00 a.m. y las 4:00 p.m. (con una radiación solar de 800 W/m^2). Los resultados mostraron que se alcanzaron temperaturas máximas de 100°C para la olla y 90°C para su contenido.

[Apaolaza-Pagoaga et al. \(2022\)](#) diseñaron y construyeron cuatro cocinas solares tipo Crisol, muy similares entre sí. Las cocinas solares tipo Crisol son diseños recientes. La superficie reflectora considera dos áreas combinadas, una tipo cilíndrico parabólico y otra tipo rectangular plana. El diseño de estas cocinas solares permite que con solo dos orientaciones funcionen adecuadamente, (Sol Alto $60 - 65$ grados con 108.1 W y Sol Bajo $40 - 45$ grados con 101.5 W). Los prototipos se evaluaron en diferentes condiciones climáticas del año en la Universidad de Málaga, España. Durante las pruebas experimentales se siguió la metodología que establece la Norma ASAE S580.1. En total se realizaron 12 experimentos en configuración de Sol Bajo y 14 en la configuración Sol Alto.

Wassie et al. (2022) realizaron un estudio experimental del rendimiento y comportamiento en tres cocinas solares tipo caja. Los experimentos en las cocinas solares se realizaron sin reflectores, con reflectores de aluminio y con reflectores de cristal de espejo. Donde las temperaturas máximas alcanzadas fueron de: 91 °C, 112 °C y 161 °C respectivamente. Los tiempos de cocción de los experimentos utilizando pasta y arroz fueron los siguientes: a) cocina con reflectores de cristal de espejo fue de 17 minutos (pasta) y 53 minutos (arroz) b) cocina con reflectores de aluminio fue de 32 minutos (pasta) y 1 hora con 46 minutos (arroz). Concluyendo que el mejor desempeño es el de la cocina solar que tiene reflectores de cristal de espejo.

Aragaw and Adem (2022) desarrollaron, construyeron y realizaron simulaciones en un horno solar de tipo tubo. Las dimensiones de horno solar fueron las siguientes 0.1 m (diámetro y longitud) y 1 m (altura de la parábola) de 0.35 m. Donde para la simulación para la obtención del punto focal se utilizaron los programas SOLTRACE y COMSOL. Las pruebas experimentales se realizaron en tres diferentes días con los siguientes valores de eficiencia y aislamiento solar a) 44 % (305W/m^2), b) 42 % (259W/m^2), c) 38 % (232W/m^2), donde la temperatura máxima alcanzada del horno solar después de una hora fue de 127°C. Concluyendo que el horno solar de tubo directo tiene una mejor eficiencia que una cocina solar de tipo directo.

ESPINOZA et al. (2023) realizaron un estudio experimental con tres cocinas y un secador solares. Las cocinas son: **a) de caja tipo horno, b) tipo panel, c) tipo parabólica**. El estudio se realizó en la ciudad de Tepic, Nayarit. Durante las pruebas experimentales se tomó registro de la temperatura ambiente, la temperatura al interior del horno y la tempe-

ratura del recipiente colector, así como también de la radiación solar (en un intervalo de 800 a 1 000 W/m²). El tiempo promedio de cocción de los alimentos (cereales, leguminosas, proteínas y verduras) fue de 4 horas. Entre los resultados obtenidos se encontró que las cocinas solares tipo parábola y tipo panel son más eficientes ya que alcanzaron temperaturas de hasta 104 °C. Mientras que las de tipo horno alcanzaron temperaturas máximas de 86 °C. El secador solar alcanzó temperaturas máximas de 56 °C en operación de convección natural y de 58 °C en operación de convección forzada, con una radiación solar de 1 000 W/m².

[Imbert-Gonzalez et al. \(2023\)](#) realizaron un estudio teórico-experimental de una cocina solar tipo caja, en Santiago de Cuba. Se determinó el rendimiento térmico del prototipo, a través de mediciones de la temperatura ambiente mediante termómetros infrarrojos y de mercurio, de la placa absorbente, así como de la temperatura del alimento. Los intervalos de medición fueron cada 30 minutos, dando como resultado una eficiencia del 60 % a partir de tres horas expuestas a la radiación solar y posterior a las cinco horas y media de un 74 % en su eficiencia, observando que a medida que la exposición a la radiación es mayor, aumenta la eficiencia de la cocina solar. Los experimentos se realizaron desde las 11:00 hasta las 19:00 horas del día en el mes de septiembre de 2021.

[Tarifa et al. \(2023\)](#) elaboraron una cocina solar tipo horno tubular con un reflector concentrador parabólico compuesto (CPC). Las siguientes características del horno son: a) dos budineras 0.31 m x 0.12 m x 0.06 m cada una, b) un tubo de 0.13 m de diámetro y 0.65 m de largo que actuó como horno, de material de chapa galvanizada calibre 25. La superficie externa se pintó de color negro mate, para mayor aprovechamiento de la radiación solar. Los alimentos cocinados fueron; pan, budines, frutas, principalmente. Como resultados se obtuvo un buen desempeño de

la cocina solar tipo horno, ya que se alcanzaron temperaturas durante en invierno de hasta 120°C.

[Apaolaza-Pagoaga et al. \(2023\)](#) realizaron trabajos experimentales en tres cocinas solares similares entre sí del tipo panel (embudo), basados en la Norma ASAE 580.1 en la ciudad de Málaga, España. Se realizaron 48 experimentos de los cuales se llegó a la conclusión de que el incluir una tapa de vidrio aumenta la potencia de la cocina solar en un rango de 30 a un 40 %. Los resultados de los experimentos realizados contribuyeron a que los investigadores y desarrolladores de cocinas solares busquen una mejora en los diseños de los recipientes colectores para la cocción de alimentos.

[Aquilanti et al. \(2023\)](#) realizaron estudios experimentales en cuatro cocinas solares de tipo panel. Los estudios experimentales se realizaron en tres diferentes épocas del año en la localidad de Ancona, Italia. Dando como resultado que las cocinas Kimono y Funnel tuvieron un mejor rendimiento en cualquiera de los ángulos de orientación hacia el sol. La cocina Cookit demostró resultados eficientes solo para los ángulos de elevación media hacia el sol. Por otra parte, la cocina solar de doble panel no arrojó resultados buenos en los ángulos con poca elevación ya que su fluido no llegó al punto de ebullición.

[Getnet et al. \(2023\)](#) diseñaron y realizaron varias pruebas experimentales en una cocina solar con un colector de placa plana con un material de cambio de fase. En el trabajo de Getnet se realizó un estudio comparativo de la cocina solar, sin reflectores y con reflectores (cuatro reflectores) que incidieron de forma directa hacía el recipiente colector, dando el siguiente resultado, un aumento de un 42 % de radiación solar en comparación a no utilizar reflectores.

Ceviz et al. (2024) realizaron un amplio estudio bibliográfico sobre los diseños y funcionalidad de los diferentes tipos de cocinas solares (cocinas directas y cocinas indirectas), así como sus ventajas. Con la importancia que deben tener los temas del medio ambiente, los económicos, y los sociales, buscando la erradicación de la demanda energética. Este estudio se basa en el aprovechamiento de la radiación solar como fuente de energía calorífica para la cocción de alimentos contribuyendo como una alternativa sostenible y eficiente. Los investigadores siguen realizando pruebas para los nuevos diseños de las cocinas solares y sus materiales. Buscando una mejora en los métodos de cocción y su eficiencia, ofreciendo una amplia alternativa ecológica sobre las cocinas convencionales.

Hernández-Romero et al. (2024) realizaron un estudio teórico con dos cocinas solares a) tipo convencional y b) tipo prisma hexagonal en el estado de Puebla, con dos escenarios y características climáticas diferentes. Los parámetros proporcionados para la temperatura ambiente se fijaron de manera manual, para la primera fecha fue de 25 °C cielo despejado, por otra parte, para la segunda fecha fue de 20 °C con cielo nublado. Concluyendo que las simulaciones de la cocina tipo caja convencional requirió de una reorientación cada 30 minutos, llegando a una temperatura máxima de 80 °C. La cocina tipo prisma hexagonal alcanzó temperaturas de 115 °C, teniendo una diferencia de 35 °C mayor sobre la de tipo convencional.

Jaime et al. (2024) realizaron un estudio experimental de una cocina solar con tres antenas de uso comercial. Para la construcción del prototipo utilizaron material reciclable. Dos de las antenas utilizadas se cubrieron con fragmentos de espejo de 3 x 3 cm², mientras que la tercera se recubrió con recuadros de papel tipo espejo de 4 x 4 cm². El estudio se realizó en la ciudad de México, con una radiación solar máxima de 700 W/m². Con la finalidad de determinar la potencia de la cocina solar si utilizó la Nor-

ma ASAE-S580.1 De la Sociedad Americana de Ingeniería Biológica y de Agricultura. Durante la cocción de alimentos se alcanzaron temperaturas máximas de 147°C.

González et al. (2024) realizaron experimentos comparativos en cuatro cocinas solares tipo parábola en el Sur de la república mexicana del municipio de Suchiapa, Chiapas (latitud de 16.63° Norte). En los experimentos agregaron espejos en las cocinas con la finalidad de tener una mayor concentración de energía térmica. Las dimensiones de las parábolas fueron de 80 cm de diámetro y 20 cm de profundidad. Los materiales fueron reciclados para su construcción (lamina metálica reforzada). Durante los experimentos utilizaron 4 ollas de diferentes materiales: a) Peltre, b) Aluminio, c) Peltre con tapa y d) Aluminio con tapa y su contenido fue agua. Los experimentos dieron inicio a las 08:00 horas del día. Se utilizó un termómetro laser que midió la temperatura de la cocina solar y la base del recipiente colector. La temperatura del agua se midió por medio de un termómetro de mercurio. Como resultado de los experimentos de las ollas sin tapa no se logró un punto de ebullición, donde las temperaturas máximas alcanzadas fueron de 62 °C. En el segundo experimento con las mismas ollas, pero con tapa se alcanzaron temperaturas de 83 °C a 90 °C.

1.6. Conclusiones de la revisión bibliográfica

Finalizada la revisión bibliográfica podemos concluir lo siguiente:

- Existen diversas formas en las cuales se pueden cocinar los alimentos.
- Los acumuladores térmicos solares son fáciles de construir y económicos.

- Las temperaturas requeridas para una correcta cocción de algunos alimentos deben ser ligeramente superiores a 70 °C.
- Los tipos de cocinas solares con mayor eficiencia son los de tipo panel y parábola que incluyen aluminio o están forrados de pequeños fragmentos de vidrio para una mejor concentración de la energía, a diferencia de las cocinas solares de tipo horno.
- Donde las cocinas solares de tipo panel y parábola, llegan a alcanzar temperaturas máximas de hasta 104 °C por arriba de las cocinas solares de tipo horno donde se reportaron temperaturas máximas alcanzadas de 85 °C.
- Algunas de las limitaciones de las cocinas solares que se tomaron en cuenta son los días lluviosos, con nubosidad y con poca radiación solar.
- Basados en la revisión bibliográfica se puede notar que los estudios, pruebas y la construcción de las cocinas solares continúan vigentes en la actualidad.

Por lo tanto, en el presente trabajo de tesis se plantean los siguientes objetivos:

1.7. Objetivo general

- Diseñar y construir un prototipo para la cocción de alimentos a escala doméstica, a partir de la asimilación de radiación solar, aprovechando la selección adecuada de materiales por sus propiedades térmicas y los puntos de cocción de los alimentos considerados.

1.8. Objetivos específicos

- Proponer un modelo dinámico térmico solar.
- Diseñar un prototipo donde se realicen experimentos y análisis del comportamiento de las variables.
- Seleccionar un grupo de alimentos a partir del análisis teórico y experimental cuyo punto de cocción se pueda reproducir con el acumulador térmico solar.

1.9. Alcances

- Cocinar tres diferentes recetas culinarias de alimentos por medio del acumulador térmico solar.
- El prototipo experimental es a una escala que solo permite la cocción de una sola ración.
- Los alimentos involucrados se pueden cocinar a temperaturas mayores o iguales a 70 °C .

1.10. Limitaciones

- Cocción nula en días nublados, lluviosos y por la noche.
- La orientación del acumulador térmico hacia el sol es de forma manual.
- Los tiempos de cocción de los alimentos seleccionados tienen un promedio de tres horas con cocciones lentas.

1.11. Estructura de la tesis

Este trabajo de tesis se compone de seis capítulos donde se abordan los hallazgos teórico experimentales encontrados durante la escritura del presente documento.

En el **capítulo 1** se realiza una revisión bibliográfica relacionada con las cocinas solares térmicas, propiedades, dimensiones y su funcionamiento. En el **capítulo 2** se presenta el marco teórico del tema de tesis. En el **capítulo 3** se realiza el desarrollo del modelo físico y matemático de una y dos placas de hierro expuestas a la radiación solar. En el **capítulo 4** se presentan los resultados del algoritmo del modelo matemático de una y dos placas de hierro expuestas a la radiación solar. En el **capítulo 5** se realizan diferentes experimentos de cocción de 3 alimentos seleccionados. En el **capítulo 6** se presentan las conclusiones del trabajo de tesis así como algunas sugerencias para trabajos futuros relacionados con los acumuladores térmico solares. En el **Anexo A.1** Se muestra y desarrolla la construcción de una parábola como representación de un concentrador térmico. En el **Anexo A.2** Se muestra la base y el domo de cristal como elementos que conforman el acumulador térmico solar. En el **Anexo A.3** Se muestran dos cacerolas de hierro como recipiente colector de los alimentos a cocinar. En el **Anexo A.4** Se muestra un dispositivo análogo para poder realizar la toma de las temperaturas al interior del domo de cristal.

Capítulo 2

Marco teórico

En este capítulo se plantearon los antecedentes de los acumuladores térmico solares, así como las propuestas de erradicación de los consumos de gases naturales, la quema de leña y el uso de la electricidad para la cocción de alimentos.

2. Marco teórico

2.1. Primera ley de la termodinámica.

Si bien es sabido y retomando la primera ley de la termodinámica formulada por el ingeniero, científico y militar francés Nicolas Léonard Sadi Carnot en 1824, en la cual establece que la energía no se crea ni se destruye, ésta simplemente se transforma. Para poder llegar a comprender de manera natural dicho principio se puede ejemplificar en algunos casos de nuestra vida diaria, de tal forma que se pudo relacionar de la siguientes formas:

Ejemplo 1.- Al momento de consumir los alimentos la energía química de ellos, nuestro sistema puede ser capaz de transformarlos a energía cinética al momento de realizar ciclismo o por el simple echo de caminar, como se muestra en la Figura 8.

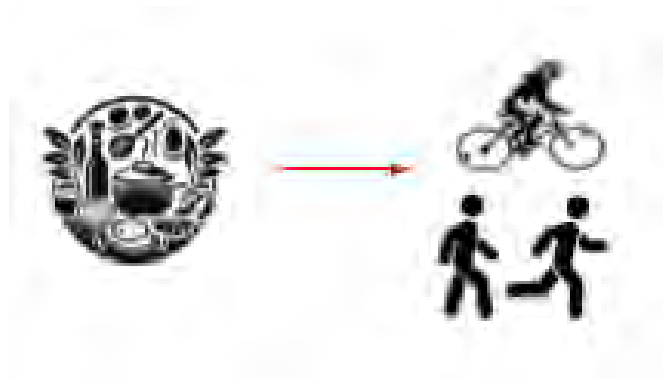


Figura 8: Energía química a cinética

Ejemplo 2.- La radiación proveniente del sol se convierte en energía térmica capaz de calentar y llevar a la cocción los alimentos, como se muestra en la Figura 9.

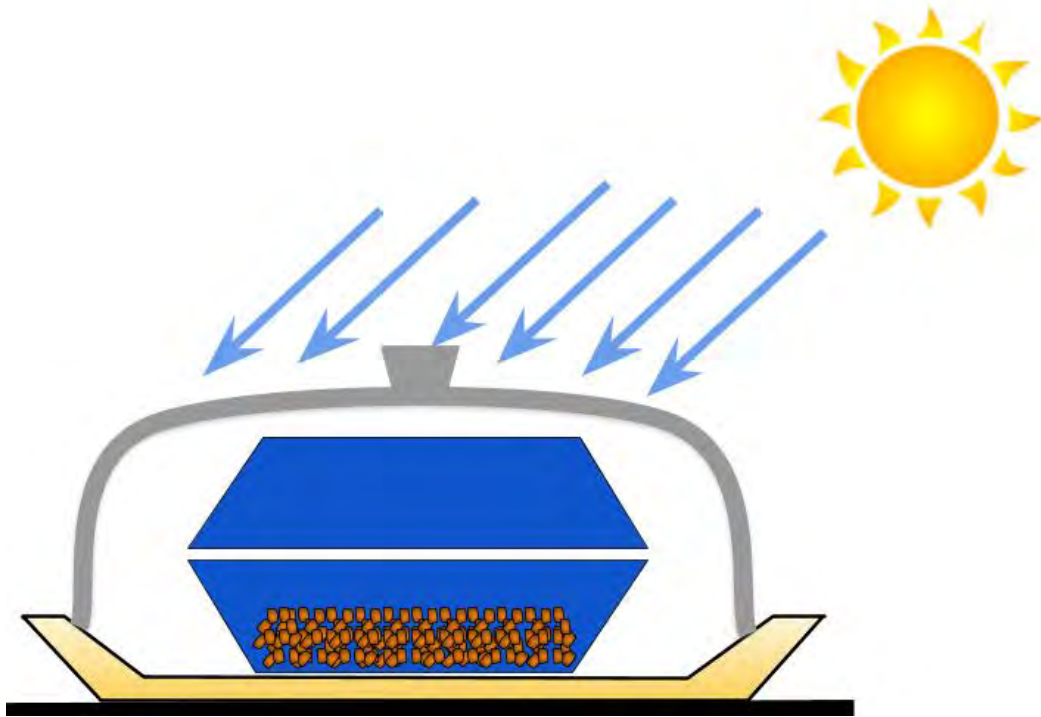


Figura 9: Radiación solar a energía térmica

2.2. Acumulador térmico

Un acumulador térmico solar es un dispositivo capaz de convertir la radiación proveniente del sol en energía calorífica en su interior, que a su vez la distribuye por convección en un fluido, agua o alimento, dependiendo de la radiación solar durante el día.

En la actualidad existen dos tipos de acumuladores térmicos solares, los cuales se describen de la siguiente manera:

- Los no concentradores, es decir son los que hacen uso de su propia área como se puede observar en la Figura 10, la cual tiene contacto directo con la radiación solar, la radiación solar es transformada en energía calorífica, ejemplificado en una lamina de hierro, como lo podemos visualizar en la siguiente figura:

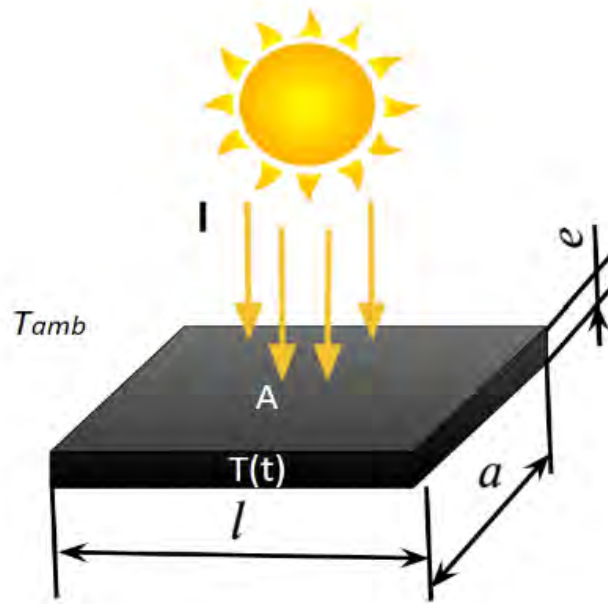


Figura 10: Una placa de hierro expuesta a la radiación solar

por otra parte

- Los concentradores, un acumulador térmico solar concentrador tiene la característica de ser cóncavo, en donde la radiación solar incide en espejos o aluminio, es reflejada hacía un punto específico donde se encuentra el colector con los alimentos en su interior, los acumuladores térmicos concentradores son ideales para temperaturas altas. Un acumulador térmico concentrador es la vertebra fundamental de este trabajo de tesis, ya que por medio de este dispositivo o accesorio se concentra e intensifica la energía radiante proveniente del sol y es transformada en calor, la energía calorífica es utilizada para calentar o cocinar cualquier tipo de alimento.

Donde

La radiación solar incide de dos formas en el acumulador térmico como se menciona con anterioridad y a continuación se explican:

- De forma directa, donde la radiación solar incide en el acumulador o domo de cristal que a su vez contiene en su interior de forma centrada un recipiente colector donde se encuentran los alimentos en conjunto con los ingredientes necesarios de una receta culinaria, los cuales se pueden llevar a una cocción.
- Por concentración, apoyados de espejos o papel aluminio es reflejada la radiación solar hacia el acumulador térmico y el recipiente colector con los alimentos en su interior y de esta manera intensificar el calor para poder cocinar los alimentos en el interior del recipiente colector como se muestra en la Figura 11.

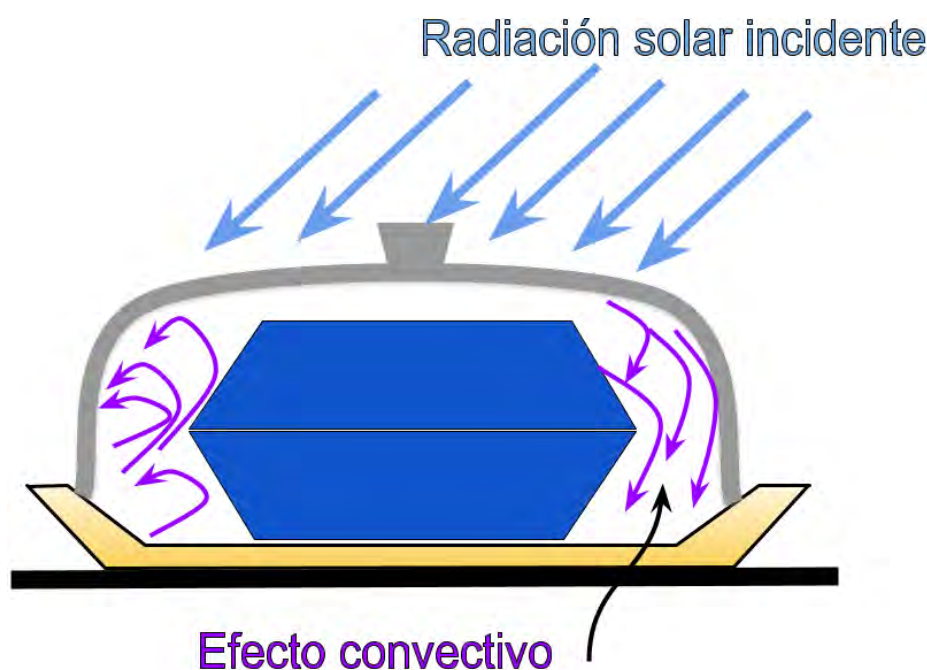


Figura 11: Caracterización del concentrador solar.

2.3. Captación solar

Para poder abordar la captación solar es necesario comprender de donde proviene dicha energía, siendo así que la energía proveniente del sol puede ser de diferentes formas las cuales pueden ser de forma directa, es

decir, la que llega de manera libre hasta la superficie de la tierra sin que esta tenga ninguna alteración, por otra parte la radiación difusa, esto sucede cuando la radiación es dispersada en varias direcciones por la misma atmósfera para finalmente llegar a la superficie terrestre.

El sol, estrella o esfera de plasma se compone de la siguiente manera, 75 % de hidrógeno, 24 % de helio y oxígeno en 1 %.

Para poder captar la energía proveniente del sol en forma de radiación solar y transformarla a energía calorífica se requiere del apoyo de elementos adicionales como paneles de aluminio o fragmentos pequeños de espejos encargados de reflejar la radiación solar hacia un punto en específico donde se encuentra el colector con los alimentos en su interior para poder ser cocinados.

2.4. Cocción de alimentos

Podemos interpretar a la cocción de los alimentos como uno o varios métodos y procedimientos donde se aplica poder calorífico donde uno de los puntos importantes es la eliminación y proliferación de bacterias existentes en los alimentos en su estado crudo, logrando con la aplicación de calor sabores agradables, suaves y seguros al momento de ingerirlos.

Donde el procedimiento de cocción tiene como objetivo lo siguiente:

- Que las características organolépticas de los alimentos sean las esperadas.
- Que durante la modificación de la estructura química de los componentes de los alimentos, no sea una limitante al momento de ingerirlos.
- Que se garanticen las propiedades de los alimentos así como la eliminación de los microorganismos patógenos [Lebrero \(2024\)](#).

Algunos de los métodos mas conocidos apegados al tema de tesis son los siguientes:

- Hervir: en el tema de tesis siendo el que mas se apega ya que la cocción se logra sumergiendo los alimentos e ingredientes en agua hasta llevarla a su punto de ebullición, es decir a temperaturas $\geq 100^{\circ}\text{C}$.
- Guisar: cocción temperaturas $\geq 70^{\circ}\text{C}$ y lentas donde los sabores de los ingredientes son mezclados y por su lenta cocción son intensificados, siendo su única desventaja que se requiere de largos tiempos en su cocción.
- Al vapor: Los alimentos son colocados sobre bases que a su vez están sobre agua que se lleva a punto de ebullición, pero el agua nunca llegan a tocar los alimentos, un método conocido como baño María, alguna desventaja podría ser que los alimentos no quedan en una forma crujiente sino mas bien suave.

Es importante asegurar que las temperaturas necesarias sean $\geq 70^{\circ}\text{C}$ para asegurar una cocción adecuada.

Algunos de los alimentos que no requieren temperaturas altas y logran su cocción superando los $\geq 70^{\circ}\text{C}$ son las lentejas, el arroz y el maíz, seleccionándolos como alimentos en su conjunto con algunos ingredientes para tres recetas a cocinar en este tema de tesis.

Siendo a su vez fuente importante en la canasta básica en la mayoría de las comunidades de la república Mexicana y sobre todo en el estado de Morelos.

2.4.1. Descripción de la cocción de los alimentos

Para una correcta cocción de las lentejas, el arroz o el elote, el agua es un elemento fundamental, ya que es la encargada de conducir y distribuir el calor dentro del recipiente colector, de tal forma que una parte de ella contribuye al efecto invernadero y la otra es absorbida por los alimentos o semillas en este caso.

2.4.2. Los ingredientes en la cocción

Los ingredientes son de suma importancia en un platillo ya que son los elementos adicionales que complementan una receta culinaria.

Derivado del estudio teórico de la radiación solar se procede al desarrollo del modelado físico y matemático de una placa expuesta a la radiación solar, la cual abordaremos en el siguiente capítulo.

Capítulo 3

Modelos Térmicos Dinámicos Propuestos

En este capítulo se presenta el modelo físico y matemático proveniente a raíz de la primera ley de la termodinámica de una placa expuesta a la radiación solar, con el objetivo de comprender el comportamiento de su temperatura.

3. Modelos Térmicos Dinámicos Propuestos

3.1. Un modelo dinámico térmico de una placa expuesta a la radiación solar.

Con el propósito de comprender el comportamiento de la temperatura en una placa de hierro expuesta a la radiación solar de un determinado material homogéneo, se propone un modelo físico y su correspondiente modelo matemático el cuál se aborda de manera preliminar como se puede observar en la Figura número 12.

Consideremos la siguiente imagen donde se puede observar una placa de hierro, la cual se aproxima a una cocina solar de tipo no concentrador, ya que utiliza su misma área para recibir y distribuir el calor en ella.

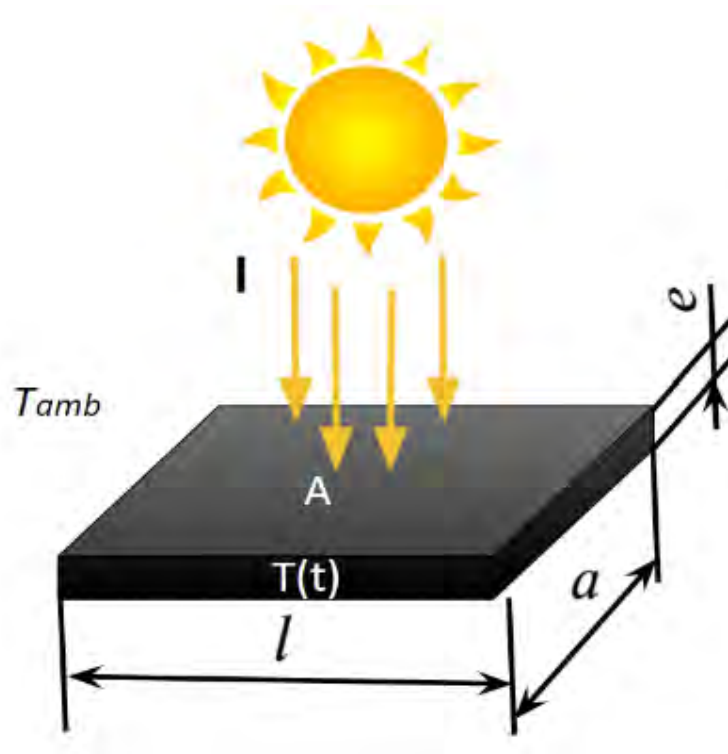


Figura 12: Una placa expuesta a la radiación solar

Donde

las variables y parámetros resultantes son los siguientes

I : *es la radiación solar, W/m^2*

A : *es el área en contacto con el medio ambiente, m^2*

T_{amb} : *es la temperatura ambiente, $^{\circ}\text{C}$*

T(t) : *es la temperatura instantánea de la placa, $^{\circ}\text{C}$*

m : *es la masa de una placa, kg*

c : *es el calor específico de una placa, $\text{J/kg}\cdot^{\circ}\text{C}$*

S : *es el área de una placa en contacto con el medio ambiente, m^2*

como se pudo observar, la energía incidente es determinada por la radiación que proviene del sol.

De tal forma que el modelo térmico dinámico propuesto provino de la primera ley de la termodinámica, (principio de la conservación de la energía), expresada por la Ecuación (1).

$$\Delta E_{syst} = E_{in} + E_g - E_{out} \quad (1)$$

donde:

E_{in} : *Energía de entrada*

E_g : *Energía generada*

E_{out} : *Energía de salida*

Siendo el siguiente resultado

ΔE_{syst} : *es el incremento en el systema*

$$E_{in} = A \cdot I(t) \quad (2)$$

continuando con la Ecuación (1) la energía generada es cero y la expresamos de la siguiente manera

$$E_g = 0$$

la energía de salida en la Ecuación (1) está asociada a la ley de enfriamiento de Newton, es decir

$$\dot{E}_{out} = \alpha S \cdot (T(t) - T_{amb}) \quad (3)$$

Donde:

α es un coeficiente asociado a la convección

el incremento de la energía en el sistema por definición es

$$\Delta \dot{E}_{sys} = mc \frac{dT}{dt} \quad (4)$$

retomando la ecuación (1) y sustituyendo lo previamente definido se tiene que

$$A \cdot I(t) + 0 - \alpha S \cdot (T(t) - T_{amb}) = mc \frac{dT}{dt} \quad (5)$$

finalmente el modelo dinámico térmico de una placa expuesta al sol se expresa de la siguiente manera

$$\frac{dT}{dt} = -\frac{\alpha S}{mc} (T(t) - T_{amb}) + \frac{A}{mc} I(t) \quad (6)$$

$$T(0) = T_{ini};$$

En la siguiente sección se abordará la interpretación de los tres términos involucrados que componen la ecuación diferencial del modelo dinámico térmico solar.

3.1.1. Interpretación de los términos

El término $\frac{A}{mc} I(t)$ corresponde a la energía de entrada del sistema, que se manifiesta en un incremento de la temperatura, derivado de la radiación solar. Observe que el término es positivo toda vez que la radiación no sea cero, por lo que se aporta incremento en la temperatura de la placa y este es asociado al efecto de la radiación.

El término $\frac{\propto S}{mc} (T(t) - T_{amb}(t))$ incrementa o reduce la temperatura de la placa, dependiendo de la temperatura ambiente, es decir, si sucede la siguiente desigualdad, siendo este termino asociado al efecto convectivo.

$$-\frac{\propto S}{mc} (T(t) - T_{amb}(t)) > 0 \quad (7)$$

entonces la temperatura ambiente favorece el incremento de la temperatura de la placa, ya que

$$T(t) < T_{amb}(t) \quad (8)$$

por otro lado, si sucede esta otra desigualdad

$$-\frac{\propto S}{mc} (T(t) - T_{amb}(t)) < 0 \quad (9)$$

entonces la temperatura ambiente favorece el decremento de la temperatura de la placa que corresponde a la ley de enfriamiento de Newton, ya que

$$T(t) > T_{amb}(t) \quad (10)$$

3.1.2. Interpretación del perfil de la temperatura y su derivada

En la Figura 13 podemos observar e interpretar el comportamiento de la temperatura de una placa de hierro expuesta a la radiación solar, generando tres efectos, si la Ecuación (1) tiene la parte derecha positiva, negativa o igual a cero.

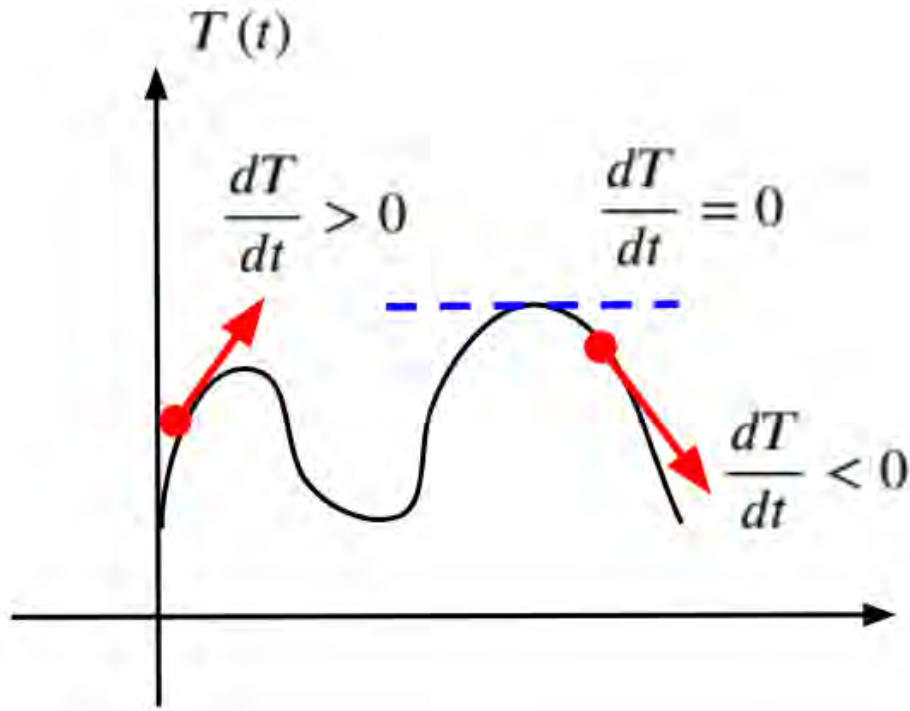


Figura 13: Comportamiento de la temperatura de una placa expuesta a la radiación solar

donde

si el $\frac{dT}{dt} > 0$, existe un incremento en la temperatura de la placa

por otro lado si el comportamiento del $\frac{dT}{dt} < 0$, la temperatura de la placa tiende a disminuir,

de lo contrario, si el comportamiento de la placa de hierro es el siguiente $\frac{dT}{dt} = 0$, la temperatura de la misma es constante.

3.2. Un modelo dinámico térmico de dos placas expuestas a la radiación solar

Continuando con el modelado, en ésta sección consideremos la Figura 14 en la que se muestra un par de placas emparedadas con un material conductor entre ellas, con el fin de comprender el intercambio de tempe-

raturas entre ellas las cuales cuentan con distintas dimensiones.

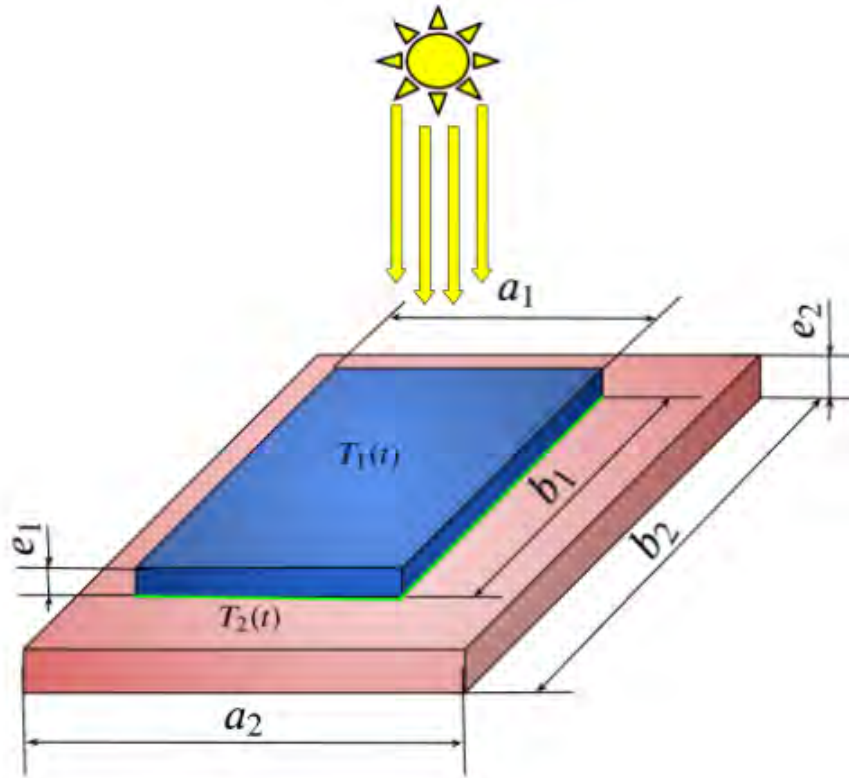


Figura 14: Dos placas empaladas expuestas a la radiación solar

una vista frontal que detalla un material conductor de grosor L representado en la figura 15.

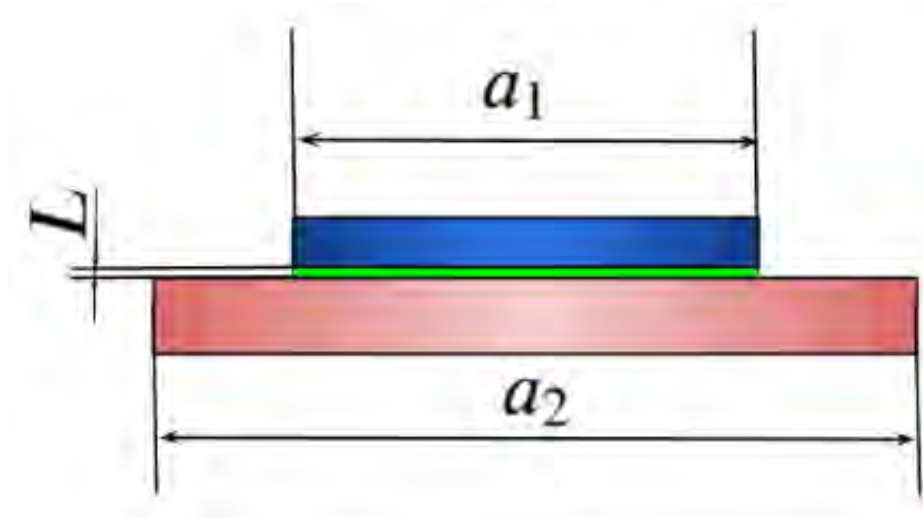


Figura 15: Vista frontal de dos placas empaladas

Las ecuaciones diferenciales de primer orden del modelo correspondiente a dos placas emparedadas expuestas a la radiación solar se representa a continuación.

$$\frac{dT_1(t)}{dt} = -\frac{\alpha_1 S_1}{m_1 c_1} (T_1(t) - T_{amb}) + \frac{A_1}{m_1 c_1} I - \frac{\lambda A_1}{m_1 c_1 L} \cdot (T_1(t) - T_2(t)) \quad (11)$$

$$\frac{dT_2(t)}{dt} = -\frac{\alpha_2 S_2}{m_2 c_2} (T_2(t) - T_{amb}) + \frac{A_2}{m_2 c_2} I - \frac{\lambda A_1}{m_2 c_2 L} \cdot (T_2(t) - T_1(t)) \quad (12)$$

$$T_1(0) = T_{1ini};$$

$$T_2(0) = T_{2ini};$$

donde

I es la radiación solar, W/m²

A_j es el área de la placa *j* en contacto con radiación solar, m²

T_{amb} es la temperatura ambiente, °C

T_j(t) es la emperatura instantánea de la placa *j*, °C

m_j es la masa dela placa *j*, kg

c_j es el calor especifico de la placa *j*, J/kg·°C

S_j es el area en contacto con el medio ambiente de la placa *j*, m²

L es el material conductor entre las dos placas emparedadas ,mm

3.2.1. Método de solución de las ecuaciones diferenciales para dos placas de hierro.

Para poder realizar la simulación entre las dos placas emparedadas de hierro, la solución de las ecuaciones diferenciales resultantes se utilizó el

método de Euler.

dónde las soluciones se presentan a continuación

$$T_1(t_{k+1}) = T_1(t_k) + \delta \left[-\frac{\alpha_1 S_1}{m_1 c_1} (T_1(t_k) - T_{amb}) + \frac{A_1}{m_1 c_1} I(t_k) - \frac{\lambda A_1}{m_1 c_1 L} \cdot (T_1(t_k) - T_2(t_k)) \right] \quad (13)$$

$$T_2(t_{k+1}) = T_2(t_k) + \delta \left[-\frac{\alpha_2 S_2}{m_2 c_2} (T_2(t_k) - T_{amb}) + \frac{A_2}{m_2 c_2} I(t_k) - \frac{\lambda A_1}{m_2 c_2 L} \cdot (T_2(t_k) - T_1(t_k)) \right] \quad (14)$$

Desarrollados y finalizados los algoritmos correspondientes se desarrollaron las simulaciones con el objetivo de comprender el comportamiento de la radiación solar representada en una placa de hierro las cuales se observan en el siguiente capítulo.

Capítulo 4

Resultados teóricos del modelo matemático

En este capítulo se muestran los resultados numéricos del modelo térmico dinámico.

4. Resultados teóricos experimentales

4.1. Registros experimentales de una placa expuesta a la radiación solar

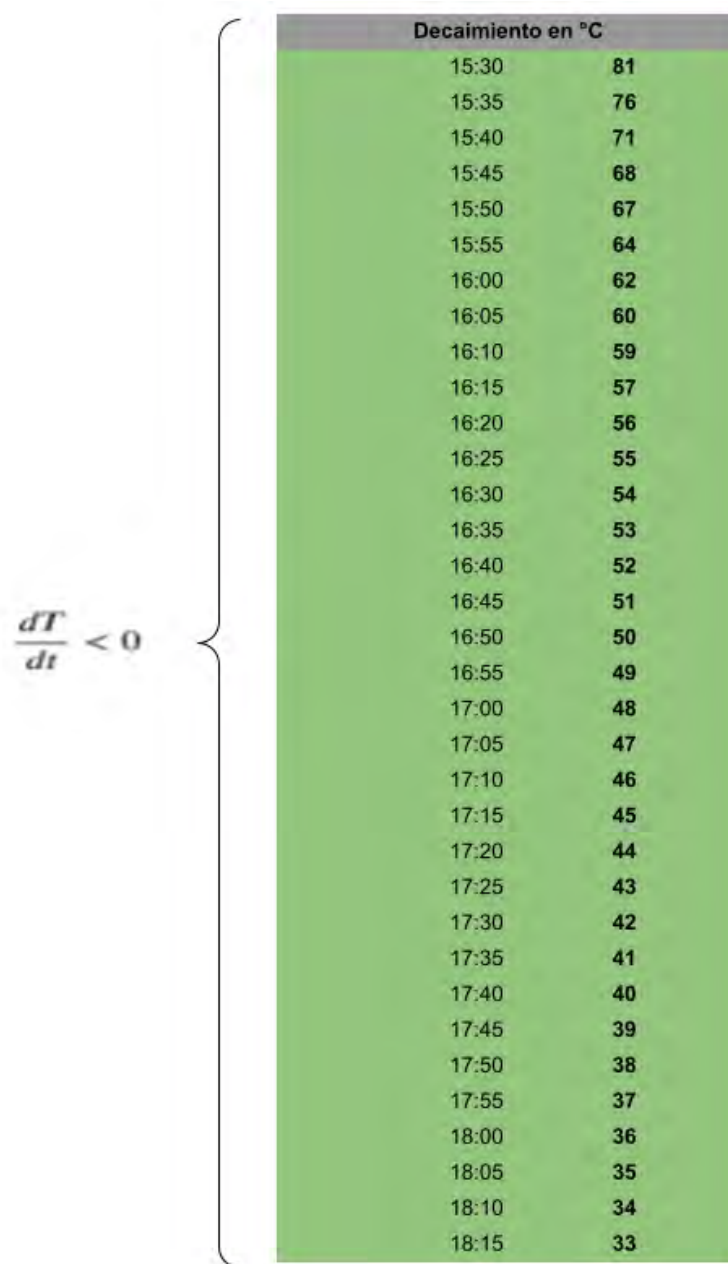
A continuación se presenta los registros experimentales de una placa de hierro expuesta a la radiación solar, los datos que se muestran están expresados en horas y temperaturas correspondientes al mes de marzo de 2024.

Observe la Figura 16, donde se registran las temperaturas de una placa de hierro expuesta a la radiación solar de manera experimental.

LECTURAS DE TEMPERATURA			
Hora	c/domo en °C	Hora	s/domo en °C
11:40	33	13:35	30
11:45	46	13:40	38
11:50	49	13:45	39
11:55	52	13:50	43
12:00	55	13:55	43
12:05	58	14:00	44
12:10	58	14:05	53
12:15	59	14:10	54
12:20	59	14:15	54
12:25	59	14:20	58
12:30	59	14:25	65
12:35	59	14:30	72
12:40	59	14:35	75
12:45	59	14:40	77
12:50	59	14:45	78
12:55	59	14:50	78
13:00	59	14:55	79
13:05	59	15:00	79
13:10	59	15:05	80
13:15	59	15:10	81
13:20	59	15:15	81
13:25	59	15:20	81
13:30	59	15:25	81

Figura 16: Registros experimentales de una placa de hierro expuesta a la radiación solar

En la Figura 17 se puede observar el decaimiento de la temperatura de manera experimental cuando ésta carece de radiación solar.



Decaimiento en °C	
15:30	81
15:35	76
15:40	71
15:45	68
15:50	67
15:55	64
16:00	62
16:05	60
16:10	59
16:15	57
16:20	56
16:25	55
16:30	54
16:35	53
16:40	52
16:45	51
16:50	50
16:55	49
17:00	48
17:05	47
17:10	46
17:15	45
17:20	44
17:25	43
17:30	42
17:35	41
17:40	40
17:45	39
17:50	38
17:55	37
18:00	36
18:05	35
18:10	34
18:15	33

Figura 17: Decaimiento de la temperatura de una placa de hierro

Para poder comprender e interpretar los datos experimentales del incremento y decaimiento del fenómeno de la temperatura de las Figuras 16 y 17 correspondientes a una placa de hierro expuestas a la radiación solar las cuales se muestran en la Figura 18.

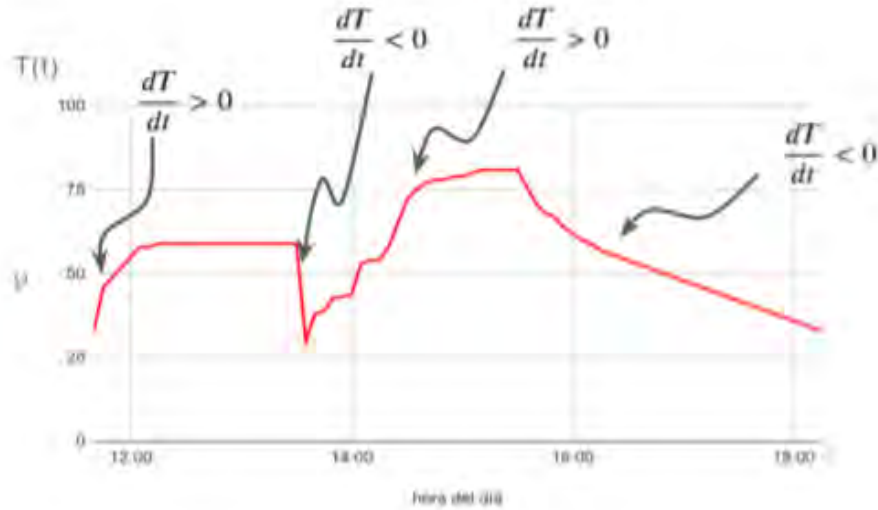


Figura 18: Comportamiento de la temperatura de manera experimental

4.2. Simulación de dos placas emparedadas

En esta sección se desarrolló la simulación de dos placas emparedadas, para la comprensión del intercambio de temperatura entre ellas, sus tendencias así como los resultados finales de la simulación mediante los algoritmos desarrollados por el método de Euler.

4.2.1. Objetivo de la simulación

Se trata de interpretar y comprender las tendencias de las temperaturas entre las placas 1 y la placa 2, dichas simulaciones se realizaron en el mes de marzo de 2024.

4.2.2. Desarrollo de la simulación

Dos placas emparedadas de hierro inician a temperaturas diferentes, donde se puede observar que la placa 2 $T_2(t_k)$ de color azul iniciando a una temperatura de 5 °C frente a la placa 1 $T_1(t_k)$ que tiene una temperatura de 28 °C representada en color rojo, donde se puede interpretar que la temperatura de la placa azul comienza a tener un aumento proveniente de la placa número 1.

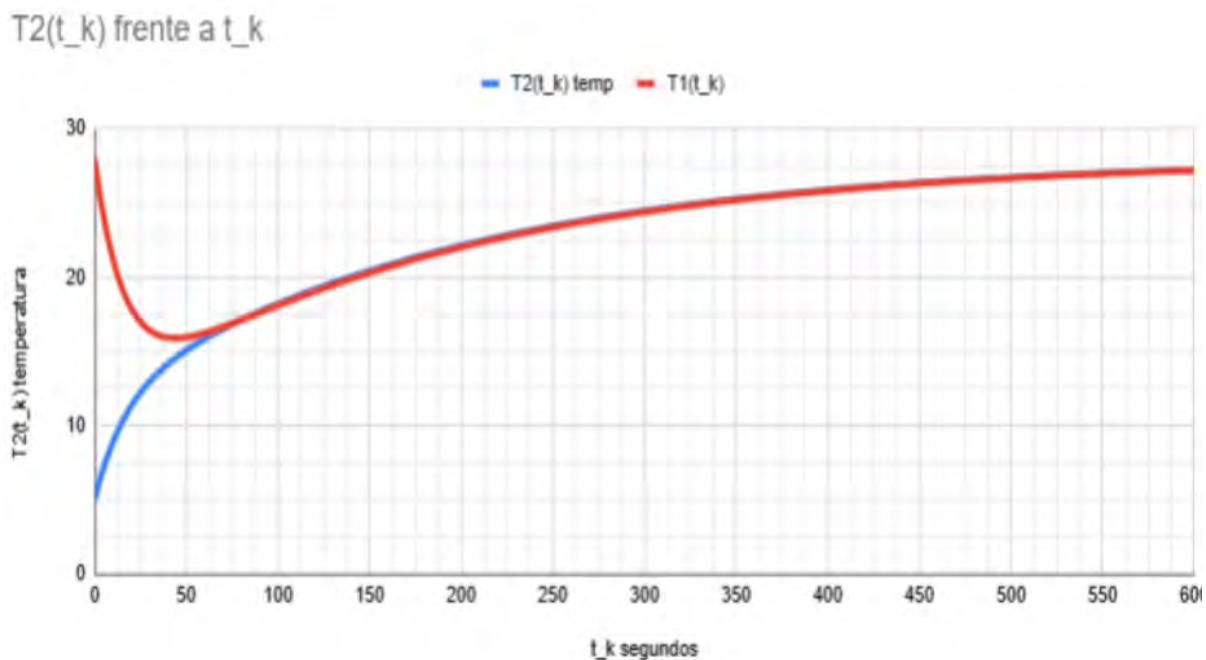


Figura 19: Gráfica de la simulación en dos placas emparedadas

4.2.3. Análisis de los resultados de la simulación

Como podemos observar en la Figura 19, que tanto la placa 1 $T_1(t_k)$ como la placa 2 $T_2(t_k)$ llegan aún instante en la que sus temperaturas se igualan a la temperatura ambiente y éstas se vuelven constantes.

4.2.4. Conclusiones de la simulación

Derivado de la interpretación de la Figura anterior, se observó la pérdi-

da o ganancia en las temperaturas de las dos placas emparedadas de hierro, dado que; la temperatura de la placa 2 $T_2(t_k)$ frente a la placa 1 $T_1(t_k)$, por consiguiente, si la placa 1 tiene una temperatura mayor a la del medio ambiente y la placa 2 con una menor temperatura, dichas placas de hierro tenderán a una misma temperatura es decir, sus temperaturas serán constantes e iguales a las del medio ambiente.

4.3. Modelo del recipiente colector de los alimentos.

En la siguiente sección se desarrolla y modela un cuerpo de hierro preliminar que corresponde al recipiente colector donde se depositaran los alimentos a cocinar, como se observa en la Figura 20, dicho modelo se aproxima al de una placa de hierro con exposición a la radiación solar.

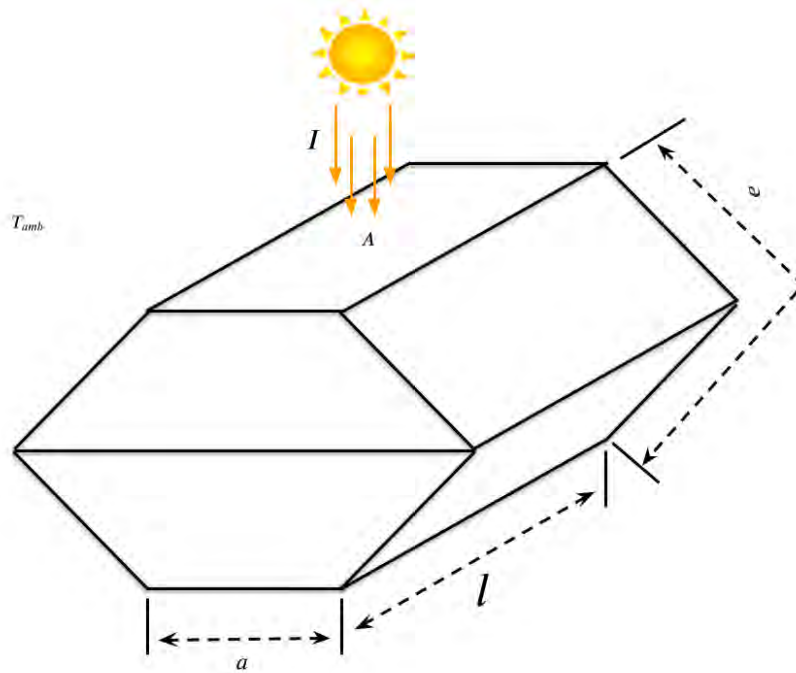


Figura 20: Modelo preliminar de un cuerpo de hierro, expuesto a la radiación solar

De forma implícita el recipiente colector se complementa de una base y un domo de cristal que en su conjunto forman el acumulador térmico solar, que a su vez se apoyan de espejos que reflejan la energía solar hacia

el domo de cristal generando un efecto invernadero como se observa en la Figura 21.

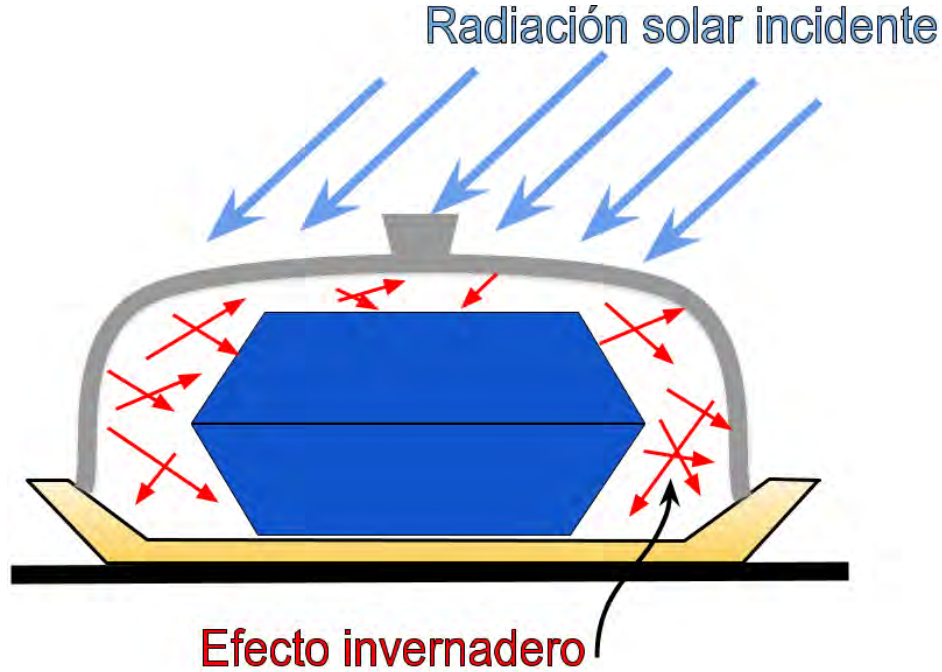


Figura 21: Efecto invernadero al interior del domo de cristal.

A continuación se muestra la ecuación diferencial de primer orden del modelo térmico dinámico que se conforma por tres términos.

$$\frac{dT}{dt} = -\frac{\alpha S}{mc} (T(t) - T_{amb}) + \frac{A}{mc} I(t) \quad (15)$$

donde los parámetros y dimensiones se componen de la siguiente manera:

a : 0.85 m

l : 0.12 m

e : 0.09 m

S : 0.04 *m*

A : 0.01 *m*

T_{amb} : 33 °C

C : 473 *J/(kg°C)*

T_{ini} : 33 °C

m : 0.14 *g*

δ : 5 *segundos*

donde los parámetros y la dependiente a resolver es la letra griega alfa, la cual se propone o define a prueba y error buscando que la trayectoria de la temperatura de la ecuación diferencial de primer orden se aproxime a los registros experimentales de la sección 4.2.2

Retomando el algoritmo

$$T(t_{k+1}) = T(t_k) + \delta \left(-\frac{\alpha S}{mc} (T(t_k) - T_{amb}) + \frac{A}{mc} I(t_k) \right) \quad (16)$$

el cual se obtuvo por el método de Euler se aprecia que la letra griega δ es el paso de integración, el cual se compone de cada 5 segundos.

Para poder realizar la construcción de la radiación solar $I(t_k)$ fue necesario obtener los datos reales de la radiación solar de la página oficial de la CONAGUA (<https://smn.conagua.gob.mx/>).

Observe la Tabla 2, donde la radiación solar en el instante (t_k) se tomó a una determinada hora y arrojó los siguientes datos.

Tabla 2: Incremento de la radiación solar

Construcción de la radiación		
t_k	hr	$I(t_k)$
$t_0 = 0seg$	11:40	$925W/m^2$
$t_{120} = 600seg$	11:50	$954W/m^2$
$t_{240} = 1200seg$	12:00	$967W/m^2$
$t_{360} = 1800seg$	12:10	$999W/m^2$

El modelo de interpolación para la radiación solar es el que se muestra a continuación.

$$I(t_k) = \begin{cases} 925, 0 \leq t_k < 600 \\ 954, 600 \leq t_k < 1200 \\ 967, 1200 \leq t_k < 1800 \end{cases}$$

donde se pudo observar de manera gráfica en la Figura 22.

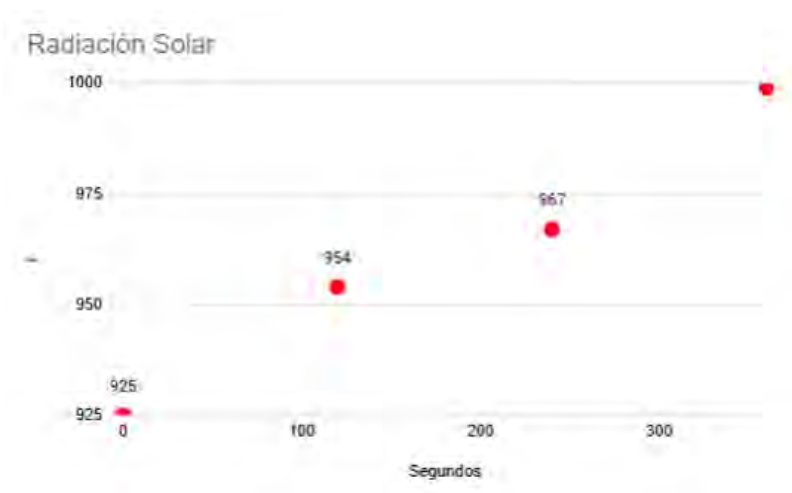


Figura 22: Radiación solar

Para poder realizar el cálculo o la selección de la letra griega α fue necesario calcularlo a prueba y error, donde se pudo observar las aproximaciones de manera gráfica de la Figura número 23.

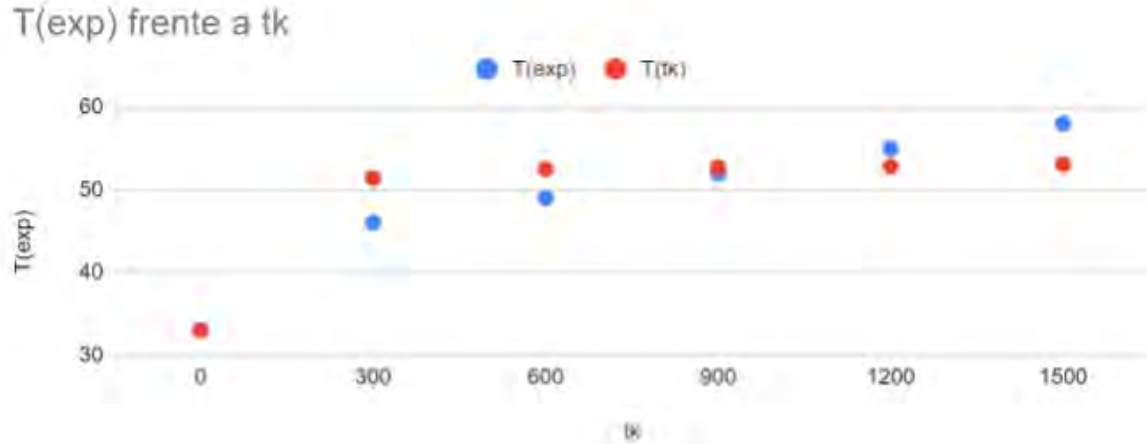


Figura 23: Aproximación de la temperatura a partir de datos experimentales a una simulación.

En la Tabla 3 se realizó la comparación de los datos experimentales T_{exp} frente a una simulación T_{t_k} , donde se observó las aproximaciones con un grado de error de 5.4.

Tabla 3: Aproximaciones de la radiación solar

t_k	$T_{(exp)}$	$T(t_k)$	$T_{(exp)} - T(t_k)$	$\text{abs}(T_{(exp)} - T(t_k))$
0	33	33	0	0
300	46	51.4360969	-5.436096903	5.436096903
600	49	52.49526052	-3.495260518	3.495260518
900	52	52.71193631	-0.7119363122	0.7119363122
1200	55	52.84913082	2.150869182	2.150869182
1500	58	53.11780632	4.882193677	4.882193677

Derivado de las simulaciones de una y dos placas de hierro emparedadas se procedió a realizar los experimentos de cocción de los alimentos, los cuales se muestran en el siguiente capítulo.

4.4. Conclusiones del modelo matemático.

A través del modelado matemático se puede comprender y representar el fenómeno del incremento de la temperatura, de tal forma que se puede llegar a pronosticar lo que va a suceder, para el caso de estudio en una y dos placas de hierro expuestas a la radiación solar.

Capítulo 5

Resultados experimentales

En este capítulo se realizaron los experimentos de cocción de tres recetas de alimentos con el modelo físico del acumulador térmico solar con y sin parábola.

5. Resultados experimentales de cocción.

5.1. Alimentos a cocinar.

5.1.1. Arroz.

El arroz es uno de los cereales presente en todo el mundo, el cual se produce y es consumido por los seres humanos en su dieta diaria, ya que aporta una gran cantidad de almidón, fibras, vitaminas y minerales [Bello \(2009\)](#), donde las temperaturas optimas para la correcta cocción de los granos de arroz debe de estar entorno a los 100 °C. La receta del arroz blanco fue seleccionada por estar dentro de los parámetros de temperaturas máximas que puede alcanzar el acumulador térmico solar.

5.1.2. Lentejas.

Las lentejas por su alto nivel nutricional son consumidas en gran parte del planeta en su mayoría por niños ya que cuentan con un alto nivel de proteínas, las cuales no necesitan temperaturas superiores a los 90 °C, de tal manera fueron seleccionadas para su cocción en el acumulador térmico solar [Bragança et al. \(2020\)](#).

5.1.3. Elote.

El cultivo más importante en México es el maíz hablando desde el punto de vista alimenticio ya que representa mas de 10 veces el consumo en comparativa frente a Estados Unidos de América. Es por eso que se selecciona para su cocción en el acumulador térmico en una de sus tantas recetas que se pueden consumir por el ser humano [Fernández Suárez et al. \(2013\)](#).

Por sus propiedades alimenticias, parecencia de vitaminas y el consumo dentro de la dieta en México se decide tomar en cuenta estos tres

alimentos para su cocción dentro del acumulador térmico solar ya que los tres requieren temperaturas no mayores a los 90 °C, mismos que el acumulador térmico solar puede alcanzar sin problema alguno.

5.2. Recetas.

Para poder llevar a cabo los experimentos preliminares de la cocción de los tres alimentos seleccionados es necesario tomar en cuenta los siguientes ingredientes y procedimiento, con las cantidades adecuadas para a una correcta cocción denominado receta culinaria.

5.2.1. Caldo de lentejas.

The recipe card is titled "Caldo de lentejas" in a large, bold, black font on an orange banner. Below the title, there are two main sections: "Ingredientes" and "Preparación". The "Ingredientes" section lists five items: Lentejas 250 ml, Agua 750 ml, Diente de ajo 1/4, Consomé de pollo 1/4, and Cucharada sopera de sal 1/4. The "Preparación" section lists three steps: Verter las lentejas en el recipiente colector en conjunto con sus ingredientes, Agregar 750 ml de agua, and Esperar un promedio de 3 horas para la cocción de las lentejas. At the bottom left, there is a clock icon and the text "Tiempo de preparación 3 horas" and "Porciones 1".

Caldo de lentejas

Ingredientes

- Lentejas 250 ml
- Agua 750 ml
- Diente de ajo 1/4
- Consomé de pollo 1/4
- Cucharada sopera de sal 1/4

Preparación

- Verter las lentejas en el recipiente colector en conjunto con sus ingredientes.
- Agregar 750 ml de agua.
- Esperar un promedio de 3 horas para la cocción de las lentejas.

 *Tiempo de preparación*
3 horas

Porciones 1

Figura 24: Receta 1

Utilice el acumulador térmico solar de la siguiente manera para realizar la receta 1:

Seleccione un lugar con insolación continua de al menos de 3 horas, en un horario entre las 10:00 y hasta las 17:00 horas del día.

Coloque la base de vidrio de manera centrada en el interior del concentrador solar el cual fue forrado en sus paredes de papel aluminio con el objetivo de generar una mayor concentración de energía calorífica en un lugar con vista directa

hacia el sol.

Coloque el recipiente colector de los alimentos de hierro sobre la base de vidrio de manera centrada.

Vierta los ingredientes en el interior del recipiente colector de los alimentos así como las lentejas.

Paso 1.- Coloque todos los ingredientes de la receta número uno en el interior del recipiente colector como se muestra en la Figura 25.



Figura 25: Alimento en el interior del recipiente colector.

Paso 2.- Tape el recipiente colector con sus ingredientes así como las lentejas en su interior, de igual forma cubrir con el domo de cristal en el centro del concentrador solar como se muestra en la Figura 26.



Figura 26: Inicio del experimento a una temperatura de 20 °C.

Paso 3.- Oriente en concentrador solar, el domo de cristal y el recipiente colector directamente hacia el sol.



Figura 27: Temperatura al interior del domo de cristal de 100 °C.



Figura 28: Temperatura máxima alcanzada superior a los 120 °C.

Paso 4.- Retire de manera cuidadosa la tapa de cristal del domo, cuidando no tener algún accidente por las temperaturas alcanzadas superiores a los 100 °C, como se puede observar en la Figura termo gráfica 29.

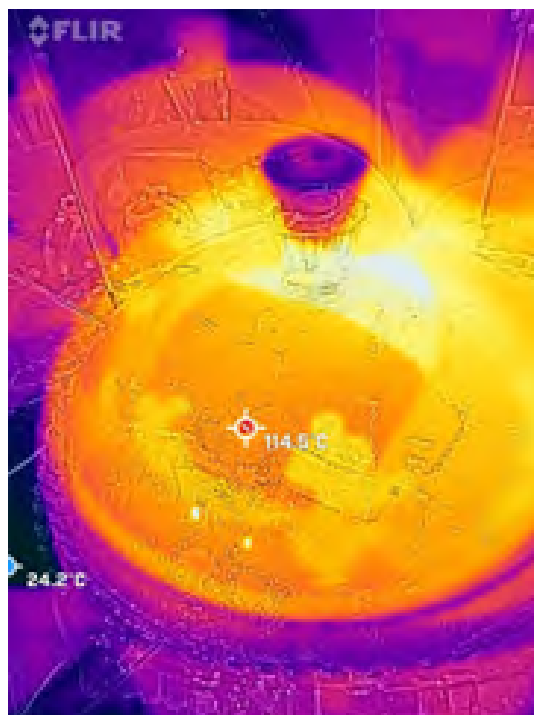


Figura 29: Temperatura superior a los 114 °C

Paso 5.- Destape el recipiente colector y se tomó fotografía termo gráfica observando que se llegó a una temperatura del alimento de 100 °C, como se muestra en la Figura térmica 30.

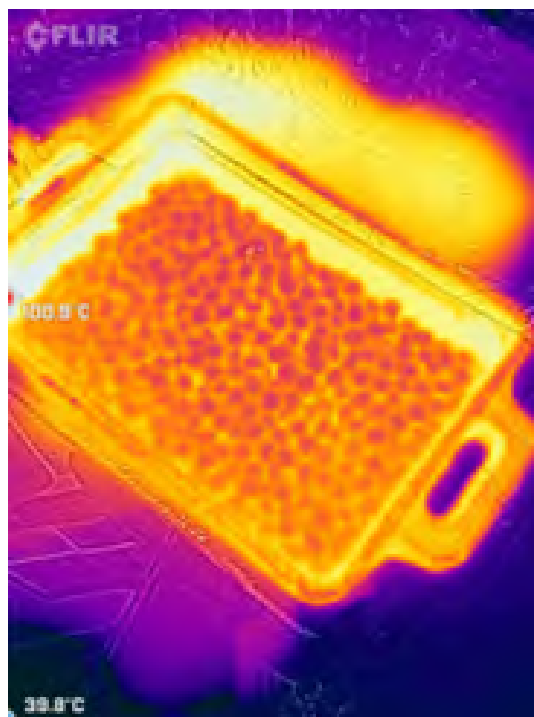


Figura 30: Cocción del alimento con una temperatura máxima alcanzada de 109 °C.

5.2.2. Arroz blanco.

Arroz blanco

Ingredientes

- Arroz 250 ml
- Agua 750 ml
- Diente de ajo $\frac{1}{4}$
- Consomé de pollo $\frac{1}{4}$
- Cucharada sopera de sal $\frac{1}{4}$

Preparación

- Verter el arroz en el recipiente colector en conjunto con sus ingredientes.
- Agregar 750 ml de agua.
- Esperar un promedio de 3 horas para la cocción del arroz.

 *Tiempo de preparación*
3 horas

Porciones 1

Figura 31: Receta 2

Utilice el acumulador térmico solar de la siguiente manera para realizar la receta 2:

De igual forma que en la receta 1 seleccione un lugar con insolación continua de por lo menos 3 horas, con un horario entre las 10:00 y hasta las 17:00 horas del día.

Coloque la base de vidrio en el interior de la parábola forrada en sus paredes de papel aluminio en el lugar seleccionado con vista directa hacia el sol.

Coloque el recipiente colector de hierro sobre la base de vidrio de manera centrada.

Vierta los ingredientes y las lentejas en el interior del recipiente colector.

Paso 1.- Coloque todos los ingredientes de la receta al interior del recipiente colector.

Paso 2.- Tape el recipiente colector con el alimento en su interior, así como el domo de cristal al centro del concentrador parabólico.

Paso 3.- Oriente la parábola, domo de cristal y recipiente colector directamente hacia el sol.

Paso 4.- Finalice el experimento retirando de manera cuidadosa la tapa de cristal del domo, cuidando no tener algún accidente por las temperaturas alcanzadas superiores a los 100 °C.

Paso 5.- Destape el recipiente colector y se tomó fotografía termo gráfica observando que se llegó a una temperatura del alimento de 101 °C.

5.2.3. Esquites.



The image shows a recipe card for 'Esquites' on a yellow background. At the top, the title 'Esquites' is written in a stylized font inside an orange banner. Below the title, there are two main sections: 'Ingredientes' (Ingredients) and 'Preparación' (Preparation). The 'Ingredientes' section is on the left and lists six items: Elote 250 ml, Agua 750 ml, Diente de ajo 1/4, Cucharada sopera de sal 1/4, Epazote, and Chile de árbol. Below this list is a clock icon with the text 'Tiempo de preparación 3 horas' and 'Porciones 1'. The 'Preparación' section is on the right and contains three steps: 1. Verter el elote en el recipiente colector en conjunto con sus ingredientes. 2. Agregar 750 ml de agua. 3. Esperar un promedio de 3 horas para la cocción de los esquites.

Esquites

Ingredientes

- Elote 250 ml
- Agua 750 ml
- Diente de ajo $\frac{1}{4}$
- Cucharada sopera de sal $\frac{1}{4}$
- Epazote
- Chile de árbol

 *Tiempo de preparación*
3 horas

Porciones 1

Preparación

- Verter el elote en el recipiente colector en conjunto con sus ingredientes.
- Agregar 750 ml de agua.
- Esperar un promedio de 3 horas para la cocción de los esquites.

Figura 32: Receta 3

Utilice el acumulador térmico solar de la siguiente manera para realizar la receta 3:

Seleccione un lugar con insolación continua de por lo menos 3 horas, con un horario entre las 10:00 y hasta las 17:00 horas del día.

Coloque la base de vidrio en el interior de la parábola forrada en sus paredes de papel aluminio en el lugar seleccionado con vista directa hacia el sol.

Coloque el recipiente colector de hierro sobre la base de vidrio de manera centrada.

Vierta los ingredientes así como el maíz en el interior del recipiente colector.

Paso 1.- Coloque todos los ingredientes de la receta al interior del recipiente colector.

Paso 2.- Tape el recipiente colector con el alimento en su interior, así como el domo de cristal al centro del concentrador parabólico.

Paso 3.- Oriente la parábola, domo de cristal y recipiente colector directamente hacia el sol.

Paso 4.- Finalice el experimento y retire de manera cuidadosa la tapa de cristal del domo, cuidando no tener algún accidente por las temperaturas alcanzadas superiores a los 100 °C.

Paso 5.- Destape el recipiente colector y se tomó fotografía termo gráfica observando que se llegó a una temperatura del alimento de 95 °C.

5.3. Resultados finales de las cocciones

Los resultados que se presentan en la Tabla 4 corresponden a los realizados sin el apoyo de un concentrador parabólico.

Tabla 4: Resultados preliminares

alimento	temperatura alcanzada
Lenteja	50°C
Arroz	58°C
Elote	56°C

Se realizaron los registros de los datos experimentales de cocción de los alimen-

tos como se muestra en la Tabla 5.

	Fecha	H_{ini}	H_{fin}	Alimento	T_{ini}^A	T_{fin}^A	T_{ini}^{re}	T_{fin}^{re}	I_s
Exp. 1	11.10.2024	10:00 hr	15:00 hr	Lentejas	16°C	50°C	23°C	71°C	895 $\frac{W}{m^2}$
Exp. 2	12.10.2024	08:30 hr	16:00 hr	Elote	20°C	56°C	22°C	52°C	782 $\frac{W}{m^2}$
Exp. 3	13.10.2024	07:30 hr	16:00 hr	Arroz	20°C	58°C	15°C	55°C	671 $\frac{W}{m^2}$

Tabla 5: Resultados experimentales preliminares

Los resultados preliminares para la cocción de las lentejas, elote y del arroz no fueron suficientes como se pudo observar en la Tabla 5, ya que no se alcanzaron temperaturas iguales o superiores a 70 °C suficientes para una correcta cocción de los alimentos. Las temperaturas máximas alcanzadas de los experimentos fueron de 50 °C a 58 °C. El efecto invernadero para estos primeros experimentos de cocción no fue el adecuado ya que no hubo una concentración de energía calorífica suficiente.

5.3.1. Resultados finales de la receta del Caldo de lentejas

Derivado de los experimentos resultantes en la sección anterior podemos concluir que la energía captada no fue suficiente para poder llevar los alimentos a su correcta cocción, es decir; no se alcanzaron temperaturas de por lo menos 70 °C. Por los resultados obtenidos con anterioridad se implementó una parábola o concentrador solar forrado de papel aluminio en sus paredes la cual pudo reflejar y concentrar mayor energía calorífica hacia en domo de cristal con el recipiente colector en su interior en las tres recetas.

5.3.2. Resultados finales de la receta del Arroz blanco

Para el caso de la receta del arroz blanco las temperaturas máximas alcanzadas del alimento fueron superiores a los 101 °C, suficientes para

una correcta cocción del alimento apoyados nuevamente de la parábola o concentrador solar.

5.3.3. Resultados finales de la receta de los esquites

La tercer y ultima receta las temperaturas máximas alcanzadas también superaron los 95 °C, concluyendo para las tres recetas que la parte fundamental para una mayor concentración de energía calorífica fue el concentrador solar forrado de papel aluminio.

Tabla 6: Resultados finales

Alimento	Temperatura superior a	Resultado de la cocción
Lenteja	90 °C	Favorable
Elote	95 °C	Favorable
Arroz	101 °C	Favorable

Con la finalización de los resultados favorables en las cocciones de los alimentos, se da inicio al siguiente capítulo donde se abordaran las conclusiones y algunas recomendaciones.

5.4. La importancia del concentrador parabólico.

El concentrador parabólico en nuestro tema de estudio juega un papel de suma importancia, ya que por medio de este dispositivo se logra incrementar la energía calorífica necesaria para alcanzar temperaturas iguales o superiores a los 70° C necesarias para poder cocinar los alimentos involucrados, de tal manera que se puedan obtener energías limpias y renovables que puedan reducir el consumo de combustibles fósiles.

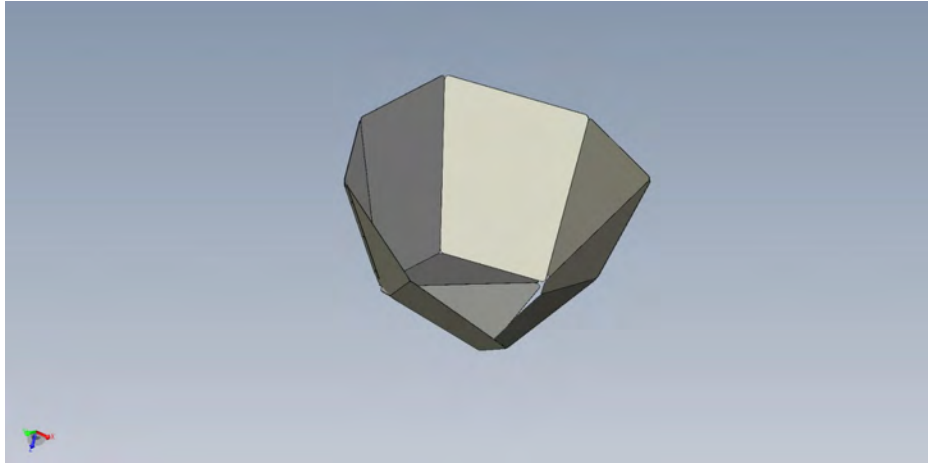


Figura 33: Prototipo del concentrador parabólico solar

5.5. Conclusiones sobre los resultados experimentales.

Derivado de los resultados de los experimentos de cocción de las recetas seleccionadas se pudo observar que los promedios de cocción fueron de tres horas por lo menos con un cielo despejado y soleado con una radiación promedio de $782 \frac{W}{m^2}$ basados en la pagina de la CONAGUA.

Capítulo 6

Conclusiones y recomendaciones

En el siguiente capítulo se muestran las conclusiones y recomendaciones en trabajos futuros del modelo físico de la cocina térmica solar.

Conclusiones

Los resultados teóricos de una placa de hierro expuesta a la radiación solar mostraron un comportamiento de la temperatura similar a los resultados experimentales, basados en uno de los modelos matemáticos propuestos en éste tema de tesis, dicho modelo matemático es una ecuación diferencial de primer orden, que tiene un término que corresponde a la ley de enfriamiento de Newton, y otro correspondiente al término que incrementa la temperatura por el efecto de la radiación solar. Las simulaciones de este modelo se realizaron a través del método de Euler.

El otro modelo propuesto, representa a dos placas emparedadas expuestas a la radiación solar. Se realizaron simulaciones utilizando el método de Euler. El modelo matemático para dos placas emparedadas expuestas a la radiación solar, tiene términos asociados a la ley de enfriamiento de Newton, un fenómeno de conducción a través de las superficies que están en contacto ambas placas y un término correspondiente a la radiación solar. La representación matemática de dicho modelo puede predecir de manera simplificada el fenómeno de la temperatura por medio de dos ecuaciones diferenciales de primer orden, cada una correspondiente a una de las placas.

En lo que se refiere a las cocciones, los resultados experimentales se realizaron con un prototipo conformado por un domo de cristal, dos cacerolas de hierro, un plato de cristal, y un concentrador de radiación tipo parabólico. Este prototipo permite que dentro de las cacerolas se logre una temperatura de al menos a 70 °C, de modo que desde que se inicia la exposición a la radiación solar hasta la cocción de los alimentos hay un periodo de 3 horas, siempre y cuando:

- Se seleccione un día soleado
- Se inicie la exposición al sol en un horario desde las 10:00 hs y a más tardar a las 13:00 hs.

Con estas condiciones se logró la cocción de tres alimentos diferentes, los cuales son una ración de sopa de lentejas, una ración de arroz y una ración de esquites. Para cada alimento se diseñaron tres recetas que garantizan mediante su procedimiento llegar al punto de cocción.

La importancia del concentrador solar fue para poder garantizar que las temperaturas se elevaran y superaran los 70 °C debido a que el concentrador esta forrado de papel aluminio, donde este material ayuda en el incremento de la temperatura del domo de cristal y el recipiente colector en su interior (ambas cacerolas), generando un efecto invernadero, donde la temperatura fue suficiente para la cocción lenta de manera individual de los alimentos antes mencionados.

Trabajos futuros

El tema de cocinas solares en la actualidad se encuentra vigente y se puede incursionar en el estudio o selección de materiales que mejoren el desempeño de las mismas, a partir de un diseño.

Se puede considerar modelos matemáticos dinámicos adicionales que puedan dar pie al incremento en las concentraciones de calor.

Implementar diseños y geometrías distintas a las tradicionales de las cocinas solares térmicas.

Incursionar en otros tipos de cocción, como lo son las frituras las cuales requieren de altas temperaturas en periodos de tiempo muy cortos. Horneado, los cuales requieren de temperaturas elevadas en tiempos mas largos.

Escalamiento de una a varias raciones de alimento.

Referencias

- Apaolaza-Pagoaga, X., Carrillo-Andrés, A., Ruivo, C. R., et al. (2022). Estudio experimental de la cocina solar crisol.
- Apaolaza-Pagoaga, X., Carrillo-Andrés, A., Ruivo, C. R., and Fernández-Hernández, F. (2023). The effect of partial loads on the performance of a funnel solar cooker. *Applied Thermal Engineering*, 219:119643.
- Aparicio, M. P. (2020). *Radiación solar y su aprovechamiento energético*. Marcombo.
- Aquilanti, A., Tomassetti, S., Coccia, G., Muccioli, M., and Di Nicola, G. (2023). Experimental characterization and performance comparison of four prototypes of panel solar cooker for low to high sun elevations. *Journal of Cleaner Production*, 390:136158.
- Aragaw, Y. T. and Adem, K. D. (2022). Development and performance evaluation of tube-type direct solar oven for baking bread. *Heliyon*, 8(11).
- Avilés, M. G., Sosa, L. B. L., Campuzano, H. S., Morales, J. Á. R., and Ambrosio, B. G. (2017). Tecnologías solares térmicas: Estrategia energética y socioambiental en el sector rural. *Ixaya. Revista Universitaria de Desarrollo Social*, (12):60–79.
- Battocchio, C., Bruni, F., Di Nicola, G., Gasperi, T., Iucci, G., Tofani, D., Varesano, A., and Venditti, I. (2021). Solar cookers and dryers: environmental sustainability and nutraceutical content in food processing. *Foods*, 10(10):2326.
- Bello, M. O. (2009). *Procesamiento hidrotérmico de arroz cáscara. Efecto de las condiciones de hidratación y cocción en el remdimiento, textura y propiedades térmicas del grano elaborado*. PhD

thesis, Universidad de Buenos Aires. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales.

Bragança, G., Ávila, B., and Rockenbach, R. (2020). Artículo original/original article. *Rev Chil Nutr*, 47(4):658–668.

Ceviz, M. A., Muratçobanoğlu, B., Mandev, E., and Afshari, F. (2024). A comprehensive review of solar cooking systems. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Energy and Environment*, 13(2):e516.

Chepkurui, J. and Biira, S. (2020). Thermal performance evaluation of the funnel solar cooker of different funnel lengths implemented in nagongera, uganda. *Tanzania Journal of Science*, 46(1):53–60.

ESPINOZA, B. E. G., SARAH, R. M. F., TERESA, D. J. R. S., ANTHONY, J. H. B., and CENICEROS, H. E. T. (2023). Secado y cocción solar como estrategia para el bienestar de las comunidades rurales del estado de nayarit. *reference: <https://drive.google.com/file/d/1yCIYoaLmEIGveqDk4yBz6ROtVCOwBmL6/view>*.

Fernández Suárez, R., Morales Chávez, L. A., and Gálvez Mariscal, A. (2013). Importancia de los maíces nativos de México en la dieta nacional: Una revisión indispensable. *Revista fitotecnica mexicana*, 36:275–283.

Getnet, M. Y., Gunjo, D. G., and Sinha, D. K. (2023). Experimental investigation of thermal storage integrated indirect solar cooker with and without reflectors. *Results in Engineering*, 18:101022.

González, J. A. L., Castellanos, A. M. M., Celaya, G. V., Bravo, J. A. C., and Trujillo, K. E. H. (2024). Estudio del potencial de uso de una cocina solar parabólica.

González-Avilés, M., Lopez-Sosa, L., Servín-Campuzano, H., and Gonzalez Perez, D. (2013). Desarrollo, implementación y apropiación de coci-

nas solares para el medio rural en michoacán: Una alternativa energética para la conservación de recursos forestales maderables.(development, implementation and appropriation of solar cookers for rural areas in michoacán: An alternative energy for conservation timber forest resources). *Development, Implementation and Appropriation of Solar Cookers for Rural Areas in Michoacán: An Alternative Energy for Conservation Timber Forest Resources*(January 25, 2013). *Revista Energías Renovables de la Asociación Nacional de Energía Solar (ANES)*, Forthcoming.

González-Avilés, M., López-Sosa, L. B., Servín-Campuzano, H., and González-Pérez, D. (2017). Adopción tecnológica sustentable de cocinas solares en comunidades indígenas y rurales de michoacán. *Revista Mexicana de Ingeniería Química*, 16(1):273–282.

Hernández-Romero, A. M., Téllez-Méndez, N., de la Fuente-Morales, E., Paniagua-Solar, L. A., and Cotzomi-Paletta, J. (2024). Estufas solares de acumulación: simulación térmica comparativa entre tradicional y prisma hexagonal. *Tendencias en energías renovables y sustentabilidad*, 3(1):202–207.

Imbert-Gonzalez, J., Pérez, R. G., Bu-Alba, B., and Gomez-Domecq, E. (2023). Evaluación del desempeño de una cocina solar construida con materiales reciclados. *Ingeniería Mecánica*, 26(1):43–48.

Jaime, J. J. L., Luna, Y. R. G., Sierra, J. R., Úrsula, U. R., and Padilla, E. B. R. (2024). Cocina solar de bajo costo uami. *Energías Renovables*, 11(52).

Javi, V. M. and Cadena, C. A. (2001). La transferencia de cocinas solares en américa latina:¿ utopía o realidad? *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*, 5.

- Lebrero, A. (2024). Procedimientos en la elaboración de alimentos. *Libros de Cátedra*.
- Lentswe, K., Mawire, A., Owusu, P., and Shobo, A. (2021). A review of parabolic solar cookers with thermal energy storage. *Heliyon*, 7(10).
- Limón Portillo, A. (2017). Energía solar en México: Potencial y aprovechamiento. *Centro de Investigación Económica y Presupuestaria, AC*.
- Mozo, C. G. and González, E. G. (2008). Diseño y construcción de una cocina solar. *Valladolid, España*.
- Naranjo, F. (2010). La problemática de la salud, en relación con las cocinas de leña en áreas rurales a nivel mundial. *Éxito empresarial*, 123:1–4.
- PEÑA, L. L. S. et al. (2012). Hogares y consumo energético en México.
- Ramírez Gil, R. J. (2021). Assessment of the thermal performance of a parabolic solar stove. *LADÉE*, 2.
- Tarifa, H. Y., Díaz, A. E., and Hernández, A. L. (2023). Horno solar tubular con concentrador parabólico compuesto. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente-AVERMA*, 27:508–514.
- Valdés-Barrón, M., Bonifaz-Alfonzo, R., González-Cabrera, A., Estévez-Pérez, H., Rodríguez-Rasilla, I., Retama-Hernández, A., and Riveros-Rosas, D. (2020). Energía solar disponible en la ciudad de México. In *CIES2020-XVII Congreso Ibérico e XIII Congreso Iberoamericano de Energía Solar*, pages 905–910. LNEG-Laboratório Nacional de Energia e Geologia.
- Wassie, H. M., Getie, M. Z., Alem, M. S., Kotu, T. B., and Salehdress,

Z. M. (2022). Experimental investigation of the effect of reflectors on thermal performance of box type solar cooker. *Heliyon*, 8(12).

Anexos

A.1 .- La parábola

La parábola es una curva representada en forma de “U” representada por una ecuación de segundo grado. La parábola puede definirse como el lugar geométrico de los puntos que son equidistantes de un punto fijo llamado Foco y una recta fija llamada Directriz.

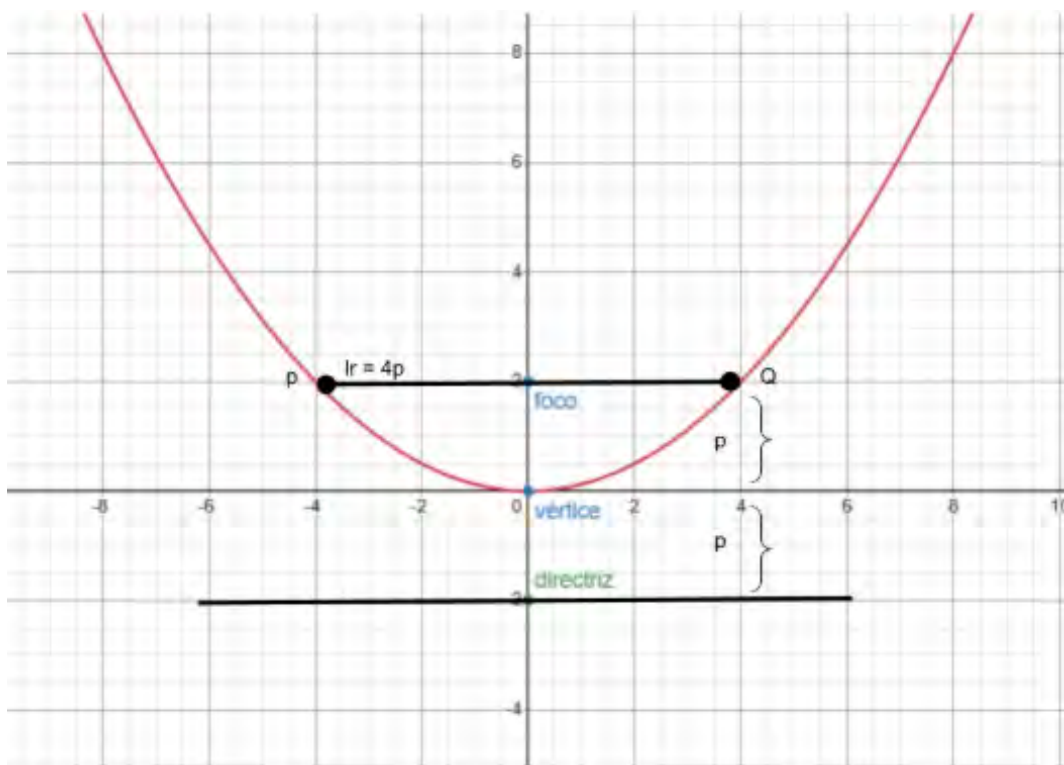


Figura 34: La parábola

La parábola tiene una gran importancia física.

Ecuación canónica

Vértice $V(h,k)$ y eje focal paralelo al eje X

Para una parábola con vértice en $V(h,k)$ y eje focal paralelo al eje y se obtiene

$$(x - h)^2 = 4p(y - k) \quad (17)$$

$$x^2 - 2hx + h^2 = 4py - 4pk \quad (18)$$

$$x^2 + Dx + Ey + F = 0 \quad (19)$$

Donde

$$D = -2h$$

$$E = -4p$$

$$F = 4pk + h^2$$

Para un caso particular, donde h y k son cero, se tiene

$$(x - 0)^2 = 4p(y - 0) \quad (20)$$

$$x^2 = 4py \tag{21}$$

$$y = \frac{x^2}{4p} \tag{22}$$

A.2 .-Precio comercial y características del domo de cristal.



Figura 35: Domo de cristal con plato (perspectiva)



Figura 36: Domo de cristal con plato (vista frontal)

Altura: 110 mm

Diámetro: 322 mm

Precio: \$540.00 MXN

A.3 .-Precio comercial y características de las cacerolas de hierro.



Figura 37: Cacerola de hierro

Largo: 16 cm

Ancho: 9 cm

Altura: 4.5 cm

Capacidad: 350 ml

Precio: \$289.00 MXN

A.4 .-Precio comercial y características del termómetro de acero.



Figura 38: Termómetro de acero

Unidad de medición: °F y °C

Lectura: análoga

\$175.00 MXN