



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Mecánica

**DISEÑO Y ANÁLISIS DE PRUEBAS EXPERIMENTALES DE UNA ESTUFA
SOLAR PARABÓLICA CASERA**

Kevin Javier Chin Ortíz

Asesorado por el Ing. Jorge Ivan Cifuentes Castillo

Guatemala, julio de 2017

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**DISEÑO Y ANÁLISIS DE PRUEBAS EXPERIMENTALES DE UNA ESTUFA
SOLAR PARABÓLICA CASERA**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA

POR

KEVIN JAVIER CHIN ORTIZ

ASESORADO POR EL ING. JORGE IVAN CIFUENTES CASTILLO

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO MECÁNICO

GUATEMALA, JULIO DE 2017

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL I	Ing. Angel Roberto Sic García
VOCAL II	Ing. Pablo Christian de León Rodríguez
VOCAL III	Ing. José Milton de León Bran
VOCAL IV	Br. Jurgen Andoni Ramírez Ramírez
VOCAL V	Br. Oscar Humberto Galicia Nuñez
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magalí Herrera López

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
EXAMINADOR	Ing. Byron Giovanni Palacios Colindres
EXAMINADOR	Ing. Hugo Leonel Ramírez Ortiz
EXAMINADOR	Ing. Roberto Guzmán Ortiz
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magalí Herrera López

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

DISEÑO Y ANÁLISIS DE PRUEBAS EXPERIMENTALES DE UNA ESTUFA SOLAR PARABÓLICA CASERA

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica con fecha 29 de febrero de 2016.



Kevin Javier Chin Ortiz



USAC
TRICENTENARIA
Universidad de San Carlos de Guatemala

Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Mecánica

Ref.EIM.084.2017

Guatemala, 28 de febrero de 2017

Ingeniero
Roberto Guzmán Ortiz
Director
Escuela de Ingeniería Mecánica
Facultad de Ingeniería, USAC

Estimado Ing. Guzmán:

Por este medio le informo que ha finalizado la etapa de asesoría del trabajo de graduación titulado: **"DISEÑO Y ANÁLISIS DE PRUEBAS EXPERIMENTALES DE UNA ESTUFA SOLAR PARABÓLICA CASERA"** realizado por el estudiante **Kevin Javier Chin Ortíz, CUI 2175-84403-0101, Reg. Académico No 2011-14548** considerando que cumple con el contenido y objetivos propuestos en el protocolo aprobado por la Escuela de Ingeniería Mecánica.

Atentamente,

Id y Enseñad a Todos



Ing. Jorge Iván Cifuentes Castillo
Colegiado No. 3413

JIC/aej
c. Archivo

Jorge Iván Cifuentes Castillo
Máster en Ciencias Ingeniero Mecánico
Colegiado No. 3413



USAC

TRICENTENARIA

Universidad de San Carlos de Guatemala

Facultad de Ingeniería

Escuela de Ingeniería Mecánica

Ref.E.I.M.100.2017

El Coordinador del Área Térmica de la Escuela de Ingeniería Mecánica, luego de conocer el dictamen del Asesor y habiendo revisado en su totalidad el trabajo de graduación titulado: **DISEÑO Y ANÁLISIS DE PRUEBAS EXPERIMENTALES DE UNA ESTUFA SOLAR PARABÓLICA CASERA** desarrollado por el estudiante **Kevin Javier Chin Oríz, CUI 2175-84403-0101, Registro Académico 201114548** recomienda su aprobación.

"Id y Enseñad a Todos"


Ing. Julio César Campos Paiz
Coordinador Área Térmica
Escuela de Ingeniería Mecánica



MA Ing. Julio César Campos Paiz
Ingeniero Mecánico
Colegiado No. 2701

Guatemala, marzo 2017

El Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica, de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del Asesor y con la aprobación del Coordinador del Área Térmica del trabajo de graduación titulado: **DISEÑO Y ANÁLISIS DE PRUEBAS EXPERIMENTALES DE UNA ESTUFA SOLAR PARABÓLICA CASERA** del estudiante **Kevin Javier Chin Ortiz**, CUI **2175844030101**, Registro Académico No. **201114548** y luego de haberlo revisado en su totalidad, procede a la autorización del mismo.

"Id y Enseñad a Todos"


Ing. Roberto Guzman Ortiz
Director
Escuela de Ingeniería Mecánica


FACULTAD DE INGENIERIA USAC
DIRECCION ESCUELA
TEL.: 2418-9133
INGENIERIA MECANICA

Guatemala, julio de 2017

/cej

G

Universidad de San Carlos
de Guatemala

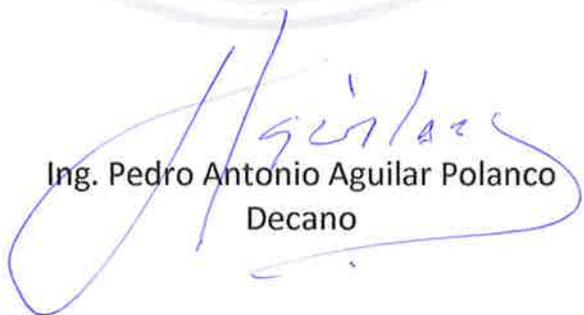


Facultad de Ingeniería
Decanato

DTG. 317.2017

El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica, al Trabajo de Graduación titulado: **DISEÑO Y ANÁLISIS DE PRUEBAS EXPERIMENTALES DE UNA ESTUFA SOLAR PARABÓLICA CASERA**, presentado por el estudiante universitario: **Kevin Javier Chin Ortíz**, y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:


Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
Decano

Guatemala, julio de 2017

/gdech



ACTO QUE DEDICO A:

Dios	A Dios sea la honra y la gloria por haberme permitido culminar esta etapa de mi vida.
Mis padres	Marvin Chin y Miriam Ortíz. Por sus esfuerzos, sacrificios y ser un ejemplo para mi vida.
Mis abuelos	Israel Chin (q.e.p.d) y María Natalia Oseida (q.e.p.d). Su recuerdo siempre vivirá en mi corazón.
Mis hermanos	Allan y Jairo. Por estar siempre a mi lado apoyándome en cada momento de mi vida.
Mi novia	Dulce Velásquez Mazariegos. Por su amor sincero e incondicional y ser un apoyo en mi vida.
Mis padrinos	Pedro Jolón y Estela de Jolón. Por sus consejos, valores y motivación a lo largo de mi vida.
Mis tíos y tías	Por sus consejos y apoyo sincero. En especial tía Aurorita y tía Chayito, quienes han sido como una madre para mí.
Mis primos	Por su cariño y apoyo incondicional.

Mi cuñada

Mayren Villagran Godoy. Por todo su apoyo, cariño y consejos.

Mis amigos

Por tantas experiencias compartidas a lo largo de mi vida. En especial, Josué Anona.

AGRADECIMIENTOS A:

Universidad de San Carlos de Guatemala	Por ser mi casa de estudios en esta etapa de mi vida.
Facultad de Ingeniería	Por ser partícipe de mis logros y éxitos en mi camino estudiantil.
Mis amigos de la Facultad	Por tantas experiencias compartidas a lo largo de mi carrera, en especial mis amigos del Departamento de Matemáticas.
Ing. Arturo Samayoa	Por sus valiosos consejos y por ser un ejemplo a seguir.
Departamento de Matemáticas	Por haberme brindado una oportunidad laboral.
Ing. Jorge Ivan Cifuentes	Por su valiosa asesoría a lo largo de mi carrera y de mi trabajo de graduación.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	V
LISTA DE SÍMBOLOS	IX
GLOSARIO	XI
RESUMEN.....	XV
OBJETIVOS.....	XVII
INTRODUCCIÓN	XIX
1. ANTECEDENTES	1
1.1. Energía solar térmica y transferencia de calor	1
1.2. El sol y los tipos de radiación	2
1.3. Radiación solar en Guatemala	5
1.4. Historia de las cocinas solares	7
1.5. Desarrollo y evolución de las cocinas solares	9
1.6. Impacto social y ambiental en Guatemala.....	11
1.7. Ley de reflexión y refracción.....	14
1.8. Factores de reflexión	16
2. MARCO TEÓRICO.....	19
2.1. Cocinas solares	19
2.2. Principio de funcionamiento de las cocinas solares	20
2.2.1. Cocina solar por acumulación.....	20
2.2.2. Cocina solar por concentración	21
2.2.3. Otros factores	22
2.2.3.1. Conducción.....	22
2.2.3.2. Convección.....	23

	2.2.3.3.	Radiación	23
2.3.		Tipos de cocinas solares.....	23
	2.3.1.	Cocina mixta o de panel (<i>cooKit</i>).....	25
	2.3.2.	Cocina solar <i>Devos</i> o <i>Primrose</i>	26
	2.3.3.	Cocina parabólica.....	28
	2.3.3.1.	Principio de la parábola.....	29
	2.3.3.2.	Ecuación general de la parábola	31
	2.3.3.3.	Tipos de cocinas solares parabólicas...34	
	2.3.3.4.	Posicionamiento de la cocina solar respecto al sol	35
	2.3.3.5.	Ventajas y desventajas del uso de una cocina solar parabólica.....	37
3.		DISEÑO EXPERIMENTAL DE UNA ESTUFA SOLAR TIPO PARABÓLICA	39
	3.1.	Selección del tipo de estufa solar.....	39
	3.2.	Selección de materiales para la elaboración de la estufa solar.....	40
	3.3.	Selección de materiales reflectantes.....	41
	3.4.	Cálculos matemáticos	42
	3.4.1.	Ecuación general de la parábola	43
	3.4.2.	Localización del punto focal de la estufa solar a partir de la ecuación de la parábola	44
	3.5.	Pruebas experimentales.....	47
	3.5.1.	Prueba experimental de calentamiento de agua para un volumen de un litro	47
	3.5.1.1.	Materiales para llevar a cabo la prueba de calentamiento de agua (1 litro)	48
	3.5.1.2.	Recolección de datos	49

3.5.2.	Prueba experimental de calentamiento de agua para un volumen de dos litros.....	50
3.5.2.1.	Materiales para llevar a cabo la prueba experimental del calentamiento de agua (2 litros).....	52
3.5.2.2.	Recolección de datos	52
3.5.3.	Prueba experimental de cocción de un huevo (estrellado) a temperatura ambiente.....	54
3.5.3.1.	Materiales para la prueba experimental de cocción de un huevo a temperatura ambiente	54
3.5.3.2.	Recolección de datos	55
3.5.4.	Prueba experimental de cocción de tortillas a temperatura ambiente.....	56
3.5.4.1.	Materiales para la prueba experimental de cocción de tortillas a temperatura ambiente	57
3.5.4.2.	Recolección de datos	58
4.	ANÁLISIS DE RESULTADOS	61
4.1.	Costos, accesibilidad de materiales y vida útil de la estufa solar parabólica	61
4.2.	Análisis de resultados gráficos en las pruebas experimentales de la estufa solar parabólica.....	63
4.2.1.	Discusión de resultados de las pruebas experimentales de calentamiento de agua	68
4.3.	Análisis y discusión de resultados en la prueba experimental de cocción de un huevo a temperatura ambiente.....	69

4.4.	Análisis y discusión de resultados en la prueba experimental de cocción de tortillas a temperatura ambiente	72
4.5.	Ventajas y desventajas de la estufa solar parabólica observadas durante las pruebas experimentales	75
CONCLUSIONES.....		79
RECOMENDACIONES		81
BIBLIOGRAFÍA.....		83
APÉNDICES.....		87

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Tipos de radiación	5
2.	Mapa de radiación solar de Guatemala.....	6
3.	Promedios mensuales y anuales de radiación solar en Guatemala (Cal/Cm ² /min).....	7
4.	Esquema del primer horno solar	8
5.	Usos energéticos finales en Guatemala.....	12
6.	Leyes de reflexión	15
7.	Leyes de refracción	16
8.	Acumulación de calor en estufa solar.....	21
9.	Concentración de calor en una estufa solar	22
10.	Temperaturas de cocción de alimentos.....	24
11.	Cocina solar <i>cookKit</i>	25
12.	Cocina solar tipo <i>Devos</i>	27
13.	Estufa solar parabólica.....	29
14.	Principio de funcionamiento de una cocina solar parabólica.....	30
15.	Esquema de funcionamiento de una estufa solar parabólica	31
16.	Parábola con centro en el origen	32
17.	Parábolas con vértice en el origen	33
18.	Parábolas con vértice en (h,k).....	33
19.	Tipos de cocinas solares parabólicas.....	35
20.	Posicionamiento del sol en cada mes del año, a diferentes horas.....	37
21.	Lámina galvanizada para la elaboración de la estufa solar parabólica.....	41

22.	Paraboloide de la estufa solar elaborado con lámina galvanizada..	42
23.	Dimensiones del paraboloide de la estufa solar	43
24.	Gráfica de la ecuación de la parábola de la estufa solar	44
25.	Punto focal de la estufa solar.....	46
26.	Prueba experimental del punto focal, con una bolsa plástica	46
27.	Prueba experimental de calentamiento de un litro de agua	48
28.	Materiales para la prueba de calentamiento de agua (1 litro)	49
29.	Prueba experimental de calentamiento de dos litros de agua	51
30.	Materiales para la prueba experimental de cocción de un huevo a temperatura ambiente.....	55
31.	Materiales para la prueba experimental de cocción de tortillas	58
32.	Gráfica de resultados para la prueba experimental de calentamiento de 1 litro de agua	63
33.	Gráfica circular para la división de los porcentajes del calentamiento de 1 litro de agua	64
34.	Gráfica de resultados para la prueba experimental de calentamiento de 2 litros de agua	65
35.	Gráfica circular para la división de los porcentajes del calentamiento de 2 litros de agua	66
36.	Gráfica comparativa del calentamiento de 1 y 2 litros de agua.....	67
37.	Esquema de los resultados observados en la prueba experimental de cocción de un huevo a temperatura ambiente	70
38.	Gráfica de resultados para la prueba experimental de cocción de un huevo a temperatura ambiente	71
39.	Esquema de los resultados observados en la prueba experimental de cocción de tortillas a temperatura ambiente	73
40.	Gráfica de resultados de la prueba experimental de cocción de tortillas a temperatura ambiente.....	74

TABLAS

I.	Factores de reflexión de algunos materiales.....	17
II.	Datos para la prueba experimental de calentamiento de agua (1 litro).....	50
III.	Datos para la prueba experimental de calentamiento de agua (2 litros).....	53
IV.	Datos para la prueba experimental de cocción de un huevo a temperatura ambiente	56
V.	Datos para la prueba experimental de cocción de tortillas a temperatura ambiente	59
VI.	Análisis de costos de algunos materiales nuevos para una estufa solar parabólica.....	61
VII.	Resumen de los resultados en la prueba experimental de cocción de un huevo a temperatura ambiente.....	69
VIII.	Resumen de los resultados en la prueba experimental de cocción de tortillas... ..	72

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
cm²	Centímetros cuadrados
F	Foco
°C	Grados centígrados
Km/h	Kilómetro por hora
Lt.	Litro
m	Metro
min	Minuto
p. m.	Pasado el meridiano
%	Porcentaje
Q	Quetzal
S	Sur

GLOSARIO

Cocción	Procedimiento que consiste en elevar la temperatura de un alimento y que modifica sus propiedades originales de modo que lo hace más fácil de digerir.
Comal	Recipiente de cocina tradicional usado como plancha para cocción.
Coordenadas	Las coordenadas geográficas son un sistema que permite que cada ubicación en la tierra sea especificada por un conjunto de números, letras o símbolos.
Energéticos	Se considera como recurso energético a toda aquella sustancia sólida, líquida o gaseosa, de la cual podemos obtener energía a través de diversos procesos.
Experimental	Que sirve de experimento con vistas a posibles perfeccionamientos, aplicaciones y difusión.
Galvanizado	Proceso mediante el que se obtiene un recubrimiento de zinc sobre hierro o acero, por inmersión en un baño de zinc fundido, a una temperatura aproximada de 450 °C.

Humedad	La cantidad de vapor de agua contenida en el aire. Varía según las condiciones climatológicas.
Intemperie	Expuesto al aire libre, sin techo ni protección.
NE	Noreste.
NNE	Nornordeste.
NNO	Nornoroeste.
OMS	Organización Mundial de la Salud.
Paraboloide	Superficie en que todas las secciones paralelas a una dirección dada son parábolas y las demás secciones planas son elipses o hipérbolas.
Reciclable	Proceso cuyo objetivo es convertir desechos en nuevos productos o en materia para su posterior utilización.
Reflexión	Cambio de dirección de una onda que, al entrar en contacto con la superficie de separación entre dos medios cambiantes, regresa al punto donde se originó.
Refracción	Cambio de dirección de un rayo de luz u otra radiación que se produce al pasar oblicuamente de un medio a otro de distinta densidad.

Termosolar

La tecnología termosolar se basa en la concentración de la energía del sol para obtener energía térmica.

Vértice

Punto en el que coinciden tres o más aristas de un poliedro.

RESUMEN

El presente trabajo de investigación está enfocado en promover el uso de las energías renovables en áreas de escasos recursos donde el uso de la leña se vuelve indispensable. El evidente uso de este producto natural contribuye con la alta tasa de deforestación que se maneja en el país. Su consumo es aún mayor que el de la energía eléctrica y que el gas propano. Es por ello que una de las soluciones alternativas es la estufa solar parabólica, cuyo principio de funcionamiento se basa en la radiación solar.

Como primer paso fue seleccionado el diseño de la cocina solar. A partir de una superficie parabólica se determinaron matemáticamente puntos críticos para su adecuado funcionamiento, como el punto focal de la parábola. De igual manera se analizaron los principales materiales para que exista una mejor reflexión de los rayos del sol en la parábola.

Seguidamente se puso a prueba el diseño de la estufa solar parabólica, haciendo pruebas de calentamiento de agua y cocción de alimentos, las cuales se llevaron a cabo bajo diferentes condiciones del clima.

Finalmente, los resultados concluyeron que las temperaturas alcanzadas en la estufa solar fueron suficientemente elevadas para cocer los alimentos y llevar a altas temperaturas diferentes volúmenes de agua en determinados periodos. Además, durante la realización de las pruebas experimentales pudieron observarse diversos factores que alteraron la exactitud en los resultados obtenidos, mostrando claramente cuales son algunas de las ventajas y desventajas del uso de la estufa solar parabólica.

OBJETIVOS

General

Realizar el diseño y análisis de pruebas experimentales de una estufa solar parabólica casera.

Específicos

1. Estimar materiales, costos y vida útil del diseño de una estufa solar tipo parabólica.
2. Demostrar el funcionamiento y eficiencia térmica de una estufa solar tipo parabólica.
3. Determinar las principales ventajas y desventajas de uso de una estufa solar parabólica, observadas durante su uso y funcionamiento en las pruebas experimentales de cocción de alimentos y agua.
4. Reducir el consumo de leña para la cocción de alimentos, para evitar la contaminación ambiental y las enfermedades causadas por su uso.

INTRODUCCIÓN

La Organización Mundial de la Salud —que en adelante se denominará OMS— denomina a la contaminación producida por la quema de leña en lugares cerrados como “asesino de la cocina”. Según la OMS, en el año de 2010, aproximadamente el 57% de las familias guatemaltecas utilizaban la leña como método para cocinar, esto debido principalmente a factores de alta pobreza en áreas rurales.

En Guatemala al menos 2.1 millones de hogares utilizan leña para cocinar, de los cuales más del 60% no tiene una chimenea para la extracción de humos. Estos producen severos daños y enfermedades en las vías respiratorias, así como también infecciones de oídos, problemas en los ojos como cataratas, entre otras. El consumo de leña en Guatemala también representa el 57% del consumo energético nacional (Balance energético del año 2012, Dirección General de Energía, Ministerio de Energía y Minas).

La contaminación del aire en los alrededores de las viviendas que utilizan leña para cocinar es la segunda causa de riesgo más importante de enfermedades en Guatemala y causa aproximadamente unas cinco mil muertes al año.

Hay una relación directa y significativa entre el uso de leña, carbón y otros combustibles sólidos y los males respiratorios, ya que en las familias que los usan aumenta el 31% de probabilidad de padecerlas, explica la médica Guadalupe Verdejo, representante de la OMS y de la Organización Panamericana de la Salud (OPS).

Algunas de las principales causas del uso de leña en los hogares de las familias guatemaltecas, además de la pobreza que existe en las zonas rurales, son los altos precios del propano y el fácil acceso a la madera. Esto se refleja en los altos índices que se muestran año con año con respecto a la deforestación en Guatemala.

Sin embargo, como una excelente opción alternativa existen medios que utilizan los recursos renovables como fuentes de energía, entre ellos la cocina solar. Esta utiliza la energía del sol para obtener una alta eficiencia energética y así poder reemplazar una cocina a base de leña o una cocina de gas convencional.

Las ventajas y desventajas del uso de una estufa solar son muchas y muy significativas, pero en un medio donde los recursos son muy escasos estas estufas resultan ser una excelente opción sin ningún tipo de contaminación y una considerable eficiencia.

1. ANTECEDENTES

1.1. Energía solar térmica y transferencia de calor

La energía solar es una de las fuentes de energía conocidas como energías limpias o energías renovables. Desde la antigüedad, la radiación solar que llega desde el sol hasta la tierra ha sido aprovechada por la humanidad, mediante diversas formas de captación de energía que han ido evolucionando con el paso del tiempo.

La energía solar térmica, también conocida como energía termosolar, consiste en el aprovechamiento de la energía del sol para producir calor, el cual será utilizado en distintos procesos o para diversos usos. Un ejemplo es el calentamiento de agua o de alimentos, la producción de energía mecánica y, con ello, la producción de energía eléctrica.

Con la tecnología actual, el calor y la luz del sol pueden aprovecharse mediante captadores de energía como células fotovoltaicas, helióstatos o colectores térmicos, que pueden transformarla en energía eléctrica o térmica. Las diferentes tecnologías de captación de la energía solar pueden clasificarse en activas o pasivas, según la forma en que se capte la energía, se transforme y se transfiera el calor. Cuando hablamos de tecnologías activas nos referimos a paneles fotovoltaicos y colectores térmicos; en cuanto a las tecnologías pasivas, nos referimos a diversas técnicas para una mejor captación de calor, por ejemplo, la orientación de edificios al sol.

Cuando se estudia el tema de la energía solar térmica y las distintas formas de aprovechamiento de dicha energía, se convierte en un punto casi vital estudiar y analizar las formas en que el calor se transfiere desde que sale del sol hasta que es aprovechado en la superficie terrestre. Las tres formas de transferencia de calor son:

- **Conducción:** consiste en la transferencia de calor entre dos puntos de un cuerpo que se encuentran a diferentes temperaturas, esto, sin que haya una transferencia de materia entre dichos puntos.
- **Convección:** la característica principal de este tipo de transferencia de calor se basa en el hecho de que interviene un fluido para la transferencia; dicho fluido puede ser líquido o gas, el cual transporta la energía térmica entre dos zonas.
- **Radiación:** en este caso no existe contacto entre cuerpos ni entre puntos. El calor es emitido por un cuerpo debido a su temperatura, transfiriéndose de un cuerpo de alta temperatura a otro cuerpo con menor temperatura.

1.2. El sol y los tipos de radiación

El sol es una masa de materia gaseosa caliente que emite rayos a una temperatura efectiva de unos 6000°C. En su interior se lleva a cabo una serie de reacciones que producen una pérdida de masa que se transforma en energía, la cual se transmite al exterior mediante la denominada radiación solar.

Para entender la magnitud de la verdadera cantidad de energía que el sol proporciona a la superficie terrestre, basta con entender un dato muy significativo: el consumo mundial anual de energía es igual a la energía que llega del sol a la

tierra en 50 minutos. También es muy claro el dato estadístico de que España recibe del sol, en un año aproximadamente, una energía que equivale a cinco veces el consumo mundial anual de energía.

- Tipos de radiación solar

La radiación solar que llega del sol a la superficie terrestre es absorbida por el suelo, el agua, organismos y otros cuerpos. Esta radiación puede llegar hasta la Tierra de forma directa o indirecta. Toda esta energía que en un principio fue absorbida, va a volver a ser irradiada hacia la atmósfera en forma de calor.

Los tipos de rayos que llegan hasta la Tierra desde el sol, pueden ser clasificados de acuerdo a sus propiedades y de cómo inciden en la tierra.

- Radiación absorbida

Son los primeros rayos que inciden sobre la tierra, los cuales son absorbidos de forma directa por los distintos gases presentes en la atmosfera, como por ejemplo el ozono, vapor de agua, dióxido de carbono y algunos humos. Estos rayos no tienen ninguna incidencia en la vida humana.

- Radiación directa

Todos aquellos rayos del sol que llegan hasta la Tierra de forma directa—sin verse afectados por fenómenos de reflexión o refracción desde el foco solar hasta la superficie terrestre— se le conoce como radiación solar directa. Aunque a simple vista el ojo humano no lo pueda diferenciar, no todos los rayos que pasan a través de la capa exterior de la atmósfera llegan a nosotros de forma directa.

- Radiación indirecta o difusa

El recorrido que siguen los rayos desde que salen del sol hasta llegar a la superficie de la tierra es largo. En el recorrido se pueden encontrar con numerosos factores ambientales (nubes, humos, lluvia, etc.) que hacen que la dirección que llevaban hasta ese momento se vea modificada. Esto se denomina como reflexión y refracción y son los principales fenómenos para que exista este tipo de radiación indirecta.

- Radiación térmica

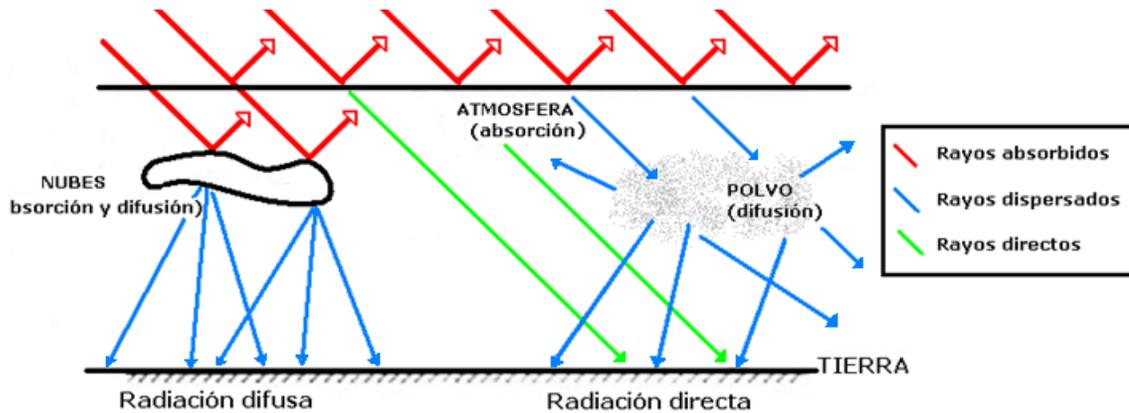
También conocida como radiación infrarroja, es un tipo de radiación electromagnética con mayor longitud de onda que la luz visible.

“La radiación infrarroja es una parte del espectro de luz generado por el Sol. Sin embargo, este tipo de luz no es visible para el ojo humano, sino que sólo se manifiesta como radiación térmica.”¹

Para comprender adecuadamente la acción de la radiación directa e indirecta, se debe hacer de forma conjunta. Toma el nombre de radiación global, y es el resultado directo de sumar ambos tipos de radiación.

¹ DUFFIE, John A.; BECKMAN, William A. *Solar engineering of thermal processes*. p. 51.

Figura 1. Tipos de radiación

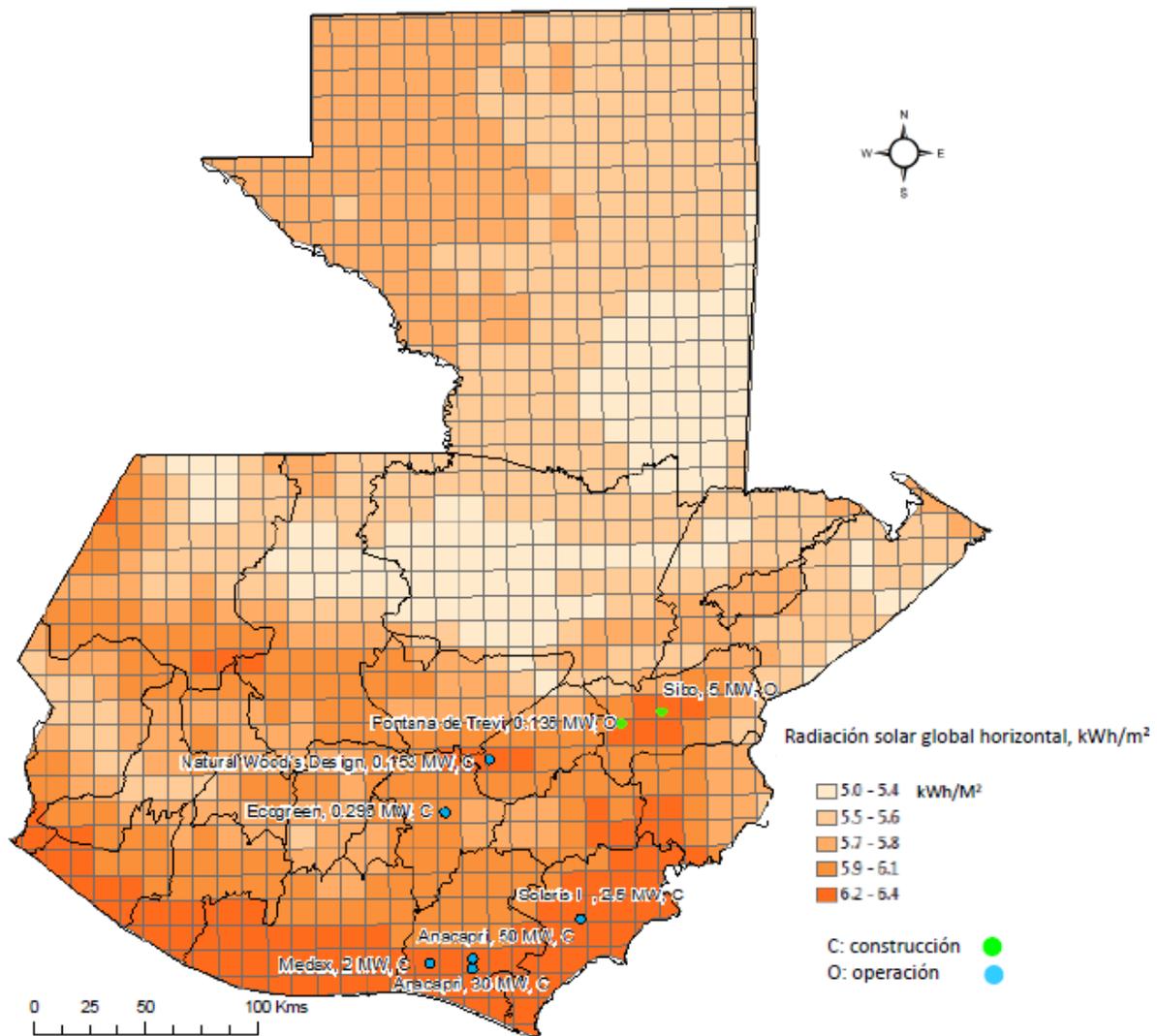


Fuente: Departamento de Ingeniería Térmica y de Fluidos. Universidad Carlos III de Madrid.

1.3. Radiación solar en Guatemala

Por la posición intercontinental del país y contar con dos masas oceánicas de gran proximidad, separadas por el sistema de cordilleras que atraviesan al país, se presentan varios climas y microclimas agrupados en seis regiones climáticas: planicies del norte, franja transversal del norte, meseta y altiplanos, bocacosta, planicie costera del Pacífico y zona oriental. La temperatura media al nivel del mar es de 27 °C para el océano Pacífico y 28.2 °C para el Atlántico. A partir del nivel del mar, la temperatura media anual desciende alrededor de 0.6 °C por cada 100 m de ascenso. La humedad relativa varía desde un 60% en el oriente hasta un 85% en el norte, con un promedio nacional entre 70% y 80%.

Figura 2. **Mapa de radiación solar de Guatemala**



Fuente: Dirección General de Energía, Ministerio de Energía y Minas.

Figura 3. **Promedios mensuales y anuales de radiación solar en Guatemala (Cal/Cm²/min)**

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
1995	0.21	0.26	0.28	0.28	0.28	0.45	0.42	0.34	0.28	0.37	0.38	0.34	0.32
1996	0.37	0.46	0.49	0.46	0.46	0.43	0.43	0.48	0.43	0.40	0.39	0.37	0.43
1997	0.40	0.50	0.47	0.42	0.43	0.32	0.39	0.39	0.37	0.31	0.31	0.29	0.38
1998	0.31	0.35	0.37	0.37	0.32	0.35	0.32	0.33	0.32	0.30	0.29	0.32	0.33
1999	0.30	0.37	0.35	0.35	0.33	0.28	0.34	0.34	0.25	0.32	0.29	0.35	0.32
2000	0.37	0.36	0.37	0.36	0.29	0.37	0.30	0.32	0.30	0.34	0.31	0.32	0.33
2001	0.33	0.30	0.32	0.26	0.28	0.35	0.38	0.53	0.36	0.39	0.34	0.3	0.35
2002	0.35	0.37	0.4	0.43	0.35	0.37	0.33	0.32	0.28	0.31	0.34	0.33	0.35
2003	0.41	0.38	0.31	0.36	0.3	0.31	0.37	0.31	0.35	0.35	0.44	0.45	0.36
2004	0.47	0.53	0.58	0.59	0.47	0.48	0.51	0.53	0.51	0.5	0.47	0.5	0.51
2005	0.52	0.57	0.55	0.55	0.47	0.49	0.47	0.45	0.40	0.42	0.50	0.49	0.49
2006	0.53	0.52	0.58	0.56	0.47	0.38	NO DATO	0.47	0.50	0.47	0.47	0.51	0.50
2007	0.00	0.55	0.56	0.58	0.50	0.50	0.50	0.40	0.40	0.40	0.50	0.40	0.44
2008	0.50	0.60	0.50	0.60	0.50	0.50	0.40	0.40	0.40	0.50	0.50	0.40	0.48
2009	0.50	0.50	0.46	0.42	0.50	0.35	0.40	0.37	0.39	0.38	0.35	0.34	0.41
2010	0.41	0.39	0.41	0.36	0.36	0.36	0.39	0.28	0.40	0.48	0.40	0.46	0.39
2011	0.37	0.50	0.61	0.56	0.50	0.64	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D	0.53
2012	0.31	0.40	0.41	0.38	0.29	0.27	0.30	0.31	0.37	0.35	0.40	0.33	0.34

Fuente: INSIVUMEH,

<http://www.insivumeh.gob.gt/meteorologia/ESTACIONES/GUATEMALA/Insivumeh/Radiacion%20Solar%20Insivumeh.htm>. Consulta: febrero 2016.

1.4. Historia de las cocinas solares

Una de las mejores formas de comprender el inicio de la estufa solar es analizar la historia de la cocina en la humanidad, ya que esta actividad ha evolucionado con el paso del tiempo, mejorando nuestra capacidad alimenticia.

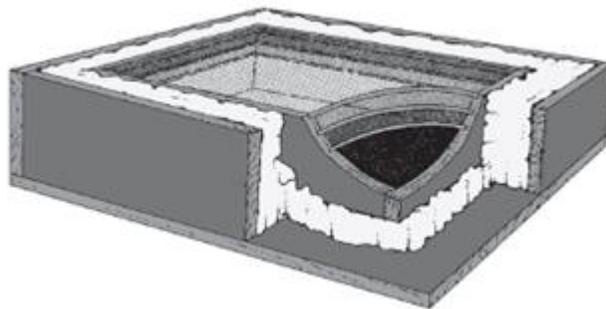
Hace ya unos 10 000 años, en la revolución neolítica se produjo uno de los artes más antiguos de la humanidad: la alfarería. Con esta el hombre pudo confeccionar y moldear recipientes que podían ser del tamaño y forma que se deseara. De esta manera se contó con cacharros que contenían los líquidos y facilitaban la labor de hervir los alimentos.

Para llegar a otro punto relevante en la historia de las cocinas solares, regresamos en el tiempo aproximadamente 3 500 años atrás. El hombre descubre el uso de los metales, lo cual le permitió crear y obtener un mayor número de utensilios. En todo este período la leña fue el combustible más usado.

En 1679, el físico y matemático anglo-francés Denis Papin presenta en sociedad su invento precursor de la olla a presión. En ese entonces no tuvo éxito debido a aspectos relacionados con la tecnología y la seguridad.

En 1767, el francés suizo Horace de Saussure realizó los primeros experimentos con hornos solares de tipo caja para la preparación de alimentos. La máxima temperatura lograda en su caja solar fue de 88 °C y, de acuerdo con sus anotaciones, cuando se incorporó una superficie negra dentro de la caja se alcanzó los 160 °C.

Figura 4. **Esquema del primer horno solar**



Fuente: *Solar cookers international*. www.solsolidari.org. Consulta: febrero 2016.

El diseño de Saussure consistía en una caja con paredes de madera y aislante en su capa intermedia. En la superficie tenía tres cristales paralelos, los cuales cumplían con una función parecida al efecto invernadero. En el interior se colocaban los alimentos y su base estaba recubierta con una capa de color negro.

De Saussure mencionó que algún día este ingenio, que actualmente es pequeño, barato y fácil de fabricar, podría ser de gran utilidad.

1.5. Desarrollo y evolución de las cocinas solares

Llegada la era moderna y desde mediados del siglo XX empezaron a explotarse otras fuentes energéticas como el gas natural, petróleo y la electricidad. Dichas fuentes energéticas fueron adoptadas y su uso comenzó a ser más común masivamente en una sociedad cada vez más consumista, acompañado de las nuevas técnicas para disminuir el trabajo y el tiempo dedicado a las tareas de la cocina.

A mediados de los años cincuenta y en especial a partir de los años setenta, con la crisis energética, el desarrollo de la cocina solar se incrementa. En Latinoamérica se registran los primeros experimentos con cocción solar en 1940.

En 1960, un estudio de las Naciones Unidas llega a la siguiente conclusión: las cocinas solares son un instrumento idóneo y solamente es necesario un poco de voluntad y una cierta adaptación de las costumbres para poder iniciar su utilización a gran escala.

En 1967 nace el primer horno que funciona con electricidad: el horno de microondas, inventado por el ingeniero físico norteamericano Percy Spencer. Las ollas a presión (legado de Papin) se hacen más completas y rápidas.

En 1980, en Chile se comienza con la introducción en obras sociales de las primeras cocinas solares con tecnologías apropiadas.

En 1986, La Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura estima que la cuarta parte de la humanidad utiliza leña destinada para cocinar alimentos y, por ello, existe escasez de este recurso natural. Predice que para el año 2000 la escasez afectará a la mitad del total. Se empieza a ver la necesidad de mostrar a las mujeres de los países subdesarrollados (las principales afectadas por la escasez de este combustible) la posibilidad de cocinar con ayuda del sol.

En 1987 se crea una organización no gubernamental (ONG) la *Solar Box Cookers International* que, en 1992, organiza la Primera Conferencia Mundial sobre la Cocina Solar, un acontecimiento que reunió a investigadores de 18 países.

En 1994, *Solar Box Cookers International* reúne a la mayoría de los grupos y agentes de difusión social de la tecnología en Guatemala. Allí el grupo latinoamericano acuerda formar RECOSOL: Red Latinoamericana de Cocinas y Hornos Solares, con más de 16 participantes de toda América.

En el 2000, la "Red Iberoamericana de Cocción Solar de Alimentos" (RICSA) sistematizó el trabajo científico académico realizado en cocinas solares. Esto permitió fijar y mejorar estándares de evaluación y medición, acordar metodologías de trabajo y compartir ideas en torno al mejoramiento de las tecnologías disponibles.

En el año 2003, en Ceuta (España), se imparten cursos en los que se enseña a construir cocinas solares. A fines de ese año y durante todo el 2004 se realizaron talleres en Montevideo y varias localidades del interior. Para dar a conocer el resultado de todo ese proceso de capacitación, en el año 2005 se realizó el Primer Encuentro de Energía Solar en Uruguay.

1.6. Impacto social y ambiental en Guatemala

Más de la mitad de la población de Guatemala vive por debajo de la línea de pobreza. Alrededor del 70% de los hogares usa leña para cocinar. Se estima que la contaminación del aire de los hogares donde se utiliza leña para cocinar resultó en más de 5 000 muertes prematuras por año en Guatemala, debido al uso ineficiente de leña y biomasa. Además, el déficit anual de leña es equivalente a casi 6 millones anuales de toneladas de madera seca, y la oferta supera a la demanda solamente en tres departamentos. El uso ineficiente de la leña contribuye también al deterioro de la cobertura forestal y a la degradación de los suelos.

- **Pobreza y extrema pobreza**

Guatemala es el país con más número de habitantes en toda Centroamérica. Tiene una población aproximada de 15 millones de personas, de las cuales el 51% vive en el área rural. El 40% de la población guatemalteca es indígena. Como ya se dijo, más de la mitad de la población vive por debajo de la línea de pobreza, con un 13% en pobreza extrema. Más de la mitad de la población guatemalteca utiliza leña para cocinar.

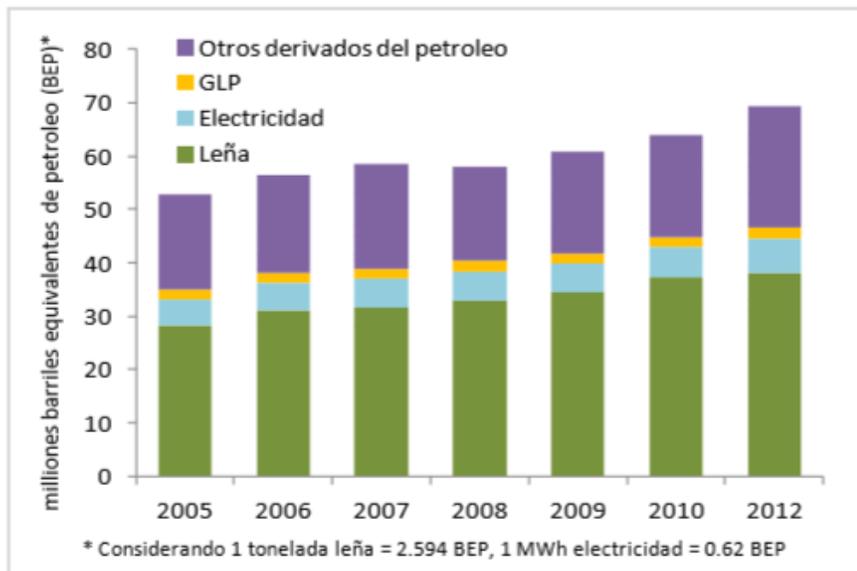
- **Dependencia de hacer uso de la leña**

De acuerdo con el balance energético del Ministerio de Energía y Minas de 2012, la leña representa casi el 57% de las fuentes de energía utilizadas en Guatemala. Alrededor del 70% de los hogares usa leña para cocinar.

El 28% de los hogares urbanos y el 47% de los hogares rurales recolectan toda la leña que consumen, mientras los otros recolectan una parte y compran el

resto. A diferencia de otros países, la obtención de leña en Guatemala se comparte entre hombres y mujeres (entre 1.5 y 2.2 horas al día).

Figura 5. Usos energéticos finales en Guatemala



Fuente: Ministerio de Energía y Minas.

- Hábitos de cocina

Uno de los alimentos que se preparan día con día en los hogares de los guatemaltecos son las tortillas. Una familia consume en promedio 3 kg. de tortillas al día. Además, la preparación del nixtamal (masa de tortilla) requiere que el maíz se cocine lentamente durante varias horas. Este es un claro ejemplo del elevado uso de leña a nivel nacional, el cual se lleva a cabo todos los días.

- Ineficiente uso de la leña

- Sobre la salud pública

La Contaminación de Aire en el Hogar (CAH) es responsable de pérdidas económicas equivalentes a alrededor del 1% del Producto Interior Bruto (PIB) de Guatemala. Se atribuyen alrededor de 5 200 muertes a la CAH en Guatemala en 2010, 1 775 de ellas son niños menores de cinco años. Estos impactos negativos vienen a ser ampliamente reducidos mediante el uso de las energías renovables; tal es el caso del uso de las estufas solares, aunque para muchas familias y hogares su existencia sigue siendo desconocida.

- Sobre los bosques

Según el estudio de la oferta-demanda de leña (INAB, IARNA-URL, FAO, 2012), el déficit anual de leña es equivalente a casi 6 millones anuales de toneladas de madera seca, con una oferta sostenible de leña de 10 millones de toneladas y un consumo con fines energéticos de casi 16 millones de toneladas (el 97.7% para usos residenciales). La oferta supera a la demanda solamente en tres departamentos: Petén, Izabal y Alta Verapaz.

El consumo de leña es generalizado en todo el país; sin embargo, se consume el 85% en el área rural, especialmente en los departamentos de Huehuetenango, San Marcos, Quiché, Alta Verapaz y Quetzaltenango. En estos departamentos se concentra una mayor cantidad de personas indígenas y altos índices de pobreza.

- Una alternativa para evitar la contaminación ambiental

Más de dos millones de hogares consumen leña en Guatemala, todos estos hogares son usuarios "potenciales" de estufas mejoradas y de hacer uso de las energías renovables. De ellos, 1.3 millones compran toda o una parte de la leña que consumen; para estos hogares, el ahorro de combustible es un factor clave, el cual puede ser logrado utilizando los recursos naturales como la energía del sol. Además, la fabricación y el uso de estufas solares es una alternativa amigable con el medio ambiente, ya que no hay partículas suspendidas en el aire ni en las calles. Su degradación es de gran daño para el medio ambiente o la salud de las personas, lo cual ha ocurrido desde hace ya muchos años.

1.7. Ley de reflexión y refracción

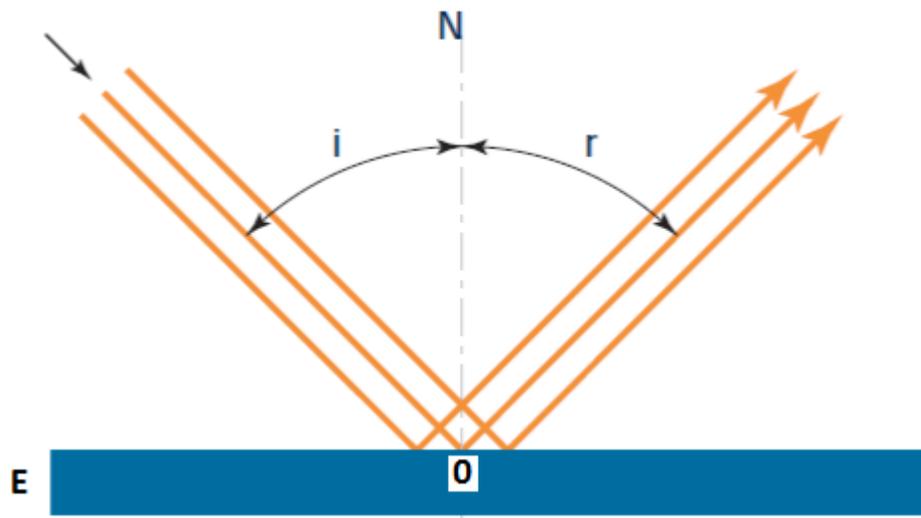
Cuando un rayo de luz entra en contacto con la superficie de un cuerpo, este se refleja total o parcialmente en todas direcciones. Pero la reflexión es de acuerdo a la superficie donde se refleje dicho rayo de luz; si es lisa como un espejo, los rayos son reflejados o rechazados en una sola dirección; toda superficie que refleja los rayos de luz recibe el nombre de espejo. Al rayo de luz que llega a la superficie se le denomina incidente, y al rayo rechazado por la misma superficie se le llama reflejado.

En las leyes de reflexión involucramos los siguientes conceptos: E representa la superficie del espejo; N es una línea imaginaria perpendicular a la superficie reflectora en el punto donde incide el rayo de luz y recibe el nombre de normal; r el rayo reflejado; i es el rayo de reflexión; y O es el punto donde incide el rayo i.

Además es importante destacar los siguientes conceptos:

- El rayo incidente, la normal y el rayo reflejado se encuentran en un mismo plano.
- El ángulo de incidencia es igual al ángulo de reflexión.

Figura 6. **Leyes de reflexión**



Fuente: *Propiedades ópticas de la materia*, Luminotecnia 2002.

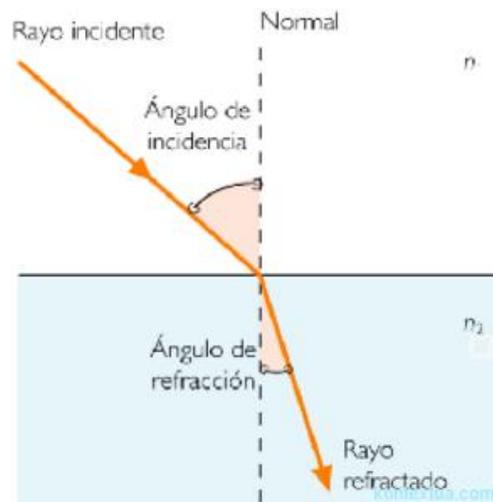
Toda superficie que presenta un color negro o muy oscuro no refleja las ondas que inciden sobre ella y tiende a absorber toda la radiación.

Se le denomina “refracción” al cambio que experimenta la dirección de propagación de la luz cuando atraviesa oblicuamente la superficie de separación de dos medios transparentes de distinta naturaleza. Las cámaras fotográficas, las lentes, el ojo humano, entre otros, basan su funcionamiento en este fenómeno.

Para las leyes de refracción, resaltan los siguientes enunciados:

- El rayo incidente, la normal y el rayo refractado se encuentran en el mismo plano.
- Los senos de los ángulos de incidencia θ_1 y de refracción θ_2 son directamente proporcionales a las velocidades de propagación v_1 y v_2 de la luz en los respectivos medios.

Figura 7. **Leyes de refracción**



Fuente: <http://deconceptos.com/ciencias-naturales/refraccion>. Consulta: Diciembre 2015.

1.8. Factores de reflexión

En la siguiente tabla comparativa se muestran los distintos valores de reflexión que pueden presentar alguna variedad de materiales en función de su composición o color característico. Un dato curioso se da cuando observamos que ninguno de estos materiales tiene 100%, esto se debe a que siempre existirá un cierto valor que sea absorbido por la propia superficie y transformada en calor sin importar el tamaño del material.

Tabla I. **Factores de reflexión de algunos materiales**

Superficie reflectora	% factor de reflexión
Plata brillante	92 - 97
Oro	60 - 92
Plata blanca (mate)	85 - 92
Níquel pulido	60 - 65
Cromo pulido	60 - 65
Aluminio pulido	67 - 72
Aluminio electroabrillantado	86 - 90
Aluminio vaporizado	90 - 95
Cobre	35 - 80
Hierro	50 - 55
Porcelana esmaltada	60 - 80
Espejos	80 - 85
Pintura blanca mate	70 - 80
Amarillo y crema claro	60 - 75
Techos acústicos	60 - 75
Verde muy claro	70 - 80
Verde claro y rosa	45 - 65
Azul claro	45 - 55
Gris claro	40 - 50
Rojo claro	30 - 50
Marrón claro	30 - 40
Marrón, verde y azul oscuros	5 - 20
Negro	3 - 4

Fuente: MACHADO MEGIA, Miguel. *Caracterización de una cocina solar parabólica*. p. 4.

2. MARCO TEÓRICO

2.1. Cocinas solares

Se puede considerar como estufa solar a todo aquel dispositivo o artefacto capaz de convertir la energía del sol en poder calorífico suficiente para cocinar alimentos. Su forma de operación se basa en un recipiente aislante que acumula por efecto invernadero la radiación solar; esto sucede en el caso de los hornos o bien puede recibir y concentrar esta misma radiación en un punto focal donde se coloca el recipiente, como en el caso de las cocinas solares parabólicas.

Entre las diversas aplicaciones, unos de sus usos más comunes dentro del hogar son para preparar alimentos, pasteurizar agua, esterilizar material quirúrgico. Dentro de sus usos a nivel social podrían mencionarse: reducir la presión sobre el bosque y la biomasa, prevenir la erosión y desertización, favorecer la libertad y educación de las mujeres y los niños. Para todo ello hay un único requisito: disponer de radiación solar, algo muy abundante y accesible en la mayoría de las zonas del planeta.

Hay dos grandes escenarios donde las cocinas solares son de gran ayuda, el principal es para los millones de seres humanos que utilizan la leña como combustible y que en muchos casos es ya escasa y cada vez de más difícil acceso. El otro escenario se da cuando, a pesar de disponer de fuentes de energía abundante, contribuimos con su utilización al cambio climático y al expolio de recursos naturales.

2.2. Principio de funcionamiento de las cocinas solares

Las estufas solares basan su principio de funcionamiento en convertir la energía obtenida de los rayos del sol en poder calorífico que ayude a alcanzar altas temperaturas de cocción.

Los grupos en que son divididas las estufas solares se diferencian por una gran variedad de factores. El más relevante la forma en que dichas cocinas captan la energía del sol y la transforman en energía para el calentamiento de los alimentos. Por ejemplo, la forma de captación de la energía solar entre un horno solar y una cocina parabólica es diferente. El horno solar capta calor por medio de la acumulación de radiación infrarroja y las cocinas parabólicas captan el calor por medio de la concentración de la luz directa en un punto.

2.2.1. Cocina solar por acumulación

El ejemplo más claro de una cocina solar por acumulación es el denominado “horno solar”, que no es más que un contenedor aislado al cual se propicia la entrada de la radiación solar y se dificulta que la misma salga de nuevo, de forma que en su interior se incrementa la temperatura.

Uno de los principios básicos de captación de la radiación solar por acumulación es lo que se conoce como efecto invernadero. Este se basa en la propiedad que tienen algunos materiales, como el vidrio, de dejarse atravesar por la radiación solar, pero reflejar solo una parte. La temperatura alcanzada por los materiales afectados por el efecto invernadero se puede transmitir por conducción y esta permite, por ejemplo, cocinar los alimentos o simplemente generar calor para hacer de sauna.

Figura 8. **Acumulación de calor en estufa solar**



Fuente: <http://www.terra.org/categorias/comunidad-cocina-solar/hornos-solares-de-acumulacion>.

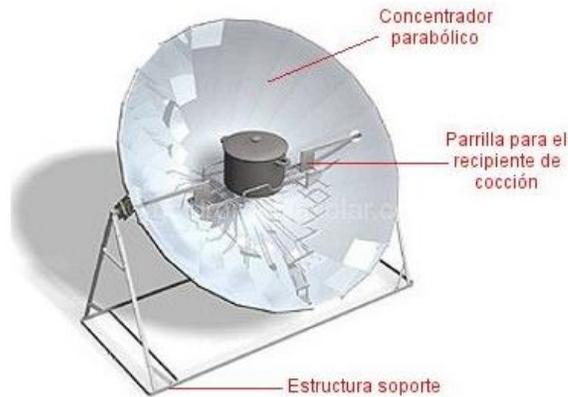
Consulta: febrero de 2016.

2.2.2. Cocina solar por concentración

La concentración solar aplicada al procesamiento de alimentos se ha desarrollado haciendo converger los rayos solares con una superficie curva sobre un punto determinado. El diseño de la superficie de concentración es lo que caracteriza los diferentes tipos de cocinas solares.

El principio de funcionamiento en cocinas de este tipo se basa en la forma que tiene su superficie, la cual es cóncava y tiene la capacidad de recoger y concentrar ondas luminosas y sonoras. Dependiendo de los metros cuadrados de este receptáculo, la profundidad y la brillantez de la superficie, se alcanza (en un punto separado del centro de la esfera que se conoce como punto focal) una determinada temperatura.

Figura 9. **Concentración de calor en una estufa solar**



Fuente: <http://www.terra.org/categorias/comunidad-cocina-solar/hornos-solares-de-acumulacion>.

Consulta: febrero de 2016.

2.2.3. Otros factores

Aunque la cocina solar esté perfectamente aislada siempre se va a perder energía calorífica a través de tres fundamentos de la transferencia de calor: la conducción, la convección y la radiación.

2.2.3.1. Conducción

Consiste en la transferencia de calor entre dos puntos de un cuerpo que se encuentran a diferente temperatura, sin que se produzca transferencia de materia entre ellos. Esta transferencia de energía se da entre las partículas más energéticas hacia las menos energéticas; en nuestro caso, la conducción se va a producir a través de las paredes del horno solar.

2.2.3.2. Convección

En este sistema de transferencia de calor interviene un fluido (gas o líquido) en movimiento que transporta la energía térmica entre dos zonas. Las estufas solares, aunque están hechas de los mejores materiales, siempre van a presentar huecos o imperfecciones que permitan a las moléculas de aire caliente escapar hacia el exterior.

2.2.3.3. Radiación

La transferencia de calor por radiación se refiere al calor emitido por un cuerpo debido a su temperatura. En este tipo de transferencia no existe contacto entre los cuerpos, ni fluidos intermedios que transporten el calor. Simplemente, por existir un cuerpo A (sólido o líquido) a una temperatura mayor que un cuerpo B, existirá una transferencia de calor por radiación de A a B.

Los objetos calientes, como las ollas de las cocinas, presentan en su superficie exterior altas temperaturas debido a la conducción del calor desde su pared interior. Cuando debido a este gradiente de temperatura la energía calorífica llega a la pared exterior, hace subir la temperatura por encima de la temperatura ambiente que le rodea; es por ello que nuestra olla, debido a otro gradiente de temperatura nuevo, va a irradiar calor al aire exterior.

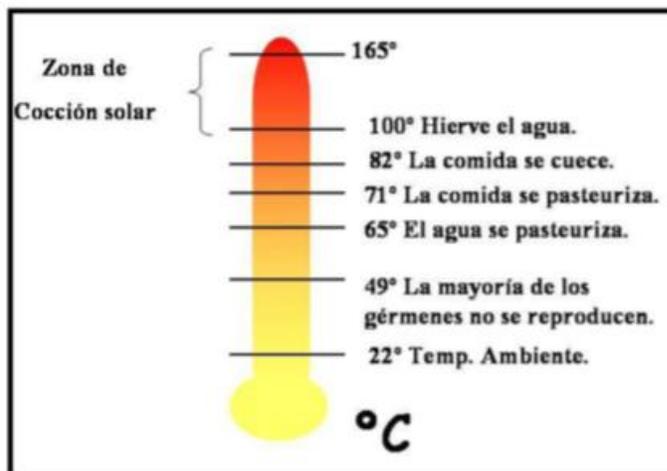
2.3. Tipos de cocinas solares

Los tipos de cocinas solares que serán vistos en esta clasificación se diferencian no solo por el nombre o por el principio de utilización de la energía que obtienen del Sol, sino por sus formas características de diseño, construcción

y eficiencia. Otro de los parámetros más característicos de estas cocinas son los tiempos de cocción.

Los alimentos van a necesitar tiempo y temperatura para estar preparados. La temperatura que se alcanza tiene que ser la necesaria para que dichos alimentos estén libres de microbios y su consumo sea seguro.

Figura 10. **Temperaturas de cocción de alimentos**



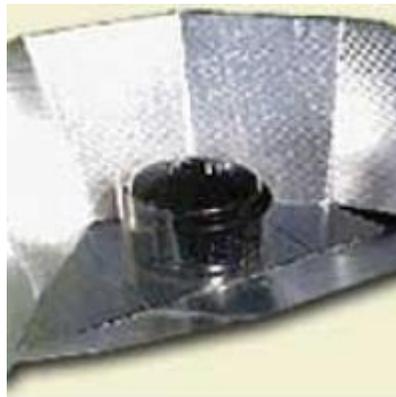
Fuente: CASTRO PINEDA, José. *Diseño, Construcción y pruebas de una cocina solar parabólica de uso doméstico.* p 27.

Por cuestiones de diseño y de la forma en que la energía es almacenada y transformada, el horno solar y los secadores solares no serán tomados como un tipo de cocina solar.

2.3.1. Cocina mixta o de panel (*cooKit*)

Cuando hablamos de cocinar con ayuda del sol, la cocina *cooKit* resulta la más sencilla para realizar este proceso debido a su fácil forma de operación y construcción. Se puede fabricar con un pedazo de cartón y papel aluminio. Este tipo de cocina solar es de un estilo muy casero; además, por la forma de sus dobleces de fabricación, transportarla es muy sencillo y se puede considerar como portátil.

Figura 11. **Cocina solar *cooKit***



Fuente: <http://www.cocinasolar.org/cocinas/cookit>. Consulta: febrero de 2016.

El principio de funcionamiento de este tipo de cocina solar se basa en la concentración y acumulación del calor. Además de esto se necesitan ciertos materiales para la retención de dicho calor, bolsas de plástico, por ejemplo. Dentro de estas bolsas se colocarán los recipientes con los alimentos y las paredes de la cocina, que serán de aluminio, facilitarán la concentración de calor dentro de estas bolsas.

Algunas de las desventajas que presenta este tipo de cocinas, a pesar de que su fabricación es muy sencilla, es que únicamente alcanza temperaturas aproximadas a los 100 °C. Aunque esta es una temperatura con la cual los alimentos pueden cocerse de una forma segura, el tiempo en el que se alcanza dicha temperatura es muy lento.

2.3.2. Cocina solar *Devos o Primrose*

Este tipo de cocina solar trabaja bajo el principio de la concentración de rayos solares que provienen directamente del sol van a incidir sobre una superficie cóncava, la cual va a reflejar todos ellos a un mismo punto común denominado foco.

Esta cocina solar se compone de dos principales componentes que son:

- El concentrador, cubierto de espejos, que permite concentrar los rayos del sol bajo la olla.
- La mesa es de metal o madera; se encuentra agujereada y sobre dicho agujero está colocada la olla.

Esta mesa se construye con materiales disponibles sobre el propio terreno, para reducir el costo y hacer de su fabricación algo accesible a toda persona.

Figura 12. **Cocina solar tipo Devos**



Fuente: http://tablesol.free.fr/Accueil%20ES/Le_cuiseur_Devos_es/Cuiseur_Devos_es.html.

Consulta: febrero de 2016.

Al utilizar únicamente el principio de concentración, el hecho de orientar continuamente el panel de la cocina se hace indispensable para que esta funcione de manera eficiente.

Las cocinas *Devos* permiten alcanzar temperaturas muy altas, suficientes para cocinar cualquier tipo de alimento, en un corto tiempo. Es lo que lo hace ser más ventajosa en comparación con la estufa solar tipo *cooKit*.

Otras de las ventajas de este tipo de estufa solar es la seguridad con la que se trabaja ya que, como se puede observar, su estabilidad es muy alta debido a la estructura de la mesa. En cuanto a sus desventajas, se pueden mencionar su construcción y, sobre todo, su almacenamiento, ya que se hacen un poco más difíciles al resto de las cocinas solares.

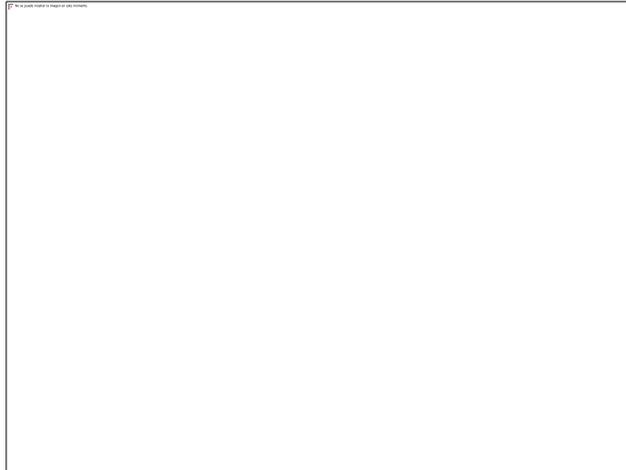
2.3.3. Cocina parabólica

La cocina solar parabólica utiliza una superficie, como su nombre lo dice, en forma de paraboloide, la cual es reflectora de los rayos solares que inciden en dicha superficie. Estos rayos son dirigidos hacia un punto denominado foco y con ello generan la temperatura necesaria para cocinar los alimentos.

Las principales partes que componen una estufa solar parabólica son:

- Soporte para el recipiente de comida: su objetivo es mantener de forma estable y segura el recipiente donde se colocará la comida en el punto en el cual se concentra la energía captada por la cocina; es decir, el foco.
- Concentrador parabólico: encargado de concentrar los rayos de sol que llegan a su superficie hacia el punto donde se encuentra el recipiente con los alimentos. Esto se logra por su superficie reflectora, la cual envía los rayos directamente al punto focal.
- Soporte del sistema: se encarga de dar soporte a todas las partes de la cocina. Se fabrican en madera o metal, según el modelo. Sus funciones son proporcionar estabilidad al conjunto, facilitar su utilización y permitir una adecuada movilidad.

Figura 13. **Estufa solar parabólica**



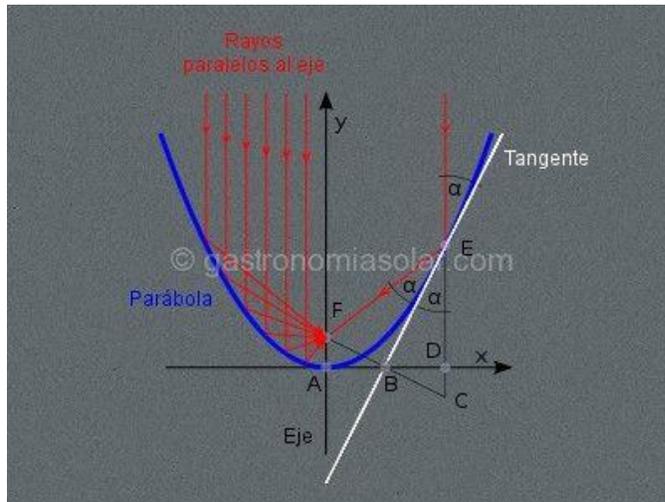
Fuente: <http://gastronomiasolar.com/cocina-solar-parabolica/>. Consulta: febrero 2016.

2.3.3.1. Principio de la parábola

Una parábola es una línea curva formada por un conjunto de puntos que cumplen determinadas propiedades geométricas. La más importante de ellas y en la que se basa el principio de funcionamiento de la cocina solar parabólica es que la tangente en cualquier punto de la parábola, refleja los rayos paralelos a su eje, siempre en dirección al foco.

Otro aspecto importante, si la parábola se hace girar 360° alrededor de su eje, obtenemos una superficie llamada paraboloides de revolución o superficie parabólica, cuyo foco también será F. Todos los rayos paralelos al eje del paraboloides, después de reflejarse en la superficie, pasan necesariamente por el foco. En esta propiedad se fundamenta el diseño de los concentradores empleados en las cocinas solares parabólicas.

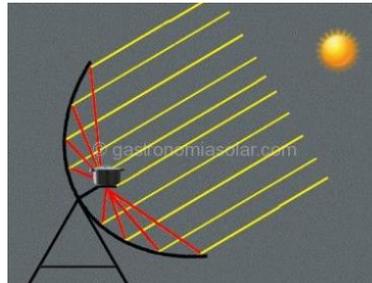
Figura 14. **Principio de funcionamiento de una cocina solar parabólica**



Fuente: <http://gastronomiasolar.com/cocina-solar-parabolica/>. Consulta: febrero 2016.

El concentrador de una cocina solar parabólica es un paraboloide fabricado con diversos tipos de materiales. En su cara interna se encuentran materiales altamente reflectivos. Posee un material con un grado alto de reflexión en el paraboloide, cuyo eje debe alinearse en dirección al sol para que los rayos sean paralelos al eje y al incidir en la superficie, sean reflejados hacia el foco donde se encontrará el recipiente con los alimentos, como se muestra en la siguiente figura:

Figura 15. **Esquema de funcionamiento de una estufa solar parabólica**



Fuente: <http://gastronomiasolar.com/cocina-solar-parabolica/>. Consulta: febrero 2016.

Los rayos solares reflejados (representados por líneas de color rojo), provenientes desde toda la superficie del concentrador, al incidir en un recipiente de cocción de material apropiado, elevan de forma instantánea su temperatura a valores que permiten efectuar cualquier tipo de preparación alimenticia de forma similar a como lo hace una cocina convencional.

2.3.3.2. Ecuación general de la parábola

Una parábola es el conjunto de todos los puntos de un plano equidistantes de un punto fijo F (el foco) y una recta fija l (la directriz) que está en el plano.

Para obtener una ecuación sencilla para una parábola, coloque el eje y a lo largo del eje de la parábola, con el origen en el vértice V , como se ve en la Figura 16. En este caso, el foco F tiene coordenadas $(0, p)$ para algún número real $p \neq 0$ y la ecuación de la directriz es $y = -p$ (la figura muestra el caso $p > 0$). Por la fórmula de la distancia, un punto $P(x, y)$ está en la gráfica de la parábola si y sólo si $d(P, F) = d(P, P')$, es decir, si:

$$\sqrt{(x - 0)^2 + (y - p)^2} = \sqrt{(x - x)^2 + (y + p)^2}$$

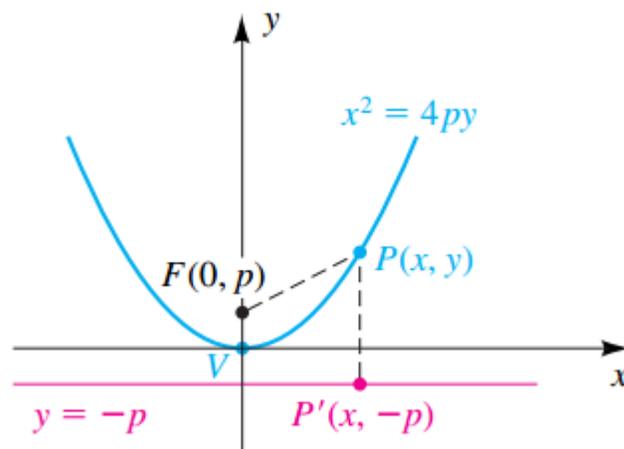
Elevamos al cuadrado ambas partes y simplificamos:

$$\begin{aligned}x^2 + (y - p)^2 &= (y + p)^2 \\x^2 + y^2 - 2yp + p^2 &= y^2 + 2yp + p^2 \\x^2 &= 4py\end{aligned}$$

Por lo tanto, una ecuación equivalente para la parábola es:

$$y = \frac{1}{4p}x^2$$

Figura 16. **Parábola con centro en el origen**



Fuente: SWOKOWSKI, Earl. *Álgebra y trigonometría*. p. 760.

Las siguientes tablas resumen lo expuesto anteriormente con diferentes condiciones de la parábola:

Figura 17. **Parábolas con vértice en el origen**

Ecuación, foco, directriz	Gráfica para $p > 0$	Gráfica para $p < 0$
$x^2 = 4py$ o $y = \frac{1}{4p}x^2$ Foco: $F(0, p)$ Directriz: $y = -p$		
$y^2 = 4px$ o $x = \frac{1}{4p}y^2$ Foco: $F(p, 0)$ Directriz: $x = -p$		

Fuente: SWOKOWSKI, Earl. *Álgebra y trigonometría*. p. 761.

Figura 18. **Parábolas con vértice en (h,k)**

Ecuación, foco, directriz	Gráfica para $p > 0$	Gráfica para $p < 0$
$(x - h)^2 = 4p(y - k)$ o $y = ax^2 + bx + c$, donde $p = \frac{1}{4a}$ Foco: $F(h, k + p)$ Directriz: $y = k - p$		
$(y - k)^2 = 4p(x - h)$ o $x = ay^2 + by + c$, donde $p = \frac{1}{4a}$ Foco: $F(h + p, k)$ Directriz: $x = h - p$		

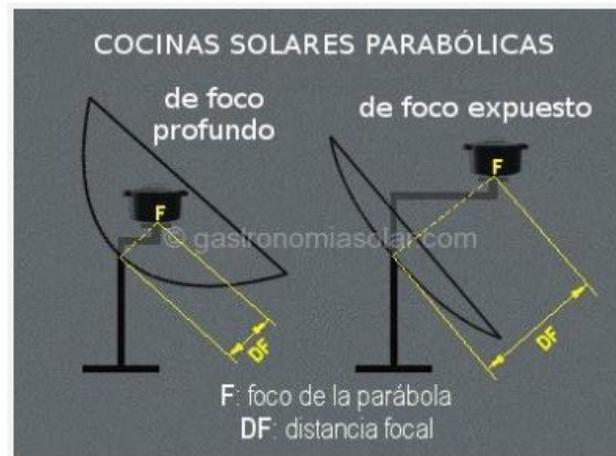
Fuente: SWOKOWSKI, Earl. *Álgebra y trigonometría*. p 763.

2.3.3.3. Tipos de cocinas solares parabólicas

Las cocinas parabólicas pueden clasificarse de acuerdo a diversos factores muy específicos, como por ejemplo, tamaño, materiales de construcción, facilidad de ensamblaje, entre otros muchos más factores. Sin embargo, existe una clasificación general y muy útil aplicada a este tipo de cocinas solares como la forma geométrica de su concentrador parabólico y la ubicación en la que se encuentra su punto focal. De acuerdo a estas especificaciones, las cocinas parabólicas pueden clasificarse en:

- Cocina solar parabólica de foco profundo: en este tipo de cocina parabólica el foco se encuentra dentro del concentrador, lo cual hace que sean mucho más seguras y eficientes. Al encontrarse el punto donde se colocarán los alimentos dentro del concentrador, existe un menor contacto con el viento, lo que mejora la eficiencia. También asegura tener siempre a la vista tanto la olla caliente con alimentos como la superficie parabólica, evita quemaduras o algún otro riesgo.
- Cocina solar parabólica de foco expuesto: como su nombre lo indica, este tipo de cocina solar tiene el punto focal fuera del concentrador parabólico, a una distancia mayor que una cocina solar de foco profundo. Una de sus principales desventajas es que el foco, por encontrarse más alejado del vértice del reflector, se desorienta mucho más rápido por el avance del sol. Es así necesario reorientar la cocina con mucho más frecuencia que en los modelos de foco profundo.

Figura 19. **Tipos de cocinas solares parabólicas**



Fuente: <http://gastronomiasolar.com/cocina-solar-parabolica/>. Consulta: febrero 2016.

La distancia focal, definida como la separación entre el vértice del reflector y el foco, punto donde se ubica el recipiente de cocción, es importante para la estabilidad de la cocina. Esto debido a que a mayores distancias y recipientes con excesivo peso, pueden provocar que la cocina se vuelque ante la acción de un viento fuerte o un contacto accidental, causando daños materiales y personales.

2.3.3.4. Posicionamiento de la cocina solar respecto al sol

En una estufa solar parabólica un aspecto clave es la potencia de salida, la cual se va a alcanzar a gran escala dependiendo de ciertos factores, como por ejemplo, el tamaño y diseño de la estufa, material reflectante que se utilice, intensidad de la radiación solar. Aunque cabe mencionar que su funcionamiento está limitado por condiciones inestables del clima y del viento.

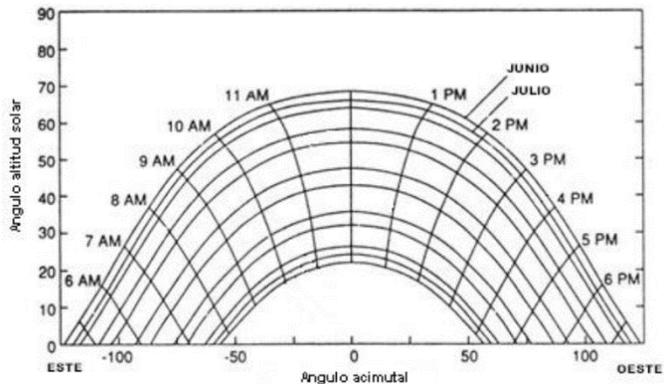
El clima es un factor importante ya que para tener una mejor potencia de salida es necesario tener adecuadas condiciones de radiación solar. Dicha radiación debe de ser constante, ya que el cambio mínimo en la incidencia de los rayos solares sobre la superficie parabólica alterará el rendimiento, debido a que la cocina parabólica solo funcionará con los rayos que incidan directamente sobre la superficie de reflexión.

Al tener en cuenta únicamente esta radiación directa sobre el plano de la cocina, debemos estimar cuál va a ser la dirección angular del sol para los días en los que se realizan los ensayos.

A continuación se muestra una gráfica de una carta cilíndrica de los movimientos del sol dependiendo de los meses del año y las horas del día. Esta gráfica es muy importante para los cálculos de potencia de la cocina, ya que es necesario saber la altura en la que se encuentra el sol para conocer la radiación normal a la superficie parabólica en estudio.

La carta cilíndrica que se utilizará debe ser para la latitud de cada país o región en la que se está haciendo el estudio de la cocina solar; esto contribuirá a obtener valores más reales, ya que los ángulos solares cambian según la región en la que se haga el estudio.

Figura 20. **Posicionamiento del sol en cada mes del año, a diferentes horas**



Fuente: CASTRO PINEDA, José. *Diseño, construcción y pruebas de una cocina solar parabólica de uso doméstico*. p. 45.

En la gráfica anterior se observa que desde que el sol sale hasta que se pone describe una misma curva durante todo el año, donde únicamente cambia la altura que alcanza a lo largo del día.

Por el motivo descrito, el movimiento del sol, junto con la necesidad de que la cocina esté orientada a los rayos solares incidentes, es necesario que el dispositivo de cocción presente ciertos grados de libertad en sus movimientos. Esto para que se pueda mover de forma sencilla todo el dispositivo, de manera que esté continuamente orientado y el foco no se desplace del punto deseado.

2.3.3.5. Ventajas y desventajas del uso de una cocina solar parabólica

Una cocina solar parabólica tiene muchos beneficios desde diversos puntos de vista. Por ejemplo, desde el punto de vista de su funcionamiento, es un

artefacto que no consume electricidad ni combustible durante su uso. Sin embargo, también existen algunos factores que juegan en su contra; como los que se presentan a continuación.

- Algunas ventajas del uso de una cocina solar parabólica
 - Permite un gran ahorro económico, ya que por utilizarla no se paga ningún tipo de energía o combustible.
 - No produce ningún tipo de gas contaminante para la atmósfera.
 - Si se utiliza de la mejor manera, el tiempo en que los alimentos tardan en cocinarse es muy similar a lo que tarda una estufa convencional.
 - Puede cocinarse cualquier tipo de comida y alimentos.

- Algunas desventajas del uso de una cocina solar parabólica
 - Necesita atención constante, ya que debe reorientarse en dirección del sol, cada 15 a 20 minutos.
 - Solo puede utilizarse un recipiente de cocción a la vez, puesto que solo tiene un punto focal.
 - Son dependientes de las condiciones climáticas del día, ya que su funcionamiento será muy variado de acuerdo a la intensidad de los rayos de sol.
 - Son voluminosas, ocupan demasiado espacio y son difíciles de transportar por los mismos motivos.
 - Algunos modelos suelen ocasionar molestias en los ojos, debido al deslumbramiento causado la superficie del reflector.

3. DISEÑO EXPERIENTAL DE UNA ESTUFA SOLAR TIPO PARABÓLICA

3.1. Selección del tipo de estufa solar

Por el principio de funcionamiento para la captación de calor, para el presente trabajo de graduación, el tipo de estufa solar seleccionado de las previamente descritas en el capítulo anterior, es la estufa solar tipo parabólica.

La estufa solar parabólica presenta una serie de ventajas, las cuales hacen que su uso y aceptación en las familias del área rural sea una excelente opción para evitar la contaminación ambiental. Su uso no es dañino para el ser humano y además resalta su bajo costo de fabricación.

Utilizando el principio de la parábola para la captación de calor, los materiales para su fabricación, cálculos para su diseño, amplias ventajas sobre los demás tipos de estufas solares y sobre todo la facilidad de diseño y elaboración para que cualquier familia o persona sea capaz de construir, la estufa solar parabólica resulta una de las opciones más fiables y eficientes al momento de su construcción.

En el presente diseño no se dará relevancia al tipo de parábola a fabricar; es decir, de foco interno o foco externo, debido a las dimensiones de fabricación de la parábola con el objetivo de reducir los costos de fabricación.

3.2. Selección de materiales para la elaboración de la estufa solar

Uno de los objetivos de la elaboración de la estufa solar parabólica está basado en estimar materiales y costos de su elaboración. Son muchas las opciones para que su fabricación sea altamente económica y confiable utilizando principalmente materiales reciclables y que su uso sea amigable con el medio ambiente, desde su diseño hasta su funcionamiento.

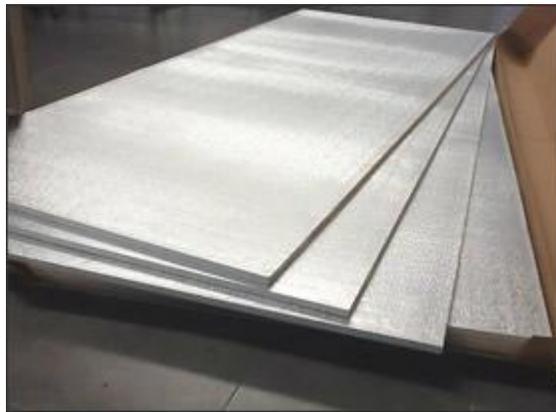
Entre los principales materiales reciclables que fueron tomados en cuenta para la elaboración de la estufa solar y pueden ser considerados para futuros diseños, están:

- Sombrillas con forma parabólicas, con o sin forro.
- Antenas parabólicas.
- Toneles.
- Ollas circulares o parabólicas.
- Lámparas.
- Láminas de aluminio.
- Piezas de cartón.
- Entre otras opciones reciclables.

Como puede notarse, muchas de las opciones previamente presentadas ya contaban con una forma parabólica o esférica, las cuales pudieron haber cumplido a la perfección con el principio de la parábola. Sin embargo, también existía la posibilidad de que la parábola fuera formada a partir de piezas planas de cartón o lámina, buscando la mayor exactitud posible a una parábola.

En el presente diseño experimental el material que se utilizó para la elaboración de la parábola y demás partes fue lámina galvanizada, con el fin de aprovechar los principios de transferencia de calor por radiación y conducción.

Figura 21. **Lámina galvanizada para la elaboración de la estufa solar parabólica**



Fuente: Hojalatería San Miguel, Km 49.5 carretera Interamericana.

3.3. Selección de materiales reflectantes

Una de las principales características para un óptimo rendimiento en una estufa solar tipo parabólica es que el material reflectante sea colocado dentro de la parábola. De esta manera, se logra que todos los rayos del sol sean dirigidos con mayor intensidad hacia el foco y que la energía solar no sea disipada.

Entre los principales materiales reflectantes que fueron tomados en cuenta para la elaboración de la estufa solar y pueden ser considerados para futuros diseños, están:

- Papel aluminio.
- Plásticos.
- Latas de aluminio de aguas o jugos.
- CD's.
- Pedazos de espejos (material más reflectante).
- Pintura reflectante.

Debido a que se utilizó lámina galvanizada para la elaboración de la parábola y a que el aluminio es un material altamente reflectante, se aprovechó el material de fabricación para utilizarlo como material reflectante a la vez.

Figura 22. **Paraboloide de la estufa solar elaborado con lámina galvanizada**

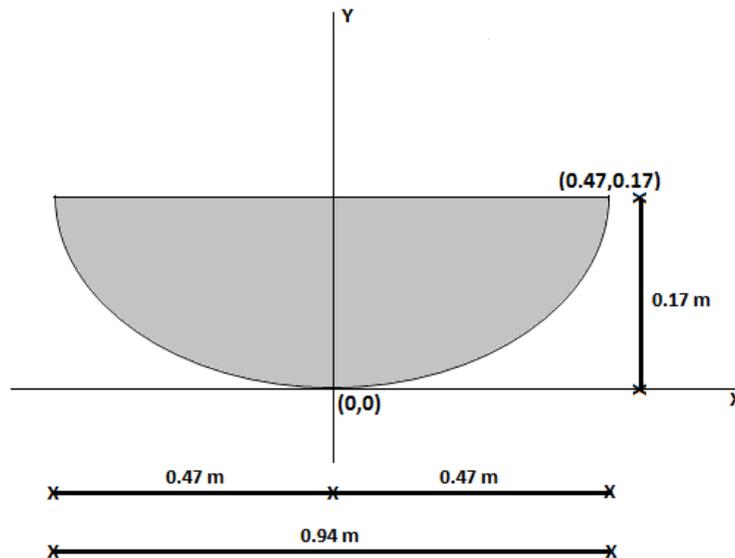


Fuente: Sumpango, Sacatepéquez.

3.4. Cálculos matemáticos

Las dimensiones reales del paraboloide de la estufa solar son las siguientes:

Figura 23. Dimensiones del paraboloide de la estufa solar



Fuente: elaboración propia.

3.4.1. Ecuación general de la parábola

Asumiendo que nuestra parábola tiene su vértice en el punto (0,0) y se conoce un punto por el que pasa, el cual es (0.47,0.17), tal como se muestra en la Figura 23. Por lo tanto, utilizamos la ecuación general de una parábola con vértice $V(0,0)$ y que abre hacia arriba, la cual queda definida como:

$$y = \frac{1}{4p}x^2$$

Sustituyendo los puntos previamente establecidos en la ecuación se encuentra el valor de $\frac{1}{4p}$:

$$(0.17) = \frac{1}{4p} (0.47)^2$$
$$\frac{0.17}{(0.47)^2} = \frac{1}{4p}$$

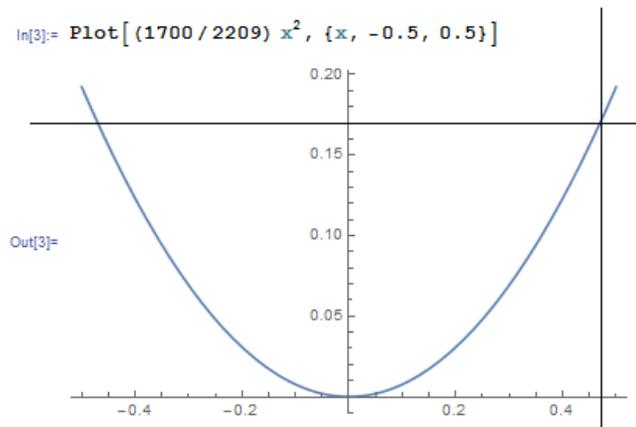
$$\frac{1700}{2209} = \frac{1}{4p}$$

Por lo tanto, la ecuación general de nuestra parábola queda definida como:

$$y = \frac{1700}{2209} x^2$$

A través de un *software* matemático para modelar la ecuación de la parábola con un rango de visualización adecuado, obtenemos la siguiente gráfica.

Figura 24. **Gráfica de la ecuación de la parábola de la estufa solar**



Fuente: elaboración propia, *Wolfram Mathematica 10.0*.

3.4.2. Localización del punto focal de la estufa solar a partir de la ecuación de la parábola

Para el óptimo funcionamiento de la estufa solar debe cumplirse a la perfección el principio de la parábola, el cual enuncia que todos los rayos que lleguen a la superficie de la parábola y sean paralelos al eje de la misma serán

reflejados directamente hacia el punto focal. Por lo tanto, localizar adecuadamente este punto en la estufa solar es de suma importancia para alcanzar altas temperaturas.

La ecuación general de la parábola, que modelará la estufa solar es:

$$y = \frac{1700}{2209}x^2$$

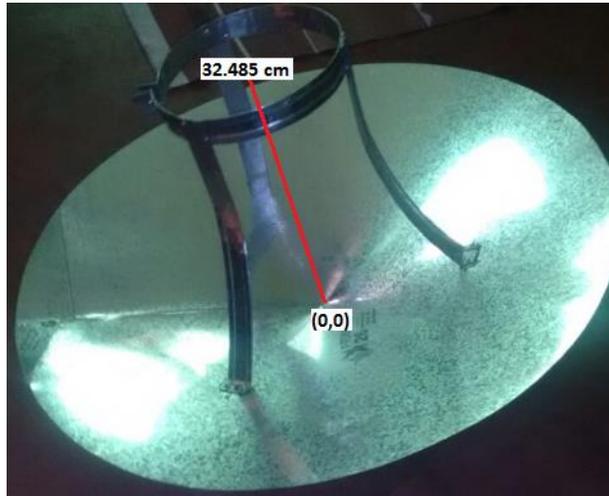
Por lo tanto, la ecuación tiene la forma $y = ax^2$, con $a = \frac{1700}{2209}$.

Si $a = \frac{1}{(4p)}$, se despeja p :

$$P = \frac{1}{(4a)} = \frac{1}{4\left(\frac{1700}{2209}\right)} = \frac{1}{\frac{6800}{2209}} = \frac{2209}{6800} = 0.32485$$

Así, la parábola abre hacia arriba y tiene el foco $F(0,0.32485)$. Por lo tanto, el punto focal de la estufa solar se encuentra ubicado aproximadamente a 0.32485 metros (32.485 cm) del vértice de la parábola.

Figura 25. **Punto focal de la estufa solar**



Fuente: Sumpango, Sacatepéquez.

Figura 26. **Prueba experimental del punto focal, con una bolsa plástica**



Fuente: Sumpango, Sacatepéquez.

Como puede observarse en la figura anterior, las primeras pruebas experimentales de la estufa solar se llevaron a cabo con una bolsa de plástico, con el fin de comprobar que la distancia del punto focal era la correcta. En la

segunda figura se observa que los rayos del sol se reflejan justo en el centro de la bolsa hasta el punto de derretirla y agujerarla. Con esto podemos proceder a realizar nuestras pruebas experimentales en agua y alimentos.

3.5. Pruebas experimentales

3.5.1. Prueba experimental de calentamiento de agua para un volumen de un litro

Para llevar a cabo esta primera prueba se utilizará de preferencia una olla de aluminio de color negro o color oscuro para que haya una mejor absorción de calor, siempre y cuando se controle la distancia de la base de la olla para que quede justo en el punto focal previamente establecido en los cálculos. Dicha prueba se llevará a cabo a temperatura ambiente en un día cualquiera y se registrarán las condiciones del clima cada hora. Se procederá a vaciar un litro de agua en la olla seleccionada y se pondrá en la estufa solar parabólica; se registrará la temperatura inicial del agua y se medirá con un termómetro el cambio de dicha temperatura cada 10 minutos hasta alcanzar el punto de ebullición o la temperatura más alta que se registre durante la prueba.

El objetivo es determinar el tiempo aproximado para que el agua alcance la máxima temperatura. Se espera que esta temperatura sea la del punto de ebullición del agua.

Figura 27. **Prueba experimental de calentamiento de un litro de agua**



Fuente: Sumpango, Sacatepéquez.

3.5.1.1. Materiales para llevar a cabo la prueba de calentamiento de agua (1 litro)

Los materiales que utilizaremos para llevar a cabo la prueba y medir el cambio de la temperatura en el agua son los siguientes:

- Estufa solar parabólica.
- Una olla de aluminio con tapa.
- Un termómetro especial para medir la temperatura del ambiente.
- Un termómetro especial para medir la temperatura del agua.
- Equipo de protección personal:
 - Playera manga larga.
 - Lentes para sol.
 - Guantes para manipular los materiales.

Figura 28. **Materiales para la prueba de calentamiento de agua (1 litro)**



Fuente: Sumpango, Sacatepéquez.

3.5.1.2. Recolección de datos

Las pruebas experimentales se llevaron a cabo en el municipio de Sumpango del departamento de Sacatepéquez. Se registró la hora y fecha, las coordenadas de la ubicación del municipio, la velocidad del viento, humedad del aire, temperatura ambiente (estos datos fueron tomados de la página de internet “*The Weather Channel*” <https://weather.com/es-GT/tiempo/hoy/l/14.65,-90.74>).

Además, como parte primordial de la recolección de datos, se registrará la variación de la temperatura del agua cada 10 minutos. Con este fin, se procederá a tomar las respectivas mediciones con el equipo adecuado previamente mencionado.

Tabla II. **Datos para la prueba experimental de calentamiento de agua (1 litro)**

Prueba experimental de calentamiento de un litro de agua Fecha: Jueves 12 de enero de 2017 Lugar: Sumpango, Sacatepéquez								
Hora	Coordenadas	Velocidad del viento (Km/h)	Humedad	Temperatura ambiente (°C)	Temperatura del agua (°C)			
11:30	4° 38' 51.91" N, 90° 44' 5.19" W	NNE 17Km/h	57%	18	15			
11:40					16			
11:50					18			
12:00		NNE 19Km/h	54%	19	20			
12:10					23			
12:20					26			
12:30					32			
12:40					40			
12:50					42			
13:00					En decimales: 14.647752°, -90.734775°	NNE 19Km/h	53%	20
13:10	58							
13:20	69							
13:30	71							
13:40	70							
13:50	68							
14:00	NNE 18Km/h	53%	20	64				
14:10				61				

Fuente: elaboración propia.

3.5.2. Prueba experimental de calentamiento de agua para un volumen de dos litros

En esta segunda prueba de calentamiento de agua se seguirán los mismos principios utilizados para la prueba experimental anteriormente mostrados, con la única diferencia que se lleva a cabo para un volumen de agua de dos litros. Se utilizará de preferencia una olla de aluminio de color negro o color oscuro para

que haya una mejor absorción de calor, siempre y cuando se controle la distancia de la base de la olla para que quede justo en el punto focal previamente establecido en los cálculos. Dicha prueba se llevará a cabo a temperatura ambiente y un día después de efectuar la prueba experimental con un litro de agua. Se registrarán las condiciones del clima cada hora. Se procederá a vaciar 2 litros de agua en la olla seleccionada y se pondrá en la estufa solar parabólica. Se registrará la temperatura inicial del agua y se irá midiendo con un termómetro el cambio de la temperatura cada 10 minutos hasta alcanzar el punto de ebullición o la temperatura más alta que se registre durante la prueba.

El objetivo es determinar el tiempo aproximado para que el agua alcance la máxima temperatura; se espera que esta temperatura sea la del punto de ebullición del agua.

Figura 29. **Prueba experimental de calentamiento de dos litros de agua**



Fuente: Sumpango, Sacatepéquez.

3.5.2.1. Materiales para llevar a cabo la prueba experimental del calentamiento de agua (2 litros)

Los materiales que utilizaremos para llevar a cabo la prueba y medir el cambio de la temperatura en el agua son los siguientes:

- Estufa solar parabólica.
- Una olla de aluminio con tapa.
- Un termómetro especial para medir la temperatura del ambiente.
- Un termómetro especial para medir la temperatura del agua.
- Equipo de protección personal:
 - Playera manga larga.
 - Lentes para sol.
 - Guantes para manipular los materiales.

3.5.2.2. Recolección de datos

Para llevar a cabo la recolección de datos se realizará el mismo procedimiento que para el calentamiento de un litro de agua, en la misma ubicación y mismas horas. Varía únicamente la fecha del ensayo experimental. Algunos de los datos (coordenadas, velocidad del viento, humedad y temperatura ambiente) fueron obtenidos de la página de internet “*The Weather Channel*” (<https://weather.com/es-GT/tiempo/hoy/l/14.65,-90.74>).

Como parte primordial de la recolección de datos está el registro de la variación de la temperatura del agua (2 litros) cada 10 minutos, para lo cual se procederá a tomar las respectivas mediciones con el equipo mencionado.

Tabla III. **Datos para la prueba experimental de calentamiento de agua (2 litros)**

Prueba experimental de calentamiento de dos litro de agua Fecha: viernes 13 de enero de 2017 Lugar: Sumpango, Sacatepéquez					
Hora	Coordenadas	Velocidad del viento (Km/h)	Humedad	Temperatura ambiente (°C)	Temperatura del agua (°C)
11:30	4° 38' 51.91" N, 90° 44' 5.19" W En decimales: 14.647752°, -90.734775°	NNE 15Km/h	60%	19	14
11:40					15
11:50					17
12:00		NNE 16Km/h	59%	20	20
12:10					23
12:20					25
12:30					28
12:40					28
12:50		NNE 16Km/h	58%	21	35
13:00					40
13:10					44
13:20					50
13:30					51
13:40					52
13:50					51
14:00		NNE 17Km/h	58%	21	50
14:10	47				
14:20	40				

Fuente: elaboración propia.

3.5.3. Prueba experimental de cocción de un huevo (estrellado) a temperatura ambiente

Para llevar a cabo esta prueba experimental se utilizará una olla, cazo o sartén de aluminio o color oscuro para una mejor absorción de calor, siempre y cuando se controle la distancia de la base del recipiente para que quede justo en el punto focal previamente establecido en los cálculos. Se procederá a quebrar el huevo y colocarlo sobre la olla; a continuación se medirá el tiempo transcurrido desde el momento que se colocó el huevo por primera vez hasta que esté completamente cocido o, en su defecto, el porcentaje máximo de cocción que se alcance, el cual será calculado cada 5 minutos.

El objetivo de dicha prueba es comprobar si el calor que recibirá la olla seleccionada es suficiente para cocer el huevo.

3.5.3.1. Materiales para la prueba experimental de cocción de un huevo a temperatura ambiente

Los materiales que utilizaremos para llevar a cabo la prueba de cocción de un huevo son los siguientes:

- Estufa solar parabólica.
- Un huevo.
- Un comal de aluminio con agarradores.
- Equipo de protección personal:
 - Playera manga larga.
 - Lentes para sol.
 - Guantes para manipular los materiales.

Figura 30. **Materiales para la prueba experimental de cocción de un huevo a temperatura ambiente**



Fuente: Sumpango, Sacatepéquez.

3.5.3.2. Recolección de datos

Para la recolección de datos se registró el lugar de donde se realizó la prueba experimental, hora de inicio y hora de finalización, tiempo transcurrido, coordenadas de la ubicación del lugar, velocidad del viento, humedad del aire, temperatura ambiente (estos datos fueron tomados de la página de internet “*The Weather Channel*” <https://weather.com/es-GT/tiempo/hoy/l/14.65,-90.74>).

Como parte primordial en la recolección de datos está el tiempo que transcurre desde el momento que el huevo es quebrado y colocado en el comal hasta que queda completamente cocido; también se consideran los porcentajes de cocción del huevo con el transcurrir del tiempo.

Tabla IV. **Datos para la prueba experimental de cocción de un huevo a temperatura ambiente**

Prueba experimental de cocción de un huevo Fecha: sábado 14 de enero de 2017 Lugar: Sumpango, Sacatepéquez					
Hora	Coordenadas	Velocidad del viento (Km/h)	Humedad	Temperatura ambiente (°C)	% de cocción
12:00	4° 38' 51.91" N, 90° 44' 5.19" W En decimales: 14.647752°, -90.734775°	S 12 Km/h	50%	22	0
12:05					5
12:10					10
12:15					20
12:20					35
12:25					50
12:30					60
12:35					75
12:40					90
12:43					100
Tiempo aproximado de cocción: 43 minutos					

Fuente: elaboración propia.

3.5.4. Prueba experimental de cocción de tortillas a temperatura ambiente

Como parte de las pruebas experimentales que se llevarán a cabo en el presente trabajo de investigación se encuentra la prueba de cocción de tortillas a temperatura ambiente. Dicha prueba fue considerada para realizarse por el alto y común consumo de este alimento en los hogares guatemaltecos, tanto en áreas urbanas como rurales.

Para llevar a cabo esta prueba experimental se utilizará un comal de aluminio, en el cual se colocarán tortillas de masa. Esta masa fue preparada previamente y dichos datos no son de relevancia para esta prueba experimental, siempre y cuando se controle la distancia del vértice del paraboloide con el comal

para que quede justo en el punto focal previamente establecido en los cálculos. A continuación se procederá a medir el tiempo que transcurre desde que las tortillas son colocadas en el comal hasta que se encuentren completamente cocidas de ambos lados o, en su defecto, el porcentaje máximo de cocción que se alcance, el cual será calculado cada 5 minutos.

El objetivo de dicha prueba es comprobar si el calor que recibirá el comal es suficiente para cocer en su totalidad las tortillas de masa.

3.5.4.1. Materiales para la prueba experimental de cocción de tortillas a temperatura ambiente

Los materiales que utilizaremos para llevar a cabo la prueba de cocción de tortillas son los siguientes:

- Estufa solar parabólica.
- 3 tortillas de masa.
- Un comal de aluminio con agarradores.
- Un termómetro especial para medir la temperatura del ambiente.
- Equipo de protección personal:
 - Playera manga larga.
 - Lentes para sol.
 - Guantes para manipular los materiales.

Figura 31. **Materiales para la prueba experimental de cocción de tortillas**



Fuente: Sumpango, Sacatepéquez.

3.5.4.2. Recolección de datos

Para la recolección de datos se registró el lugar de donde se realizó la prueba experimental, fecha, hora de inicio y hora finalización de la prueba, tiempo transcurrido, las coordenadas de la ubicación del lugar, la velocidad del viento, humedad del aire, temperatura ambiente (estos datos fueron tomados de la página de internet “*The Weather Channel*” <https://weather.com/es-GT/tiempo/hoy/l/14.65,-90.74>).

Como partes primordiales en la recolección de datos tenemos el tiempo que transcurre desde el momento que las tortillas son colocadas en el comal hasta que se encuentren completamente cocidas y también los porcentajes de cocción de dichas tortillas con el transcurrir del tiempo.

Tabla V. **Datos para la prueba experimental de cocción de tortillas a temperatura ambiente**

Prueba experimental de cocción de tortillas Fecha: lunes 16 de enero de 2017 Lugar: Sumpango, Sacatepéquez					
Hora	Coordenadas	Velocidad del viento (Km/h)	Humedad	Temperatura ambiente (°C)	% de cocción
Lado posterior de las tortillas					
12:10	4° 38' 51.91" N, 90° 44' 5.19" W En decimales: 14.647752°, -90.734775°	NE 14 Km/h	55%	21	0
12:15					20
12:20					45
12:25					65
12:30					85
12:35					100
Lado superior de las tortillas					
12:40	4° 38' 51.91" N, 90° 44' 5.19" W En decimales: 14.647752°, -90.734775°	NE 14 Km/h	55%	22	25
12:45					50
12:50					75
12:55					100
Tiempo aproximado de cocción: 45 minutos					

Fuente: elaboración propia.

4. ANÁLISIS DE RESULTADOS

4.1. Costos, accesibilidad de materiales y vida útil de la estufa solar parabólica

En cuanto a la fabricación de la estufa solar parabólica puesta a prueba en el presente trabajo de investigación, fue elaborada con lámina galvanizada. Sin embargo, como fue mencionado en la sección 3.2 y 3.3, existen diversos materiales que pueden ser útiles. Muchos de ellos podrían ser materiales reciclables o que ya no se utilizan en los hogares. Sin embargo, si se quisiera hacer un análisis más profundo de los costos que tendrían algunos de estos materiales si fueran adquiridos en alguna tienda o comercio, los precios oscilarían aproximadamente en los siguientes valores:

Tabla VI. **Análisis de costos de algunos materiales nuevos para una estufa solar parabólica**

Material	Costo aproximado
Pliego de lámina galvanizada	Q. 65
Rollo de papel aluminio	Q. 5
Sombrilla con forro	Q. 30
Olla en forma circular o parabólica	Q. 30
Tonel	Q. 50
Cd	Q. 2
Bote de pintura reflectante	Q. 90
Metro cuadrado de vidrio	Q. 85
Lata de aluminio de bebida o refresco	Q. 5

Fuente: elaboración propia.

Todos los materiales mencionados son de uso común, pueden ser reciclados o que ya no se utilicen en el hogar; por lo tanto, son fáciles de encontrar a la venta o en la mayoría de los hogares por sus amplios usos.

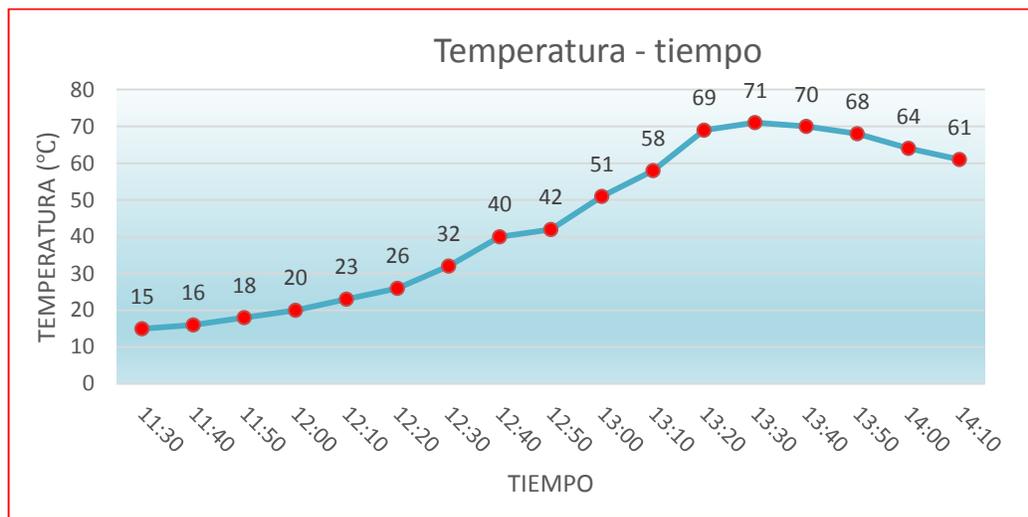
En cuanto a la vida útil de la estufa solar, existen muchas circunstancias que harán que la estufa solar se mantenga en las mejores condiciones, como por ejemplo:

- Limpieza después de su uso.
- Guardarla en un lugar adecuado.
- Transportarla con el cuidado adecuado, ya que al no ser rígida puede deformarse fácilmente con excepción de una sombrilla, que podría guardarse y transportarse sin ningún problema.
- Remover y cambiar los pedazos muy deteriorados, sobre todo si fue construida con materiales reciclados.
- No dejarla a la intemperie.
- No derramar comida sobre ella.

Es importante recordar que el 75% de aluminio producido en 100 años se encuentra todavía en uso gracias al reciclado. Esto nos da una clara idea del tiempo de vida útil y de uso que nos brinda el utilizar materiales de aluminio.

4.2. Análisis de resultados gráficos en las pruebas experimentales de la estufa solar parabólica

Figura 32. Gráfica de resultados para la prueba experimental de calentamiento de 1 litro de agua

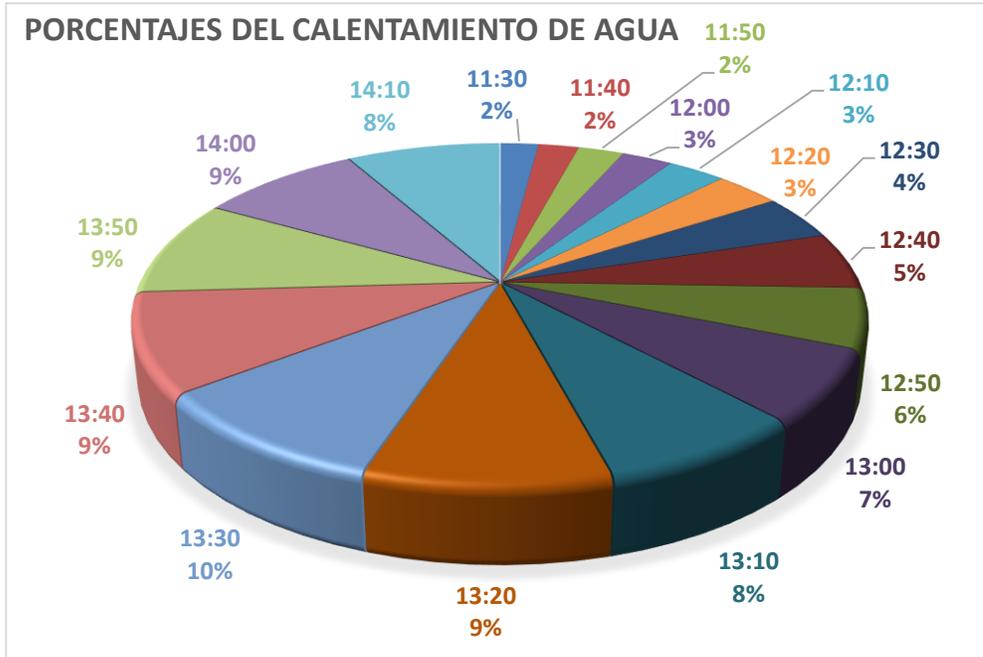


Fuente: elaboración propia.

Para la prueba de calentamiento de un litro de agua a temperatura ambiente puede notarse que, en los primeros 30 minutos, el aumento de temperatura es mínimo comparado con lo que sucede minutos después. Puede notarse también que existe un claro cambio en el aumento de la temperatura a partir de las 12:10 p. m. El agua alcanza su temperatura máxima a las 13:30 p. m. Finalmente el agua mantiene su temperatura muy cercana al valor máximo alcanzado para, finalmente, comenzar a descender después de aproximadamente 15 minutos.

Por lo tanto, puede concluirse que un litro de agua alcanzó su máxima temperatura aproximadamente 2 horas después de ponerlo en la estufa solar.

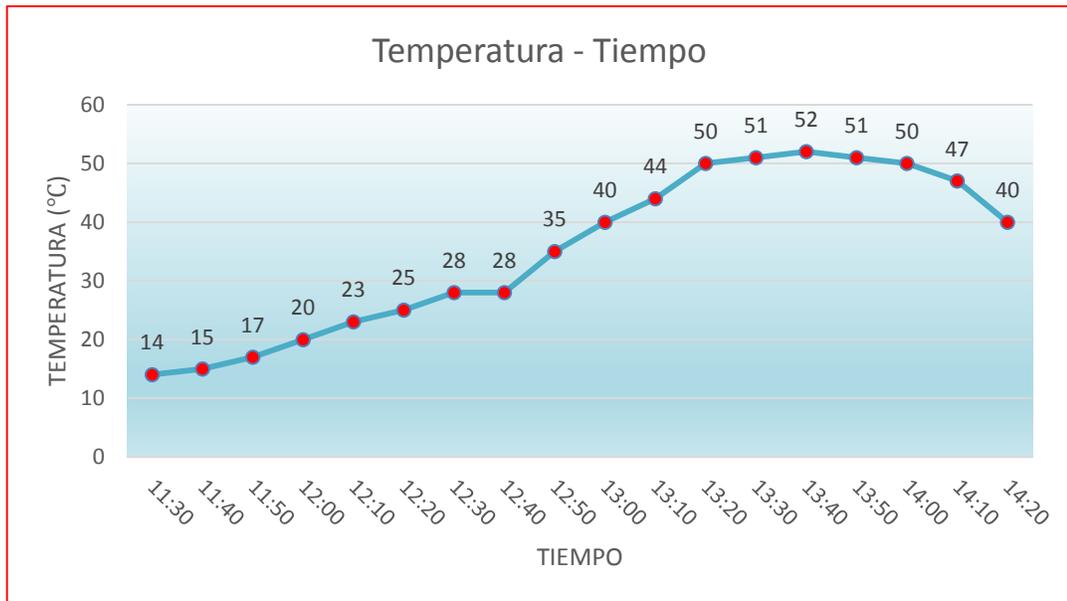
Figura 33. Gráfica circular para la división de los porcentajes del calentamiento de 1 litro de agua



Fuente: elaboración propia.

Como puede observarse en la Figura 33, el máximo lapso que el litro de agua fue calentado por el sol fue a las 13:30 p. m.; curiosamente, la hora en que el agua alcanzó su máxima temperatura. Puede notarse que en aproximadamente 20 minutos antes y después de llegar a dicha hora, los porcentajes de calentamiento de agua se mantuvieron muy similares, lo cual nos indica que el ascenso y descenso de temperatura se llevó a cabo en forma gradual con excepción de los primeros minutos, donde el porcentaje de calentamiento fue relativamente bajo.

Figura 34. **Gráfica de resultados para la prueba experimental de calentamiento de 2 litros de agua**

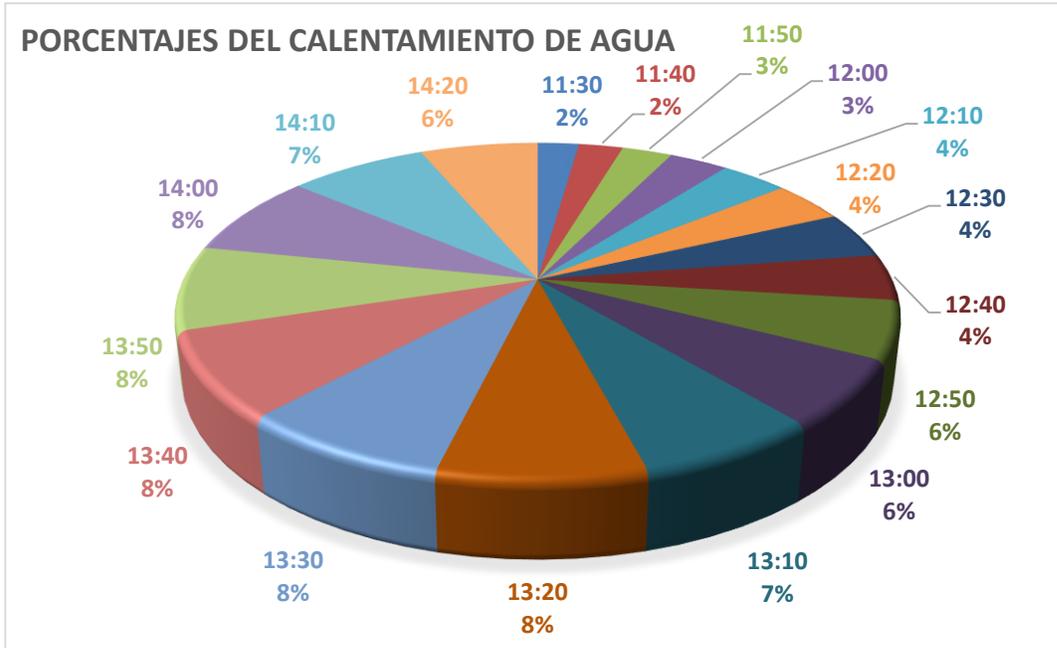


Fuente: elaboración propia.

Durante el calentamiento de dos litros de agua, la temperatura alcanzada es claramente menor a la que se llegó con un solo litro de agua. El máximo ascenso en la temperatura del agua se produjo después de las 12:40 p. m. La mayor temperatura se registró a las 13:40 p. m.; es decir, aproximadamente dos horas después de que el agua se colocó en la estufa solar. Después de este periodo se notó que la temperatura del agua comenzó a descender.

Aunque en la primera hora los cambios de temperatura fueron poco variados, puede notarse claramente que en el mismo tiempo el agua alcanzó una menor temperatura que se llegó con un solo litro de agua. Sin embargo, existieron muchos factores por los cuales el agua no alcanzó una temperatura mayor y en un menor tiempo.

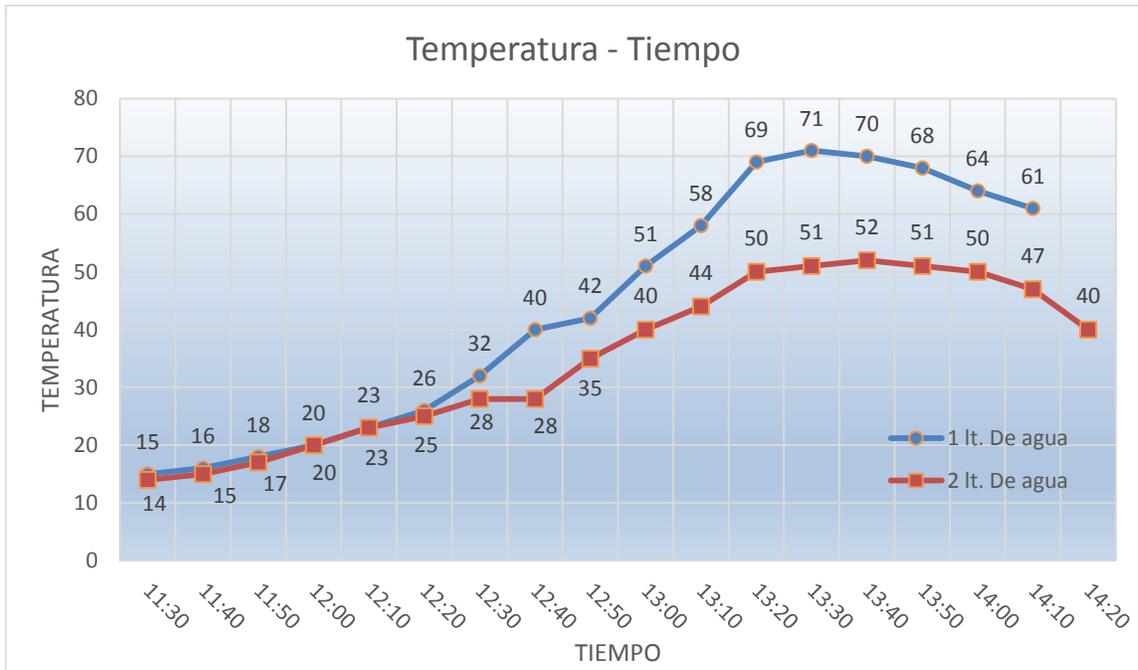
Figura 35. **Gráfica circular para la división de los porcentajes del calentamiento de 2 litros de agua**



Fuente: elaboración propia.

De forma similar que en los porcentajes de calentamiento de agua para un solo litro, podemos notar que en las primeras divisiones el calentamiento fue relativamente bajo; sin embargo, también se ve como estos porcentajes permanecen constantes en aproximadamente una hora durante y después de que el agua alcanzó su máxima temperatura. Con dicha gráfica podemos concluir que el agua fue calentando y enfriando en intervalos muy similares sin existir grandes variaciones en los cambios de temperatura.

Figura 36. Gráfica comparativa del calentamiento de 1 y 2 litros de agua



Fuente: elaboración propia.

El incremento en la temperatura en ambas pruebas experimentales se mantiene muy similar en aproximadamente 1 hora después de iniciada la prueba. Se nota que la curva de la prueba con un litro de agua sigue creciendo en el eje de la temperatura, mientras que con la prueba de dos litros de agua la temperatura sigue aumentando pero en menor porcentaje.

Ambas pruebas alcanzaron su máxima temperatura en aproximadamente el mismo tiempo, aunque existe una mínima diferencia de 10 minutos. También puede notarse que el enfriamiento del agua se produce más rápido en la prueba de un litro de agua.

Aunque los resultados obtenidos en ambas pruebas experimentales son muy similares, puede verse la tendencia que existe claramente en ambas gráficas, los máximos y mínimos y los intervalos de tiempos en alcanzar dichos puntos.

4.2.1. Discusión de resultados de las pruebas experimentales de calentamiento de agua

Los resultados obtenidos en ambas pruebas demuestran el funcionamiento de la estufa solar parabólica; sin embargo, podría surgir la duda de porqué los resultados no fueron mejores o diferentes; como por ejemplo, que el agua llegara a su temperatura de ebullición. Ante esta duda existieron algunos factores que pudieron influir en la obtención de resultados, entre ellos:

- Según el Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología (INSIVUMEH) en los primeros días del mes de enero de 2017 se presentó un frente frío que afectó a todo el país con temperaturas bajas y fuertes vientos.
- Las pruebas se llevaron a cabo en días con vientos mayores a los 14 Km/h y, en algunos momentos, parcialmente nublado.
- La ubicación y coordenadas del lugar donde se realizaron las pruebas experimentales, Sumpango Sacatepéquez, indican que es un lugar de clima templado con tendencia a las bajas temperaturas.
- No se utilizó una olla de color negro u oscuro para favorecer la absorción de la radiación solar y mantener el calor.

- El uso de algunos otros materiales reflectivos mencionados pudo favorecer la obtención de mejores resultados.
- Las bajas temperaturas de las madrugadas hacían que el agua que se utilizó para las pruebas experimentales se encontrara cerca de los 15 °C y, por lo tanto, se empezaba a calentar agua parcialmente fría.
- Es necesario tomar en cuenta las incertezas que presentan los equipos de medición.

Estos factores limitaron en parte los resultados obtenidos y tomándolos en cuenta podrían variar los resultados. Algunos de estos aspectos serán tratados más adelante en el apartado de recomendaciones.

4.3. Análisis y discusión de resultados en la prueba experimental de cocción de un huevo a temperatura ambiente.

Tabla VII. **Resumen de los resultados en la prueba experimental de cocción de un huevo a temperatura ambiente**

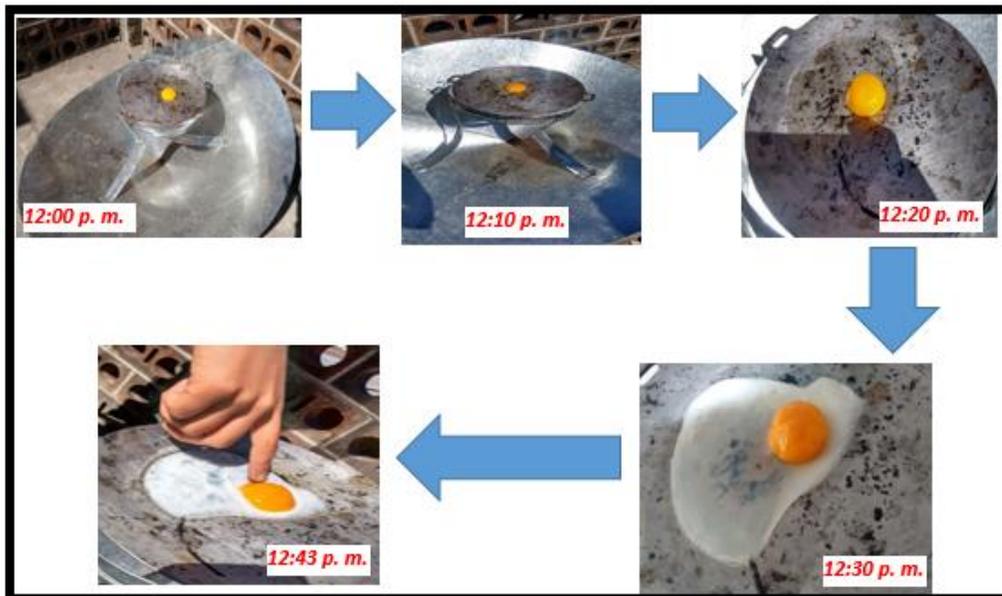
Hora	Resultados
12:00 p. m.	El huevo es quebrado y colocado en el comal, que a su vez es colocado en la estufa solar.
12:10 p. m.	En 10 minutos puede notarse que la yema del huevo comienza a cocerse, mas no la clara.
12:20 p. m.	La yema se encuentra casi cocida en su totalidad y la clara a rodearse de un color blanco. Comienza a cocerse.
12:30 p. m.	La cocción de la clara es mucho más evidente mientras que la yema está cocida por completo.

Continuación de tabla VII.

12:43 p.m.	El huevo se encuentra completamente cocido y listo para comer.
------------	--

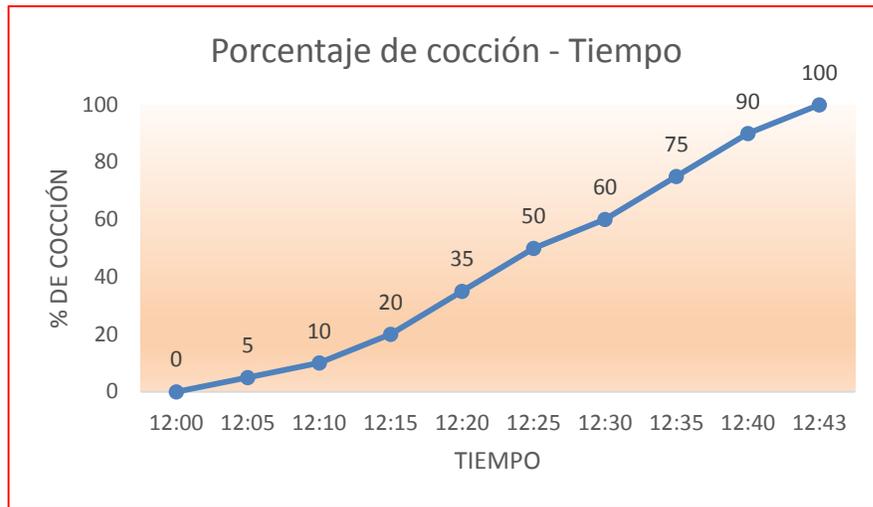
Fuente: elaboración propia.

Figura 37. **Esquema de los resultados observados en la prueba experimental de cocción de un huevo a temperatura ambiente**



Fuente: elaboración propia.

Figura 38. **Gráfica de resultados para la prueba experimental de cocción de un huevo a temperatura ambiente**



Fuente: elaboración propia.

Tal como se puede observar en la figura anterior y en la Tabla IV, el huevo estrellado y colocado en el comal de aluminio tardó aproximadamente 43 minutos para quedar completamente cocido y listo para comer. En la gráfica se ve cómo el porcentaje de cocción del huevo va en incremento desde los primeros minutos hasta quedar 100% cocido.

A pesar de que esta prueba experimental se vio afectada por algunos factores que incidieron directamente en los resultados —como por ejemplo los mismos factores de las condiciones climáticas mencionadas en la prueba experimental del calentamiento del agua— puede concluirse que la prueba experimental fue todo un éxito y que el calor recibido por la estufa solar parabólica es suficiente para cocer en su totalidad un huevo. Además, si se mejoran dichos factores es muy probable que la cocción completa se alcance en menor tiempo.

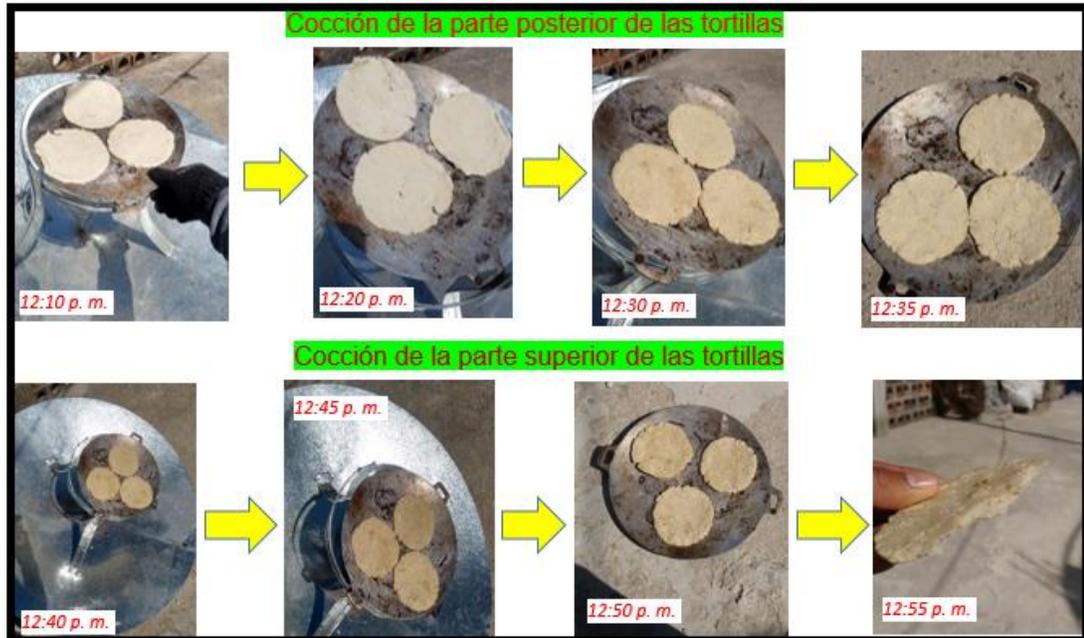
4.4. Análisis y discusión de resultados en la prueba experimental de cocción de tortillas a temperatura ambiente

Tabla VIII. Resumen de los resultados en la prueba experimental de cocción de tortillas

Hora	Observaciones
12:10 p. m.	Las tortillas de masa son colocadas en el comal seleccionado y este a su vez, en la estufa solar.
12:15 p. m.	En la parte superior puede notarse un pequeño cambio de color en la superficie de la masa, a un color más oscuro.
12:20 p. m.	Comienzan a formarse algunas grietas en la parte superior de las tortillas.
12:25 p. m.	Las orillas de las tortillas presentan dureza y resequedad.
12:30 p. m.	Las partes superiores se oscurecen mientras que las posteriores tienen una composición firme y sólida.
12:35 p. m.	Las partes posteriores de las tortillas (pegadas al comal) se encuentran completamente cocidas, por lo tanto las tortillas son volteadas.
12:40 p. m.	En menor tiempo la parte en contacto con el comal comienza a cocerse.
12:45 p. m.	Las tortillas comienzan a encogerse y agrandan de grosor.
12:50 p. m.	Las tortillas tienen un color oscuro debido al calor y radiación que han recibido.
12:55 p. m.	Ambos lados de las tortillas están cocidos y con una composición interna muy sólida, listas para comer.

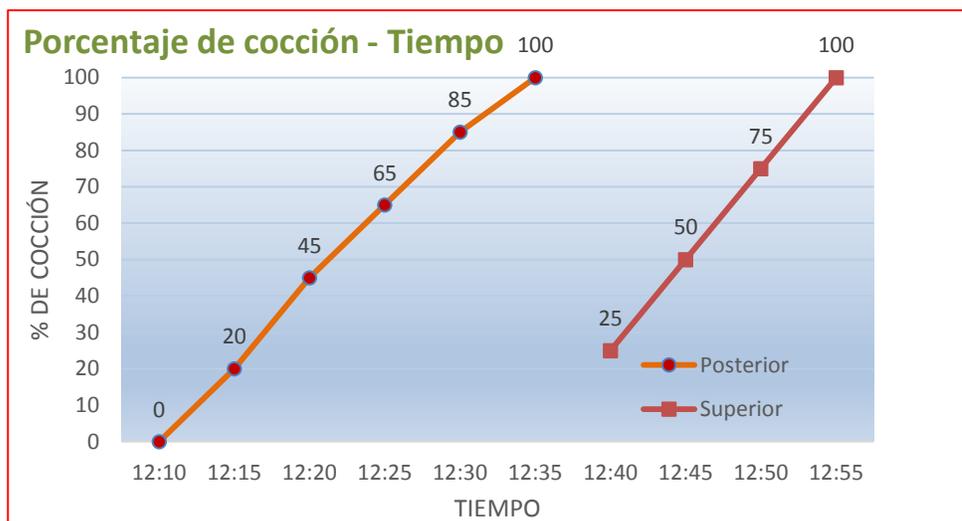
Fuente: elaboración propia.

Figura 39. Esquema de los resultados observados en la prueba experimental de cocción de tortillas a temperatura ambiente



Fuente: elaboración propia.

Figura 40. **Gráfica de resultados de la prueba experimental de cocción de tortillas a temperatura ambiente**



Fuente: elaboración propia.

Los resultados obtenidos en esta prueba experimental nos demuestran que el calor recibido por la estufa solar fue suficiente para cocer la masa con la cual fueron fabricadas las tortillas, a pesar de los diversos factores climatológicos.

Puede observarse en el esquema anterior que las 3 tortillas de prueba tardaron aproximadamente 45 minutos para cocinarse al 100% y, por lo tanto, estar listas para su consumo. El esquema también nos muestra cómo el aspecto de las tortillas varió con el paso del tiempo hasta el punto de cambiar de grosor, diámetro y color. En la última imagen del esquema se nota que una de las tortillas, ya completamente cocida, fue partida a la mitad con el fin de comprobar el grado de cocción que había alcanzado la masa. Se observa que la cocción alcanzada fue la más adecuada para su consumo.

La gráfica de la Figura 40 indica cómo fueron los porcentajes de cocción con el transcurrir del tiempo para ambos lados de las tortillas. También se observa en la gráfica que al momento de alcanzar la cocción del primer lado de las tortillas, estas fueron volteadas; el lado opuesto ya había alcanzado un alto nivel de cocción con el simple hecho de estar expuesto directamente a los rayos del sol. Por ello, uno de los dos lados de las tortillas se cocinó 10 minutos más rápido que el otro lado.

4.5. Ventajas y desventajas de la estufa solar parabólica observadas durante las pruebas experimentales

Durante las diversas pruebas experimentales presentadas con anterioridad y obtenidos los resultados previamente mostrados, se pudieron observar algunas ventajas del uso de la estufa solar parabólica, entre las cuales sobresalen las siguientes:

- No se necesita de energía eléctrica, gas, ni leña para que funcione; basta con un día soleado.
- Puede transportarse fácilmente y ponerse a prueba en cualquier parte para poder cocinar.
- Cualquier persona puede fabricarla con los materiales que se mencionaron con anterioridad.
- Puede hacerse una pequeña inversión para su fabricación (si no se fabrica de materiales reciclables) pero después de ello no se necesita volver a invertir económicamente.

- Después de observar las pruebas y resultados puede decirse que puede cocerse cualquier alimento que se cocine a fuego lento.
- Pueden calentarse alimentos ya cocinados en tiempos relativamente cortos.
- El principio de funcionamiento de la estufa solar parabólica la hace una excelente alternativa para contribuir con el medio ambiente, al ser una opción 100% ecológica.
- Es una innovadora opción para cocinar en áreas de escasos recursos.

Sin embargo, durante la realización de las pruebas experimentales también pudieron observarse algunos aspectos negativos que pueden ser considerados como desventajas al momento de cocinar con la estufa solar. Entre estas desventajas se puede resaltar:

- El uso de la estufa solar parabólica es completamente dependiente de las condiciones climáticas.
- Siempre hay que asegurarse que el vértice de la parábola apunte directamente hacia la posición del sol; por lo tanto, es necesaria la presencia de una persona para la supervisión del constante movimiento.
- Los fuertes vientos son factor para que el calentamiento de los alimentos sea más prolongado de lo normal. Además, la estufa solar debe colocarse en un lugar seguro para que el movimiento no provoque derrames.

- La temperatura alcanzada es inversamente proporcional al volumen que ocupe el recipiente donde se coloquen los alimentos o agua.
- Durante la realización de las pruebas experimentales pudo observarse que, después de cierta hora del día, la temperatura alcanzada en la estufa solar comienza a disminuir.
- Los tiempos para alcanzar la cocción completa de los alimentos es relativamente largo en comparación con una estufa de gas o de leña.
- La eficiencia de la estufa solar dependerá de los materiales de reflexión que se utilicen para su construcción.

CONCLUSIONES

1. Para la fabricación de una estufa solar parabólica la mejor opción es hacer uso de materiales reciclables, con los cuales los costos serán mínimos y el tiempo de vida útil será el máximo según el cuidado que se le dé.
2. La temperatura máxima registrada para un litro de agua fue de 71 °C en 2 horas; la temperatura máxima registrada de dos litros de agua fue de 52 °C alcanzada en 2 horas y 10 minutos; la cocción completa de un huevo se alcanzó en 43 minutos y la cocción de 3 tortillas, en 45 minutos.
3. La principal ventaja del uso de la estufa solar parabólica es que no se necesita de energía eléctrica, gas o leña para su funcionamiento. La principal desventaja observada fue que su uso es completamente dependiente de las condiciones del clima; por ejemplo, el viento y la temperatura ambiente.
4. La cocina solar representa una nueva oportunidad solidaria, práctica y económica, que abre nuevos caminos hacia la economía ecológica y medioambiental.

RECOMENDACIONES

1. Es necesario dirigir siempre el vértice de la parábola hacia la ubicación del sol; por lo tanto, la estufa solar debe estar en constante movimiento en periodos aproximados de 10 a 15 minutos.
2. Siempre debe de contarse con equipo de protección personal para manipular algún cambio en la estufa solar ya que, debido a la transferencia de calor que se da por radiación y principalmente por conducción, se alcanzan temperaturas que pueden ocasionar daños físicos.
3. Para calentar o cocinar alimentos se recomienda que estos se encuentren dentro de una cantidad moderada de agua, ya que la cocción se alcanzará más rápidamente si los alimentos están en contacto directo con el recipiente.
4. Utilizar recipientes, ollas o comales de color negro u oscuro, con el fin de absorber por completo la radiación y mantener el calor dentro del recipiente.
5. Para alcanzar mejores condiciones de trabajo y mejores resultados, es favorable trabajar en días muy cálidos y soleados, como por ejemplo en verano.
6. Si se desea calentar agua es recomendable que no sean grandes volúmenes, ya que de lo contrario el calentamiento será más lento.

BIBLIOGRAFÍA

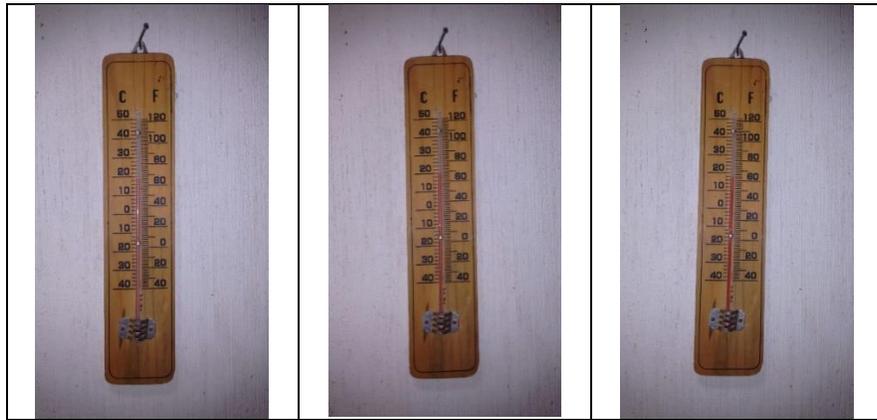
1. BELMONTE, Silvina; CASO, Ricardo Alberto; FERNÁNDEZ, C. *Experiencia de fabricación de cocinas solares por una cooperativa de trabajo en Salta*. Argentina. Asociación Argentina de Energías Renovables y Ambiente, 2013. 11 p.
2. CADENA, Carlos, et al. *Análisis del comportamiento térmico de absorbedores de aluminio empleados en cocinas solares con concentración*. Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente, ASADES, 2001, vol. 5, no 2, 126 p.
3. CASTRO PINEDA, José Samuel. *Diseño, construcción y pruebas de una cocina solar parabólica de uso doméstico*. 2014. Tesis doctoral. Universidad de El Salvador. 168 p.
4. DUFFIE, John A.; BECKMAN, William A. *Solar engineering of thermal processes*. Wisconsin Madison, John Wiley & Sons, fourth edition, 2013. 910 p.
5. ECORINCONES DE GUATEMALA. *Datos del uso de leña en Guatemala y su valor*. Ecorincones de Guatemala [en línea]. <<https://ecorinconesdeguatemala.wordpress.com/2009/02/07/datos-del-uso-de-lena-en-guatemala-y-su-valor-consumo-de-lena-y-carbon-en-centro-america/>>. [Consulta: 25 de marzo de 2016].

6. ESPÍ, Mariano Vázquez. *Una brevísima historia de la arquitectura solar*. Boletín CF+ S, 2014, no 9.
7. GONZÁLEZ AVILÉS, Mauricio, et al. *Desarrollo, implementación y apropiación de cocinas solares para el medio rural en Michoacán: una alternativa energética para la conservación de recursos forestales maderables*. Revista Energías Renovables de la Asociación Nacional de Energía Solar (ANES). 2013. 4 p.
8. GONZALO, Guillermo, et al. *Avances en energías renovables y medio ambiente*, Universidad Nacional de Tucumán, Argentina, v.7, 2001. 7.13-7.17 p.
9. HERNÁNDEZ PUENTES, Cristian David, et al. *Diseño y evaluación mediante simulación de un prototipo de estufa solar parabólica en Colombia*. 2014. Tesis de Licenciatura. Pereira: Universidad Tecnológica de Pereira. 116 p.
10. MADARIAGA, Imanol; GAZTAÑAGA, Xabier; LARRIBA, Raúl. *Introducción de la cocina solar en la isla de La Española*. Proyecto de Investigación. Departamento de Máquinas y Motores Térmicos. República Dominicana. Ingeniería sin fronteras, 2006. 88 p.
11. MANCHADO MEGÍA, Miguel. *Caracterización de una cocina solar parabólica*. Tesis de Licenciatura. Universidad Carlos III de Madrid. 2010. 203 p.

12. MARÍN, Edgar Salazar; CASTRO, Wilson Pérez; & ARROYAVE, Juan Felipe. *Energías alternativas, experiencias desde el semillero de investigación en tecnología mecánica*. Universidad Nacional de Pereira, Colombia. *Scientia et technica*, 2011. 265 p.
13. PASSAMAI, Victor. *Simulación del comportamiento térmico de una cocina solar*. Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente. Argentina, 1998, vol. 2, vol. 3. 4 p.
14. SWOKOWSKI, Earl William. *Álgebra y trigonometría*. Cengage Learning Editores, México, D.F. 2011. 897 p.

APÉNDICES

- Temperatura ambiente registrada en los días de las pruebas experimentales.



Fuente: Sumpango, Sacatepéquez.

- Desarrollo de la prueba experimental de calentamiento de agua.



Fuente: Sumpango Sacatepéquez.

- Resultados en las pruebas experimentales de calentamiento de un litro de agua.



Fuente: Sumpango, Sacatepéquez.



Fuente: Sumpango, Sacatepéquez.

- Resultados en la prueba experimental de calentamiento de dos litros de agua.



Fuente: Sumpango, Sacatepéquez.



Fuente: Sumpango, Sacatepéquez.

- Resultado en la prueba experimental de cocción de un huevo a temperatura ambiente.



Fuente: Sumpango, Sacatepéquez.

- Desarrollo de la prueba experimental de cocción de tortillas a temperatura ambiente.



Fuente: Sumpango, Sacatepéquez.

- Resultados en la prueba experimental de cocción de tortillas a temperatura ambiente.



Fuente: Sumpango, Sacatepéquez.

