

**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE QUITO**

CARRERA: INGENIERÍA MECÁNICA

**Trabajo de titulación previo a la obtención del título de:
INGENIEROS MECÁNICOS**

TEMA:

**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN CONCENTRADOR SOLAR DE TIPO
CANAL CILINDRO-PARABÓLICO PARA LA COCCIÓN DE ALIMENTOS**

AUTORES:

**JEFFERSON FABIAN GORDON CHASIPANTA
RENE ELÍAS TARCO MUÑOZ**

TUTOR:

WILLIAM GIOVANNY QUITIAQUEZ SARZOSA

Quito, agosto de 2021

CESIÓN DE DERECHOS

Nosotros, Rene Elías Tarco Muñoz, con cédula de ciudadanía N° 1723168041 y Jefferson Fabian Gordon Chasipanta, con cédula de ciudadanía N° 1750202465, manifestamos nuestra voluntad y cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana, la titularidad sobre los derechos patrimoniales, en virtud de que somos autores del trabajo de titulación intitulado: DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN CONCENTRADOR SOLAR DE TIPO CANAL CILINDRO-PARABÓLICO PARA LA COCCIÓN DE ALIMENTOS, mismo que ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniero Mecánico, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En aplicación a lo determinado en la Ley de Propiedad Intelectual, en nuestra condición de autores nos reservamos los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia, suscribimos este documento en el momento que hacemos entrega del trabajo final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Rene Elías Tarco Muñoz
C. I. 172316804-1

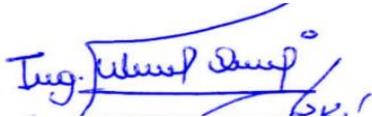
Jefferson Fabian Gordon Chasipanta
C. I. 175020246-5

Quito, agosto de 2021

DECLARATORIA DE COAUTORÍA

Yo, William Giovanni Quitiaquez Sarzosa, declaro que bajo mi dirección y asesoría fue desarrollado el Trabajo de Titulación: DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN CONCENTRADOR SOLAR DE TIPO CANAL CILINDRO-PARABÓLICO PARA LA COCCIÓN DE ALIMENTOS, realizado por Rene Elías Tarco Muñoz y Jefferson Fabian Gordon Chasipanta, obteniendo un producto que cumple con todos los requisitos estipulados por la Universidad Politécnica Salesiana para ser considerado como trabajo final de titulación.

Quito, agosto de 2021



William Giovanni Quitiaquez Sarzosa

C.I. 172160976-4

DEDICATORIA

Dedico este trabajo, a todas las personas que día a día apoyaron la convicción de llegar a una meta trazada, como fue ser Ingeniero. Especialmente a mis dos pilares fundamentales que jamás perdieron la fe en mí, Isabel y Héctor mis padres a quienes debo el presente logro, como persona y como profesional.

Igualmente, a quienes sean partícipes en mayor o menor fracción de este logro, siempre les estaré agradecido y expresaré esta gratitud con la humildad y la sencillez que me caracteriza.

Jefferson Fabian Gordon Chasipanta

Esta tesis va dedicado principalmente a mis padres José Tarco y Rosa Muñoz por haberme dado la vida, por sus consejos y brindarme su apoyo incondicional cada día, sin importar las adversidades presentadas, y en los momentos difíciles, quienes me han enseñado a valorarlos cada día más y haber llegado a este momento más importante de mi formación profesional.

A mis hermanos Daniel, David, Diana y Gladys personas de bien, seres que tienen el don de servir con amor y humildad. Este logro es en gran parte gracias a ustedes hermanos por ser fuente de motivación, inspiración y ayuda constante para superarme día a día y lograron que este sueño se haga realidad. A mis amigos y compañeros que sin esperar nada a cambio compartieron sus conocimientos, alegrías, anécdotas y tristezas que me permitieron aprender más de la vida.

Rene Elías Tarco Muñoz

AGRADECIMIENTO

Agradezco a todas las personas que pensaron que no podía hacerlo, esos deseos me dieron fuerzas para hoy lograrlo. Junto con mis padres día a día se fortalecieron peldaños para una meta que en la actualidad es una realidad.

El agradecimiento a Dios y las bendiciones que nunca me faltan no puedo pasar por alto hoy y siempre.

Agradezco la credibilidad y la paciencia del Ingeniero William Quitiaquez, M.Sc., nuestro tutor quien pese a la pandemia del COVID 19, no fue una excusa, ni una barrera para poder guiarnos a este logro. En fin, gracias a todos.

Jefferson Fabian Gordon Chasipanta

Agradezco a Dios por haberme dado la vida. A mis padres, que sin su ayuda este logro en mi vida no lo hubiera realizado, que pudieron confiar en mí y me regalaron lo más valioso al darme la oportunidad de estudiar y enseñarme que todo se lo puede lograr con humildad y perseverancia.

De igual manera a la Universidad Politécnica Salesiana y a sus docentes, quienes supieron compartir sus mejores conocimientos. Y por último agradezco a nuestro tutor Ing. William Quitiaquez, M.Sc., que sin la ayuda de su experiencia, conocimiento y profesionalismo no se hubiese logrado culminar este trabajo.

Rene Elías Tarco Muñoz

ÍNDICE DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	1
ANTECEDENTES	2
CAPÍTULO I	5
MARCO TEÓRICO SOBRE ENERGÍA SOLAR Y SUS APLICACIONES EN CONCENTRADORES SOLARES DE TIPO CANAL CILINDRO PARABÓLICO	5
1.1. Estado del arte	5
1.2 Energía solar	9
1.3 Radiación solar	11
1.3.1. Radiación directa.....	12
1.3.2. Radiación difusa.....	12
1.3.3. Radiación reflejada.....	13
1.3.4. Medición de la radiación solar.....	13
1.4 Geometría solar.....	13
1.4.1 Ángulo cenital.....	14
1.4.2 Ángulo acimutal.....	14
1.4.3 Declinación solar.....	15
1.5 Ángulo horario.....	15
1.5.1 Estimación de sombras.....	15
1.5.2 Sistemas para la implementación de la energía solar.....	16
1.6 Colectores solares	16
1.6.1 Funcionamiento de un colector solar descripción generalizada	16
1.7 Aplicación de los colectores solares	19
Utilización de colectores en residencias para servicios de uso doméstico	19
1.7.1 Calentamiento de agua para piscinas y sector doméstico.....	19
1.7.2 Sector comercial y de servicios con agua caliente	19
1.8 Cocinas solares	20
1.8.1 Cocina solar de caja.....	21
1.8.2 Cocina solar parabólica	22
1.8.3 Cocina solar cilindro - parabólico.....	23
1.9 Diagrama general de una cocina cilindro parabólico.....	24
1.10 Elementos comunes constitutivos de las cocinas solares	24

1.11 Principios de funcionamiento de una cocina de calor	25
1.11.1 Ganancia de calor	26
1.12 Transferencia de calor en cocina solar	27
1.12.1 Pérdidas de calor	27
1.13 Materiales	29
1.14 Ventajas y desventajas de colectores solares.....	30
1.14.1 Ventajas de los colectores solares	30
1.14.2 Desventajas de los colectores solares	30
1.15 Análisis de alternativas de cocinas solares	30
1.15.1 Identificar necesidades	30
1.15.2 Argumentaciones de las necesidades para identificar la cocina solar más adecuada.....	31
1.16 Alternativas de solución	32
1.16.1 Método cuantitativo de selección.....	32
CAPÍTULO II.....	35
ECUACIONES Y PRINCIPIOS DE TRASFERENCIA DE CALOR UTILIZADOS PARA LA OBTENCIÓN DE DATOS DE LA ENERGÍA SOLAR EN LA COCCIÓN DE ALIMENTOS	35
2.1 Balance térmico utilizando la radiación solar.....	35
2.2 Dirección de la radiación solar	35
2.2.1 Hora solar (hs).....	37
2.3 Insolación geográfica del planeta.....	37
2.4 Proporción de concentración	38
2.5 Balance de energía en la superficie del recipiente	38
2.6 Evaluación de rendimiento del colector cilindro parabólico.....	40
2.6.1 Eficiencia óptica.....	40
2.6.2 Eficiencia térmica.....	41
2.6.3 Eficiencia teórica.....	42
2.6.4 Eficiencia experimental	42
2.7 Métodos de transferencia de calor	43
2.7.1 Conducción	45
2.7.2 Convección	45
2.7.3 Radiación	46
2.8 Conducción de calor en cilindros.....	46

2.9	Análisis de sistemas concentrados	49
2.10	Número de Biot.....	50
2.11	Flujo de calor transitorio	51
2.12	Soluciones aproximadas analítica, numérica y gráfica	52
2.13	Método de transferencia de calor en el sistema	53
2.13.1	Transferencia de calor del absorbedor.....	53
2.13.2	Transferencia de calor del tubo de vidrio al medio ambiente.....	53
2.13.3	Transferencia de calor por radiación de la superficie exterior del receptor a la envoltura.....	54
2.13.4	Transferencia de calor convectivo entre la superficie externa y el ambiente ..	54
2.14	Estimación de absorción de la energía solar.....	55
2.14.1	Energía solar absorbida por el tubo absorbente	55
2.14.2	Energía solar absorbida por la envoltura de vidrio	56
2.15	Pérdidas térmicas en un colector.....	56
2.15.1	Principales pérdidas térmicas.....	57
2.16	Ganancia de energía	57
2.17	Método de prueba para la evaluación de cocinas solares	57
2.17.1	Potencia de cocción estándar	57
2.18	Colector cilindro parabólico	58
	Descripción del colector.....	58
2.18.1	Parábola	58
2.18.2	Ecuación ordinaria reducida de la parábola.....	59
2.19	Elementos del colector cilindro parabólico	61
2.19.1	Reflector	61
2.19.2	Tubo de vidrio.....	63
2.19.3	Recibidor interno o bandeja.....	64
2.19.4	Sistema de seguidor solar	66
2.19.5	Base del colector solar.....	66
2.20	Materiales utilizados en el concentrador solar.....	67
2.21	Esquema del colector tipo canal cilindro parabólico	68
	CAPÍTULO III	73
	ANÁLISIS DE LOS DATOS EXPERIMENTALES DEL CONCENTRADOR SOLAR DE CANAL CILINDRO PARABÓLICO	73
3.1	Experimentación realizada	73

Consideraciones	73
3.2 Forma y principio de funcionamiento	73
3.3 Utilización de sistema experimental	74
3.4 Datos obtenidos por experimentos	74
3.4.1 Experimento 1	74
Plátano maduro y huevos	74
3.4.2 Experimento 2.....	77
Canguil	77
3.4.3 Experimento 3.....	79
Corvina.....	79
3.4.4 Experimento 4.....	82
Agua.....	82
3.5 Comparación de resultados.....	84
3.5.1 Experimento con Agua.....	84
3.5.2 Experimento con canguil.....	86
3.5.3 Experimento con corvina.....	87
3.6 Análisis económico del sistema.....	89
3.6.1 Costo de materiales utilizados	89
3.6.2 Mano de obra	90
3.6.3 Inversión final	90
3.7 Beneficios económicos a largo plazo	91
3.7.1 Eliminación de subsidio en un tanque de gas	91
3.7.2 Comparación de inversión entre una bombona de gas y una cocina solar tipo canal parabólico.	92
CONCLUSIONES	93
RECOMENDACIONES	95
LISTA DE REFERENCIAS	96
ANEXOS.....	109

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Implementación de paneles solares [27].	10
Figura 2. Distribución de la radiación solar que incide en la Tierra [30].	11
Figura 3. Radiación directa y radiación difusa [33]	12
Figura 4. Radiación reflejada [34]	13
Figura 5. Ángulos y altura en la trayectoria solar [40]	14
Figura 6. Coordenadas celestes horarias [44]	15
Figura 7. Tipos de colectores (a) colector cilindro-parabólicos solares, (b) plato parabólico solar [50]	17
Figura 8. Consumo energético para calentar agua en el servicio comercial [55]	20
Figura 9. Cocina solar con un punto focal para concentrar la cocción. 2) Cocina solar basada en la acumulación de calor en base a un vidrio concentrador. 3) Cocina solar con un área de captación de tipo parabólica, adicionado a una superficie reflectante. [56]	21
Figura 10. Componentes de una cocina solar de caja [14]	21
Figura 11. Cocina solar tipo parabólico [63]	22
Figura 12. Incidencia del sol en un colector cilindro parabólico [67]	23
Figura 13. Elementos comunes consecutivos en cocinas solares [69]	25
Figura 14. Efecto invernadero [74]	26
Figura 15. Orientación del vidrio [74]	27
Figura 16. Propagación de calor [80]	28
Figura 17. Movimiento aparente del sol, trayectoria de equinoccios y solsticios [92]	36
Figura 18. Esquema de transferencia de calor de una sección transversal de un colector cilindro-parabólico [46]	43
Figura 19. Esquema de una red de resistencias térmicas del colector [46]	44
Figura 20. Red de resistencias térmicas en un cilindro [77]	47
Figura 21. Parábola y sus elementos [41]	59
Figura 22. Determinación de la ecuación de la parábola [109]	60
Figura 23. Parábola en forma vertical [109]	61
Figura 24. Diseño de colector cilindro parabólico	62
Figura 25. Tubo de vidrio cilíndrico	63

Figura 26. Bandeja o receptor interno para alimentos.....	64
Figura 27. Sujeción de bandeja mango de madera, empaque caucho y madera	64
Figura 28. Sistema de seguimiento solar del colector (ojo chino)	66
Figura 29. Base del colector solar	67
Figura 30. Concentrador solar tipo canal cilindro parabólico con alimentos	68
Figura 31. Concentrador tipo canal cilindro parabólico diseño construido	69
Figura 32. Plano de conjunto de concentrador solar.....	70
Figura 33. Vistas 3D del concentrador solar cilindro parabólico.....	71
Figura 34. Gráfica: hora del día vs temperatura de los alimentos	76
Figura 35. Gráfica: hora del día vs radiación receptada por los alimentos.....	76
Figura 36. Gráfica: hora del día vs temperatura de los alimentos	78
Figura 37. Gráfica: hora del día vs radiación emitida para la cocción del.....	79
Figura 38. Gráfica: hora del día vs temperatura de los alimentos	81
Figura 39. Gráfica: hora del día vs radiación emitida para la cocción de la corvina	81
Figura 40. Gráfica: hora del día vs temperatura del agua	83
Figura 41. Gráfica: hora del día vs radiación emitida para hervir el agua.....	83

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Tipos de Colectores de energía [37] [51].	18
Tabla 2. Porcentajes de consumo se energía en sectores comerciales de servicios...20	20
Tabla 3. Reflectancia especular de varios materiales [83].	29
Tabla 4. Cuadro de selección de mejor alternativa de cocina solar.	33
Tabla 5. Argumentos de la necesidad para el proyecto.	33
Tabla 6. Variable de diseño para la parábola.	63
Tabla 7. Dimensiones de tubo de vidrio.	64
Tabla 8. Dimensiones de la bandeja.	65
Tabla 9. Dimensiones de la estructura	67
Tabla 10. Materiales del concentrador solar.	67
Tabla 11. Datos experimentales en la prueba de maduros y huevos	75
Tabla 12. Datos experimentales obtenidos en el día de prueba con el canguil	77
Tabla 13. Datos experimentales obtenidos en el día de prueba con la corvina	80
Tabla 14. Datos experimentales obtenidos en el día de la prueba con el agua.	82
Tabla 15. Temperaturas experimentales prueba con el agua [62]	84
Tabla 16. Temperaturas experimentales en la ebullición del agua.	85
Tabla 17. Datos experimentales obtenidos de la prueba con el canguil [62]	86
Tabla 18. Temperaturas experimentales en la cocción del canguil	86
Tabla 19. Datos experimentales obtenidos de la corvina [62].	87
Tabla 20. Temperaturas experimentales en la cocción de la corvina	88
Tabla 21. Detalle de los materiales utilizados y valores	89
Tabla 22. Descripción de mano de obra.	90
Tabla 23. Inversión total en el concentrador solar tipo canal cilindro parabólico.	90
Tabla 24. Comparación de inversión	92

NOMENCLATURA

Símbolo	Descripción	Unidades
δ	Ángulo de declinación	$^{\circ}$
θ_z	Ángulo cenital	$^{\circ}$
w	Ángulo horario	$^{\circ}$
d	Día de año	-
h_l	Hora local	-
E	Factor de corrección	-
C_R	Relación de concentración	-
A_s	Área de apertura	m^2
A_r	Área de receptor	m^2
n_o	Eficiencia óptima	-
ρ_c	Reflectancia especular media medida del reflector	-
α_r	Absorción del receptor	-
γ	Factor de intercepción instantánea	-
A_f	Factor Geométrico	-
θ	Ángulo de incidencia de rayos solares	$^{\circ}$
Q_r	Factor de eliminación de calor	-
Q_l	Factor de pérdida de calor del colector	-
$T_{f,in}$	Temperatura de entrada de fluido	$^{\circ}C$
T_o	Temperatura de salida de fluido	$^{\circ}C$
DI	Irradiación directa	$W \cdot m^{-2}$
DNI	Incidencia normal directa	$W \cdot m^{-2}$
Q_f	Contenido de calor por el fluido	W
$Q_{rad,ca}$	Transferencia de calor de radiación del cielo al receptor	W

m	<i>Caudal</i>	
C_p	<i>Calor específico</i>	
A_{ap}	<i>Área de apertura del canal</i>	m^2
I	<i>Insolación en cualquier punto del planeta</i>	$W \cdot m^{-2}$
G_0	<i>Constante solar de radiación que llega a la atmósfera 1353</i>	$W \cdot m^{-2}$
$\cos \theta$	<i>Ángulo de latitud geográfica de la ciudad</i>	$^\circ$
n	<i>Número de horas del sol brillante al día</i>	-
N	<i>Número de horas del sol al día en el Ecuador</i>	-
σ	<i>Constante de Stefan-Boltzmann</i>	$W \cdot m^{-2} \cdot K^4$
h_g	<i>Coefficiente de transferencia de calor por convección para envolvente de vidrio</i>	$kW \cdot m^{-2} K$
h_a	<i>Coefficiente de transferencia de calor por convección para espacio anular</i>	$kW \cdot m^{-2} K$
Nu	<i>Número de Nusselt</i>	
Re	<i>Número de Reynolds basado en el diámetro hidráulico</i>	
$g\text{-conv}$	<i>Pérdidas por convección del vidrio al ambiente</i>	
I_b	<i>Irradiación normal directa</i>	$W \cdot m^{-2}$
A_c	<i>Área de Apertura</i>	m^2
$K(\theta)$	<i>Modificador de ángulo de incidencia</i>	
α	<i>Absorción</i>	
τ	<i>Transmitancia</i>	
h	<i>Coefficiente de transferencia de calor</i>	

RESUMEN

La presente investigación analiza el diseño y construcción de un concentrador solar de canal cilindro parabólico para la cocción de alimentos, utilizando como fuente de calor la energía que emite el sol diariamente. Se basa en sintetizar la información de respaldo desde fuentes de investigación científica. En el primer capítulo, se describe conceptos fundamentales en relación con la energía solar y los beneficios que tiene con el medio ambiente, las diferentes radiaciones y ángulos que inciden sobre la superficie terrestre, además se presentan los diferentes tipos de cocinas solares, también abarcara las ventajas y desventajas en el uso de colectores.

En el segundo capítulo, se detalla las ecuaciones matemáticas que gobiernan el diseño del colector solar, como primer factor a tratar se encuentran las ecuaciones de transferencia de calor, donde se presentan los diferentes fenómenos como radiación, convección y conducción que se genera en el interior y exterior del sistema de cocción de alimentos de la misma manera las pérdidas que se produce. La ecuación matemática de la parábola permite poder encontrar ejes focales de las parábolas que conforman el mismo y la eficiencia que brindan al sistema. De la misma manera se describe los elementos y las dimensiones que complementa el equipo, como son: el sistema de seguimiento, tubo de vidrio (cilíndrico) y el foco en la parábola donde incide el haz de luz del sol.

En el último capítulo de este proyecto, se presenta los resultados obtenidos al realizar las pruebas con diferentes alimentos como el canguil, corvina, huevos y calentamiento del agua, en diferentes días entre las 10:00 am hasta las 14:00 pm, ya que en ese lapso de tiempo existe una mayor radiación solar, pero las condiciones ambientales pueden ser distintas, donde se pudo apreciar el trabajo de la cocinar solar con cada uno de los alimentos al realizar la cocción. De la misma manera se realiza la comparación entre una cocina solar de plato parabólico realizada en un anterior proyecto y el sistema propuesto en esta investigación, detallando también el análisis económico del concentrador solar y los beneficios favorables que tendría al momento de utilizar el sistema de cocción.

Palabras claves: energía solar, colector solar, cocina solar, cocina cilindro parabólico, cocción de alimentos.

ABSTRACT

This research analyzes the design and construction of a parabolic trough solar concentrator for cooking food, using the energy emitted by the sun daily as a source of heat. It is based on synthesizing the supporting information from scientific research sources. In the first chapter, fundamental concepts in relation to solar energy and the benefits it has with the environment are described, the different radiations and angles that affect the earth's surface, in addition, the different types of solar cookers are presented, it will also cover the advantages and disadvantages in the use of collectors.

In the second chapter, the mathematical equations that govern the design of the solar collector are detailed, as the first factor to be dealt with are the heat transfer equations, where the different phenomena such as radiation, convection and conduction generated inside are presented. and exterior of the food cooking system in the same way losses that occurs. The mathematical equation of the parabola makes it possible to find focal axes of the parabolas that make up the parabola and the efficiency they provide to the system. In the same way, the elements and dimensions that complement the equipment are described, such as: the monitoring system, glass tube (cylindrical) and the focus on the parabola where the sunlight beam falls.

In the last chapter of this project, the results obtained when carrying out the tests with different foods such as canguil, corvina, eggs and heating of the water are presented, on different days between 10:00 am and 2:00 pm, since in In this period of time there is greater solar radiation, but the environmental conditions may be different, where the work of solar cooking with each of the foods could be appreciated when cooking. In the same way, a comparison is made between a parabolic dish solar cooker carried out in a previous project and the system proposed in this research, also detailing the economic analysis of the solar concentrator and the favorable benefits it would have when using the cooking system.

Keywords: solar energy, solar collector, solar cooker, parabolic trough cooker, food cooking.

INTRODUCCIÓN

Con el pasar de los años, la energía solar ha llegado a ser la fuente de energía renovable que predomina en el planeta, siendo una alternativa que cada vez tiene mayor relevancia en las industrias del mundo, para que la mayoría de las personas utilicen diferentes recursos como: sistemas de seguimiento solar, métodos y materiales de captación con el fin de tener un mejor aprovechamiento de este tipo de energía solar.

Las ventajas presentes al utilizar energía solar han sido muy diversas, y de mucha ayuda para el medio ambiente, minimizando costos en los suministros en el uso del gas, petróleo y electricidad, ya que, la energía solar se puede producir en el lugar que se necesite y así se evita de ser transportada. Debido que la población va en aumento lo que significa que la utilización de energía crece y la propagación de efecto de invernadero, son los principales factores para el aprovechamiento de esta energía. En su estudio Kumar y Kumar [1] mencionan que la energía primaria incrementó su consumo en 1.3 % para el año 2018 comparado con el año anterior definiendo que hay que tratar de mitigar emisiones de gases de los sectores industriales y eso se puede hacer valorando la energía sostenible y uniendo esfuerzos con todos los países.

Li y Huang [2], explican que China es el principal contribuyente al fuerte aumento de la capacidad solar hasta el 2017, esto representa un tercio de la energía mundial. Para este país el recurso más utilizado durante los últimos cuarenta años ha sido el carbón, desempeñando un papel importante en la combinación energética, esto alerta a la población internacional sobre la capacidad de China en la reducción de emisiones de CO₂. En el 2017 el 28 % de CO₂ fue generado por China, un 15 % por los Estados Unidos, 11 % la Unión Europea, 7.0 % la India, 4.6 % Rusia y un 3.5 % producida por Japón. Por esta razón china se ha comprometido antes del 2030 en un acuerdo de París en sustituir el carbón y promover la energía renovable.

La energía solar se puede utilizar aplicando sistemas de almacenamiento térmico. El almacenamiento diario se puede utilizar eficazmente para suministrar agua caliente o utilizar esa energía como un generador de electricidad, por lo que muchos investigadores buscan nuevos sistemas para el uso de esta energía renovable.

ANTECEDENTES

El crecimiento de la población aumenta día a día agotando los recursos no renovables. La energía renovable puede suplir las demandas energéticas, tecnológicas en cada país, con un impacto mínimo en el medio ambiente, para mitigar y tratar de eliminar las emisiones de gases de efecto de invernadero [3]. La preocupación mundial por el calentamiento global y problemas ambientales, por los procesos industriales, centrales térmicas de carbón y petróleo lleva a la población a utilizar las energías renovables y solares que, es cada vez más importante para garantizar las necesidades humanas y contribuir con el desarrollo económico.

Implementar un sistema con energía solar, despierta mucho interés en cada uno de los países como una fuente de energía eterna, ayudando así en la protección del planeta [4]. Las fuentes de energía renovables tienen el potencial de desempeñar un rol crucial para reducción de las emisiones de CO₂ y la mitigación del cambio climático. Con el aumento paulatino del consumo energético en el mundo, ha crecido el uso de energías renovables, con el aprovechamiento de recursos naturales que no tendrán un efecto negativo en el medio ambiente y por la generación de energías limpias como el sol y el viento [5].

El crecimiento de la inversión en energía renovable fue impulsado por inversiones en energía solar, que se multiplicaron por once entre 2005 y 2008, fue una de las fuentes de energía menos competitivas a principios de la década de 2000, la energía solar se convirtió en la más competitiva para generar energía eléctrica en todos los mercados [6].

Las energías renovables generalmente suministran energía en cuatro áreas principales: generación de electricidad, calefacción, refrigeración climática, transporte y servicios fuera de la red en áreas rurales y remotas. Según el informe REN21 publicado en 2016, la proporción de fuentes renovables de consumo energético mundial en las actividades humanas y la producción de electricidad fue del 19.2 y 23.7 %, respectivamente, en 2014 y 2015 [7].

La contaminación ambiental es uno de los principales problemas más sobresalientes que la mayoría de los países desea combatir, buscando nuevas alternativas para evitar

que se produzca grandes cantidades de dióxido de carbono, ya que, es una de las principales fuentes de contaminación al planeta y causan daños a la población mundial. Desde esta perspectiva teórica, esta investigación se justifica al buscar información útil para combatir la contaminación ambiental, promoviendo sistemas que utilicen el sol como fuente de energía renovable y que sea utilizable por cada una de las personas que deseen, por lo que se propone equipos de cocinas solares de costos alcanzables que serán útiles para la cocción de alimentos.

Al observar las diferentes fuentes de energías renovables existentes se encuentra en el planeta la energía solar una alternativa interesante ya que está al alcance de todos durante todo el año no tiene ningún costo recurrente y dada la ubicación geográfica de la población que se busca impactar, la luz solar generaría la radiación necesaria para almacenar esa energía en sistemas térmicos y serviría como para el calentamiento de calderas, piscinas, cocción de alimentos, sistemas de calefacción, llevar el agua al punto de ebullición entre otros. En zonas cercanas al Ecuador reciben mayor concentración de radiación que en los polos y además la reciben de manera constante la cual es útil para aplicar estos sistemas de colectores solares.

Los resultados que se obtiene de esta investigación pueden servir como un punto de partida para otros estudios, que logren buscar lineamientos teóricos que puedan encontrar soluciones a la búsqueda de tecnología que inciden en los resultados de proyectos específicos. Una de las soluciones para evitar el uso de combustibles fósiles y otros contaminantes son los colectores solares que funcionan a base de la energía solar y no contamina con la quema de hidrocarburos.

Para la presente investigación se planteó el desarrollo de los siguientes objetivos:

Objetivo general

- Diseñar y construir un concentrador solar de tipo canal cilindro-parabólico para la cocción de alimentos.

Objetivos específicos

- Evaluar la factibilidad de los diferentes diseños de cocinas solares existentes ya en el mercado, al recopilar información actualizada de investigaciones y artículos afines al tema central.

- Determinar la eficiencia y rendimiento del colector de canal parabólico con la cocina solar tipo cilíndrica considerando modelos matemáticos.
- Analizar los resultados obtenidos tomando en cuenta diferentes condiciones climáticas y los materiales a utilizar para el desempeño eficiente y adecuado del sistema.
- Evaluar económicamente el sistema propuesto, el cual utilizará una fuente renovable de energía para la cocción de alimentos.
- Analizar los beneficios económicos a largo plazo que se verá presente en la población donde se desarrolle este tipo de sistema con energía limpia y renovable.

CAPÍTULO I

MARCO TEÓRICO SOBRE ENERGÍA SOLAR Y SUS APLICACIONES EN CONCENTRADORES SOLARES DE TIPO CANAL CILINDRO PARABÓLICO

En este capítulo, se describen antecedentes generales relacionados a la energía solar desde las cantidades de radiación emitidas hacia la tierra, así como la geometría solar necesaria al utilizar este tipo de energía en los colectores que aprovechen este recurso renovable. Además, analizaremos el consumo de energía que presenta en los diferentes colectores solares, también, se estudiará su clasificación y funcionamiento para el proceso de cocción de alimentos.

1.1. Estado del arte

Utilizar métodos tradicionales de cocción a base de combustibles derivados del petróleo es un agente que afecta al consumo energético del planeta y las emisiones de gases. La cocina solar es considerada como una de las opciones más atractivas y viables. Ofrece una cocción de alimentos limpia y gratuita, que es muy interesante para la vida moderna en diferentes países de desarrollo y subdesarrollados. La cocina solar ha sido un tema importante para los investigadores, científicos e ingenieros durante muchos años, que cada día buscan enfrentar la crisis energética global [8].

En países como España, el consumo de energía no renovable es del 70 % que procede directamente de combustión de productos petrolíferos, la mayoría destinada a sectores de transporte que se utiliza para su funcionamiento. De la misma manera, la quema del carbón y el gas natural para la obtención de energía térmica o eléctrica [9]. Es cierto que, la energía solar que es utilizada para cocinar alimentos no puede detener el uso de combustibles fósiles para la preparación de alimentos, pero se puede demostrar que la cocina solar utilizada correctamente, es una forma de mitigación efectiva con respecto al cambio climático y el aumento económico de los sectores más pobres [10].

Según Aramesh et al. [11] la energía que se utiliza para cocinar en edificios residenciales tiene un papel importante en la demanda energética global, en regiones templadas que están en desarrollo como Asia y África el consumo residencial se debe a la cocina, en países como India el consumo de energía es el 36 % y en zonas rurales de África, el consumo es del 90 al 100 %. En los Estados Unidos un país desarrollado

tecnológicamente, cocinar representa del 37 al 57 % del consumo energético, de tal manera que es necesario encontrar diferentes formas y alternativas limpias de cocinar, esto puede afectar notablemente el consumo de la energía global. Los sistemas de calefacción solar, es uno de los sistemas que se puede utilizar de forma eficiente para la cocción de alimentos, en lugar de quemar grandes cantidades de derivados de gasolina o fuentes de biomasa.

Aunque parezca que la cocina solar es conocida por todo el mundo, existen estimaciones de que se pueden salvar a cuatro millones de vidas humanas, si las cocinas solares fueran de accesibilidad económica para todas las personas, es importante la colaboración de empresas públicas y privadas, hoy en día las industrias producen cocinas solares a precios muy accesibles, en países como China o India en donde la población va en aumento y no tienen los recursos necesarios para una cocina tradicional se lo utiliza [12].

Bhave y Kale [13] mencionan, que los sistemas de cocción de alimentos en forma de concentradores solares de alta temperatura son principalmente los sistemas basados en la cocina de platos Scheffler y el concentrador parabólico de platos. Estos sistemas son en forma de paraboloide con una superficie reflectante. El sistema es manual y se rastrea cada 10 a 20 minutos, para que el rayo del sol sea perpendicular a la superficie del concentrador. Es posible cocinar, freír y hornear en ollas a presión y producir agua destilada, ya que se obtienen temperaturas de 160 - 180 °C y su tiempo de calentamiento es más corto que en las ollas tipo caja.

Existen cocinas solares en forma de una caja aislada, con una tapa de vidrio transparente, en donde la superficie de la caja está reflejada por espejos, estos proporcionan una gran intensidad de radiación solar hacia la caja, lo que mejora la eficiencia de la cocina, en este tipo de modelo de cocina, la parte interior de la caja está pintada de negro para así poder aumentar la absorción de la luz del sol. La caja contiene en su interior un recipiente de cocción con los alimentos, este tipo de cocina solar de caja puede alcanzar una temperatura de unos 100 °C aproximadamente, lo cual es necesario para cocinar los alimentos por ebullición [14].

Avilés et al. [15] presentan, un proyecto en la zona rural de Michoacán de la ciudad México, en la utilización cocinas solares, la principal característica es el incremento

de la implementación de concentradores parabólicos compuestos (CPC) en las comunidades indígenas. Se realizan pruebas de cocción de alimentos en los prototipos llevados por los investigadores, previo a esos se realiza diferentes talleres de capacitación, uso, mantenimiento y construcción de cocinas solares. Esta implementación pretende reducir en un 30 % el consumo de madera utilizadas para cocinar alimentos que, aproximadamente se consumía 145 kg/semana de este recurso maderable que empleaba cada familia y así se obtendrá un ahorro del 50 % con el uso de cocina solar [15].

Regattieri et al. [16] realizan ayudas humanitarias utilizando cajas de cartón que a la misma vez estas cajas se utilizan para formar la cocina solar portátil tipo caja. La caja del juego de cocina no tiene superficie metalizadas para aumentar la reflectibilidad, lo que se utiliza es el papel de aluminio doméstico de 0.0016 mm de espesor, que refleja hasta el 98 % de la luz y el calor infrarrojo de cada caja, se realiza diferentes prototipos de forma de caja, cilíndrica y parabólica en donde se efectúa, una comparación directa de temperaturas alcanzadas en una olla que contienen 0.5 L de agua ubicada en el objeto de la cocina solar, este tipo de estudio se realiza para mejorar el rango de aplicabilidad y así poder reducir aún más la pobreza global.

El Moussaoui et al. [17] han propuesto un método de cocción ecológico, de una cocina termo-solar cilindro parabólica, diseñado para acorde a las necesidades de los residentes rurales, la función de este sistema consta en la concentración de rayos del sol en un tubo de vidrio al vacío, que a través de tubos pequeños asociados al tubo grande, en donde el aceite se calienta y sube hacia la olla donde están los alimentos para la cocción con un capacidad de 5 kg, este sistema de cocina diseñada en Alemania alcanza una temperatura en los tubos de 370, 260 y 260 °C respectivamente, para el proceso se utilizó papas y se observa que la temperatura del aceite sube a 200 °C después de 1 hora de calentamiento, la cocción que se realizó fue a una temperatura de 120 °C durante 20 minutos para la cocción de papas fritas. Estas temperaturas varían dependiendo de las condiciones climáticas.

En la investigación presentada por Ajbar et al. [18] se indica que, la energía recogida en la superficie móvil del colector cilindro parabólico donde se utiliza el sistema de seguimiento a la luz solar es del 46.46 % más alta que la superficie fija. Los colectores cilindros parabólicos son considerados como uno de los sistemas más maduros, a

diferencia de otros sistemas de concentración solar como las placas planas convencionales, el colector cilindro parabólico muestra mayor eficiencia termodinámica en una superficie más pequeña, las temperaturas que oscilan van de 60 a 400 °C, esta cantidad de temperatura son utilizados ampliamente en procesos industriales de calentamiento solar, refrigeración solar, bombas de calor de absorción, generación de energía, energía solar cocinas, entre otros. Por lo tanto, se convierte en una opción para desarrollar fuentes de energía limpia y factible que pueda remplazar a los combustibles fósiles y aumentar la demanda a nivel mundial.

Noman et al. [19] presentan una investigación teórica y experimental de una cocina solar tipo concentrador cilindro- parabólico, que consta de una superficie reflectante y un tubo absorbente que está expuesto al ambiente, se desarrolla un modelo matemático para la evaluación del rendimiento del colector cilindro parabólico que está hecha de acero inoxidable donde su relación de concentración es de 9.867. El análisis de eficiencia óptica del canal parabólico resultante oscila entre el 53-33 % y la eficiencia experimental del 38-5 %. La temperatura máxima alcanzada del agua que pasa por el tubo es del 37.2 °C a la salida del canal del cilindro parabólico. Sin embargo, la temperatura por la olla cilindro parabólica fue del 53.6 °C, esto demuestra que los valores obtenidos son útiles para hacer una cocina doméstica utilizable.

Masum et al. [20] realizan, investigaciones en diferentes cocinas de tipo parabólicas utilizando distintos materiales reflectantes como: el acero inoxidable, papel aluminio y cinta de mylar, en cada cocina se tomó las temperaturas en la superficie de concentración, temperatura del recipiente y temperatura del agua. El alcance de la temperatura fue de 58.2 °C del primer prototipo con acero inoxidable, el segundo con papel aluminio alcanza una temperatura de 74.5 °C que es la temperatura máxima alcanzada, similar al tercer prototipo que se utilizó la cinta mylar, estas temperaturas fueron encontradas al calentar agua, para la cocción de alimentos como arroz, huevos y papas fritas que se habrían cocinado un poco más rápido en el tercer diseño.

En el estudio realizado por Anwar et al. [21] presenta tres sistemas de colectores solares con diferentes geometrías en el receptor (foco) y los materiales utilizados en la superficie reflectante fueron aluminio y acero inoxidable. El primer receptor utilizado es un tubo simple (A), el segundo un tubo receptor con placa absorbente (B) y el tercero un tubo receptor con placa absorbente curvada (C). Al identificar la ganancia de calor

de cada una de estas geometrías los resultados se observaron: en el receptor C y B fue del 71 y 30 % en comparación con el receptor A. La eficiencia térmica en el sistema A fue del 20 %, B un 28 % y C el 34 %. Al utilizar el aluminio y acero inoxidable como elemento reflectante, se observó que las eficiencias térmicas máximas fueron de un 34.8 5 y 31 %, con los resultados obtenidos, se determinan las ventajas que se tiene con diferentes receptores y materiales reflectantes.

Weldekidan et al. [22] investigan el rendimiento y temperatura de una cocina solar cilindro parabólica, que se construyó de manera que permita cocinar los alimentos en su interior, el tubo absorbedor transporta la energía hacia la estufa de cocción que en su interior contiene aceite de soya. Los resultados que se obtuvieron mostraron que el tubo de cobre de 30 mm de diámetro es el tamaño óptimo para el absorbedor. Donde las temperaturas alcanzadas son de 191 °C en el tubo absorbedor y 119 °C en la estufa de cocción de alimentos, mostrando también que en este sistema se obtuvo una eficiencia térmica del 6 %.

1.2 Energía solar

La energía solar es una fuente de energía limpia y prometedora para satisfacer las necesidades de la población, que demanda energía limpia y libre de emisiones. Este tipo de energía se encuentra a simple vista, es barata y abundante durante todo el año en cada lugar del planeta, los diferentes estudios experimentales con la integración de la energía solar, con diferentes sistemas energético tienen importancia en el desarrollo sostenible de la tecnología [23]. Como fuente de energía para la tierra, el sol es el mayor contribuyente. Proporciona no solo la energía primaria para la fotosíntesis de las plantas, sino que también mantiene el entorno térmico [24].

Este tipo de energía ha interesado en los mercados eléctricos a nivel mundial debido a sus bajos costos, políticas favorables, al usar este tipo de energía y por la preocupación de gases de invernadero que va en aumento, la producción solar es variable debido a factores como las horas del mediodía, pero disminuye rápidamente a medida que se posiciona el sol [25].

La demanda energética, la energía solar, tiene un mayor potencial y produce energía limpia que no afecta al medio ambiente durante su proceso, el sistema de energía solar térmica, se considera una de las soluciones importantes para producir energía térmica,

para la aplicación de calor de procesos industriales y generación de energía, también utilizados para pequeños usos domésticos como calefacción de espacios, refrigeración, calentamiento de agua de alimentación de calderas [26]. En la figura 1, se observa el uso adecuado de la energía solar suministrada por paneles solares en el hogar [23]. La energía solar es la responsable para que la vida en el planeta exista y tenga condiciones de vida adecuadas para las personas, animales y vegetales.

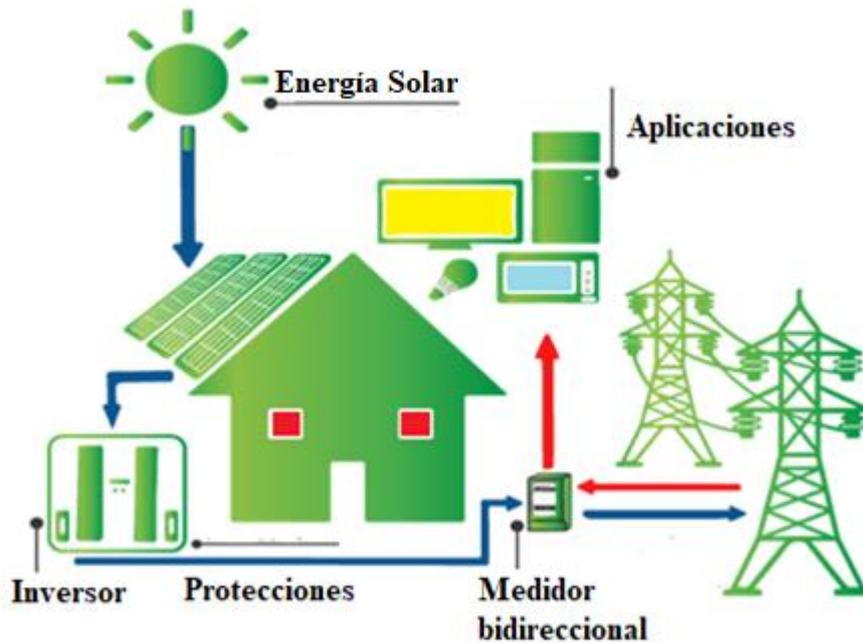


Figura 1. Implementación de paneles solares [27].

La energía solar emitida por el sol prácticamente es inagotable y disponemos en la mayor parte del planeta, esta energía llega a un inversor, por medio de este instrumento electrónico, se convierte la corriente directa en alterna para que pueda ser utilizada en elementos de consumo, de la misma manera existe un medidor bidireccional que se encarga de medir la energía que producen los paneles solares, comparado con la demanda energética que un hogar consume de una red eléctrica.

Para el proyecto se aprovechó la radiación solar emitida por el sol, mediante dispositivo que transforman las radiaciones solares en energía calórica, que es cedida para la cocción de alimentos de consumo humano, donde la energía del sol es un recurso importante y se la encuentra en cada rincón de la tierra, el sol emite energía los 365 días del año en proporciones diferentes, dependiendo de la ubicación que se

encuentre. Como se menciona anteriormente es una energía libre y abundante que brinda la naturaleza, no es un recurso contaminante como son el petróleo y el carbón

1.3 Radiación solar

La vida en el planeta es posible por la energía suministrada por el sol [19]. La radiación solar, es el conjunto de radiaciones electromagnéticas emitidas como rayos solares hacia la tierra [28]. La acción de la radiación solar afecta de forma importante a los seres vivos e influye tanto como a su salud y economía. La radiación solar que llega a la Tierra tiene un espectro de radiación infrarroja (IR), eso no quiere decir que todas esas radiaciones llegan a la superficie terrestre, ya que algunas ondas electromagnéticas son de menor significancia y son absorbidas por la capa de ozono y la atmósfera [8].

La radiación solar, se puede utilizar ampliamente para calentar agua en sistemas de agua caliente, piscinas y fluidos solares para la generación de energía. Los sistemas solares para calentar agua constan principalmente de: colector solar y tanque de almacenamiento [29]. La radiación solar aumenta su campo de investigación con el paso del tiempo, principalmente el componente de alta intensidad (luz azul) contenida en dispositivos electrónicos [15]. En la Figura 2, se muestra la distribución de la radiación solar antes de llegar a la tierra.

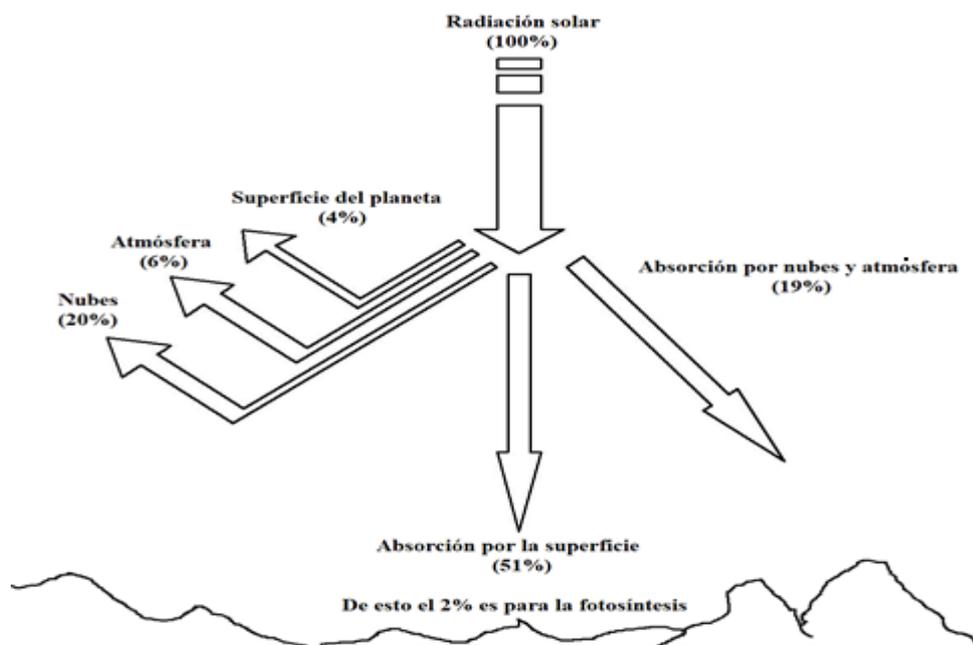


Figura 2. Distribución de la radiación solar que incide en la Tierra [30].

La insolación solar por hora es el monto total de radiación solar recogida por el suelo en 1 h, cuya unidad es $\text{Wh}\cdot\text{m}^{-2}$, presentado en unidades de energía por unidad de área [31]. La radiación solar presenta 3 vías en la superficie terrestre, de acuerdo con factores atmosféricos las cuales son: directa, difusa y reflejada [27].

La radiación solar incidente, presenta variantes tales como la latitud geográfica, en las épocas del año y la hora del día. Si se tratara a la radiación fuera de la atmósfera, la referencia se haría a un valor constante con el valor de $1368 \pm 0.65 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$. Al atravesar la atmósfera terrestre, el ozono absorbe radiaciones ultravioletas y el vapor de agua, sin dejar como menos importante el redireccionamiento que los aerosoles y materiales de la atmósfera que causan en la radiación solar [32].

1.3.1. Radiación directa

Es la radiación emitida por el sol que llega directamente a la Tierra, no hay interacción con ningún objeto y no cambia de dirección [6].

1.3.2. Radiación difusa

Llega de forma indirecta, a consecuencia del reflejo de la radiación solar en ella, que es difuminada ya sea por el polvo o gases que existan en el ambiente. Se distorsiona del haz principal, por la atmósfera, que es removida por dispersión en 25 % de la radiación directa, finalmente llega a la tierra cerca de dos tercios como radiación difusa [6].

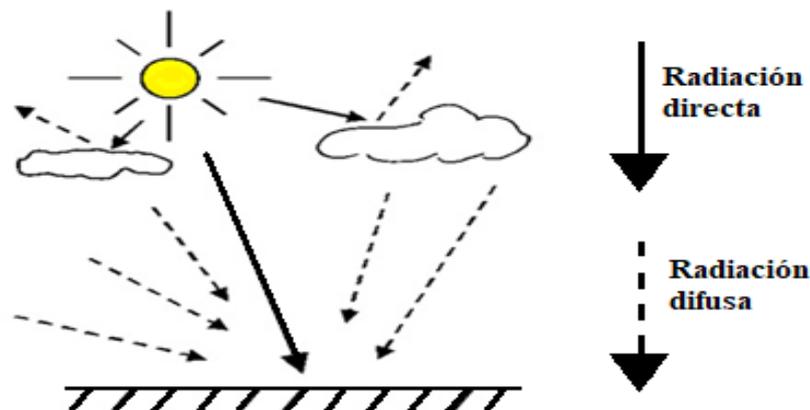


Figura 3. Radiación directa y radiación difusa [33]

1.3.3. Radiación reflejada

Es la radiación reflejada por diferentes objetos que existen en el planeta. Para poder ver la cantidad de radiación, es necesario determinar la reflectividad de cada material. Para las superficies horizontales, no incide ninguna radiación reflejada por lo que no apuntan a otro elemento, pero una superficie vertical, al contrario, recibe una gran cantidad de esta radiación [6].

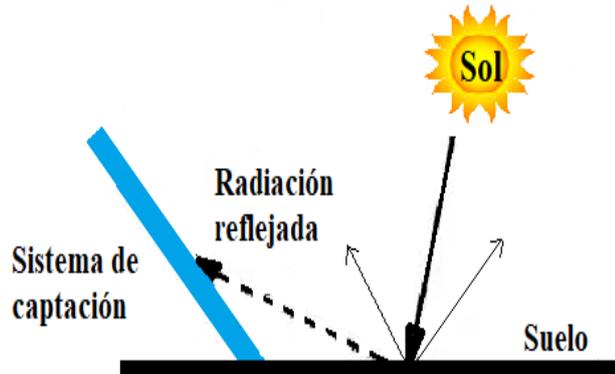


Figura 4. Radiación reflejada [34]

Se debe tener en cuenta que, los tipos de radiaciones se ven afectadas por factores como la composición atmosférica debida a los polvos, gases o vapores de agua que existen en ella y que están en la atmósfera, disminuyendo así la radiación incidente sobre la superficie terrestre. El sol cambia en el transcurso del día y año, por lo que varía el ángulo del haz de luz solar sobre la superficie, también varían de las orientaciones de los sistemas fotovoltaicos o colectores solares [35].

1.3.4. Medición de la radiación solar

La radiación solar es medida mediante un instrumento que recibe el nombre de radiómetro [36]. Los radiómetros solares como los pirómetros o solarímetros según sus características, se utilizan para cuantificar un valor de radiación solar incidente directa, global y difusa. Estos instrumentos de medición almacenan valores de irradiación en intervalos muy pequeños de tiempo, normalmente en pocos segundos.

1.4 Geometría solar

Los movimientos que generan los cuerpos en el sistema solar y la dinámica de éstos con el desplazamiento solar y de la tierra, establecen una geometría, en donde indica

la magnitud de los rayos solares y ubicación en tierra [37]. Es una geometría esférica, a ser analizada en componentes angulares, por el movimiento de la rotación terrestre que no es perpendicular al plano [7]. La trayectoria dada por el sol genera un ángulo analizando el plano terrestre, en función de la latitud de cada ubicación [38], ejemplo claro es en Ecuador con 90° de ángulo que va decreciendo conforme se produce el desplazamiento hacia los polos (0°). El sol tiene una trayectoria horizontal por este motivo es que existe el día y la noche, en ciertos casos no se puede asegurar la ubicación correcta del sol, tampoco cual fue su movimiento en el año [39]. Para definir la posición del sol en función del plano terrestre, se requieren relaciones entre ambos, como también definir ciertos parámetros, información indicada en la Figura 5.

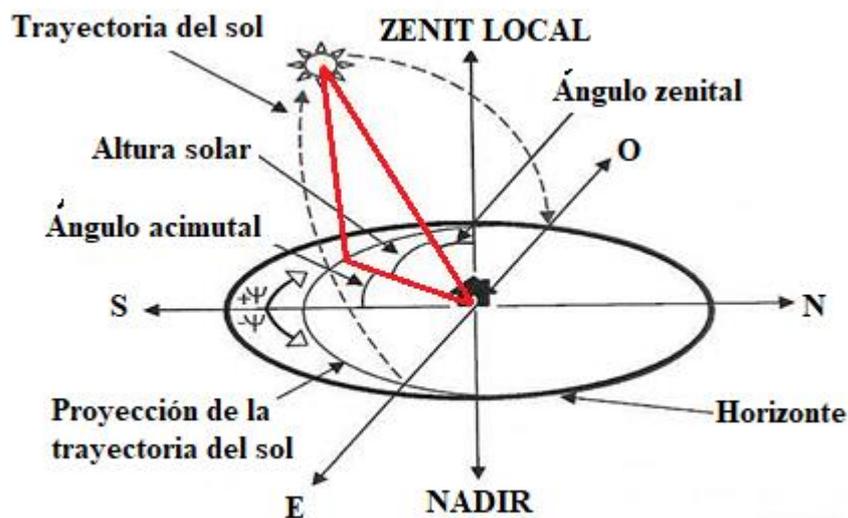


Figura 5. Ángulos y altura en la trayectoria solar [40]

1.4.1 Ángulo cenital

Es el ángulo generado cuando el sol llega máximo alto de su elevación sobre el horizonte, formado por la radiación directa y la vertical del lugar en un punto terrestre [41]. Este ángulo es diferente con el paso del día, además, está en función de la latitud de una ubicación y de su declinación [40].

1.4.2 Ángulo acimutal

Es el ángulo formado por la componente horizontal de la radiación solar directa en el hemisferio norte [42], medido sobre el plano horizontal de la ubicación, de acuerdo con el cuadrante en que se encuentra el sol.

1.4.3 Declinación solar

El sol se sitúa en una ubicación al medio día, en el astro respecto al plano que está entre el Ecuador y el Este [40]. Va de 0° a $\pm 90^\circ$ con magnitud positiva al Polo Norte mientras que es negativo hacia el sur respecto al plano ecuatorial, estos ángulos formados dependen de la latitud geográfica del observador [43].

1.5 Ángulo horario

Es el ángulo que genera el meridiano superior de una ubicación y el círculo horario que pasa por el astro [43]. Es considerado en sentido horario respecto al Ecuador a partir del punto en donde se interseca con el meridiano máximo de la ubicación y éste, ($0^\circ - \pm 180^\circ$), que es positivo en el Oeste y contrario, negativo. En la Figura 6 se muestra en la declinación solar δ y el ángulo horario h . Estos sistemas de referencias también llamadas coordenadas celestes horarias.

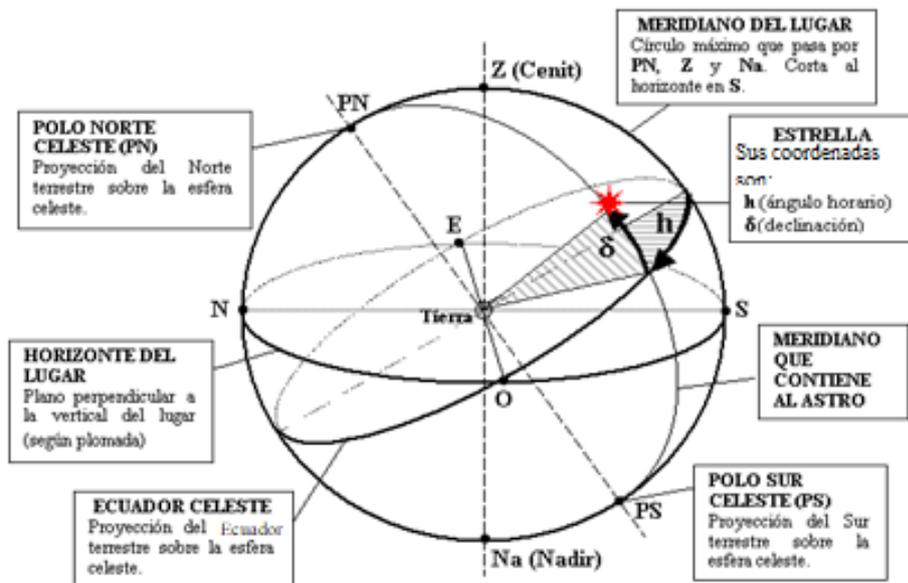


Figura 6. Coordenadas celestes horarias [44]

1.5.1 Estimación de sombras

Uno de los problemas que se presentan al realizar la instalación de equipos termo solares o colectores, es ubicar los equipos de tal manera que se evite la generación de sombras, con un elemento externo o el mismo dispositivo en sí. Para ello es indispensable conocer cualquier obstáculo que se interponga entre la radiación directa, en cualquier día durante el transcurso del año, así como la superficie de captación solar.

1.5.2 Sistemas para la implementación de la energía solar

La energía solar puede ser integrada con varios tipos de otros sistemas energéticos, desempeñando un aporte en el refuerzo del desarrollo sostenible de la tecnología [37]. Los colectores solares son los más eficientes para proporcionar energía térmica externa, hay poca investigación en los trabajos donde se utilice la energía solar y que integren a colectores de forma independiente, como calentador de agua con diferentes fluidos, es decir calentadores de agua solares [45].

El trabajo principal que realizan los colectores solares es absorber la radiación solar, convirtiéndola para ser aprovechada como calor y transferirla a un fluido o a su vez genera energía para el uso en procesos industriales, las diferentes aplicaciones de sistemas de colectores pueden generar temperaturas muy altas esto depende del área donde se encuentre ubicado el colector.

1.6 Colectores solares

El funcionamiento de los colectores consiste principalmente en las superficies que reflejan la radiación solar, enfocando en un área notable que también se la conoce como punto focal. Los materiales con superficies reflectoras se utilizan para concentrar la radiación solar y para ser aprovechada como energía térmica de manera más eficiente [46].

Hace mucho tiempo la principal fuente de calor, el sol, ha emitido energía extra que el mundo consume. Esto se da frente a un eminente calentamiento global, de donde nace maneras necesarias o ingeniosas de aprovechar la energía. El colector solar se construyó con el fin de impregnar, reunir y almacenar energía solar en concentradores de energía, que posteriormente podrá ser usado en diferentes aplicaciones [47].

1.6.1 Funcionamiento de un colector solar descripción generalizada

La exposición solar térmica a la cual los colectores se ven expuestos establecen un régimen permanente de generación, al producir un balance energético entre el sistema captor la energía que aprovecha y la que expone al medio ambiente como pérdida. La consideración en cuanto a pérdidas puntuales en la conducción y convección, mismas que son lineales en cuanto a la variación de temperatura del ambiente de desarrollo, son contrarias a las pérdidas generadas por la radiación, mismas que son directamente proporcionales a la diferencia de temperaturas [48].

Un colector solar tiene el siguiente procedimiento para su funcionamiento, inicia en la placa de absorción, elemento que absorbe la energía disponible en el medio, calor obtenido desde el sol, generalmente la placa de absorción está constituida por elementos con una conductividad térmica superior a $125 \text{ W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{°C}^{-1}$, tales como: el cobre, acero, aluminio, entre otros materiales [29]. El colector solar continúa su proceso por medio de un conducto de circulación del fluido, sea cual sea la condición de dicho fluido, estático o dinámico, este conducto recibe y transporta la energía absorbida hacia el fin que tenga el colector, tales como: almacenamiento de energía, calentadores, cocción y electricidad [49].

Existen diferentes sistemas de colectores, se pueden clasificar en función de cómo se aprovecha la energía solar. La figura 7 esquematiza los dos tipos de colectores para este estudio, este tipo de tecnologías se puede encontrar comercialmente como colectores cilindro-parabólicos y plato parabólico.

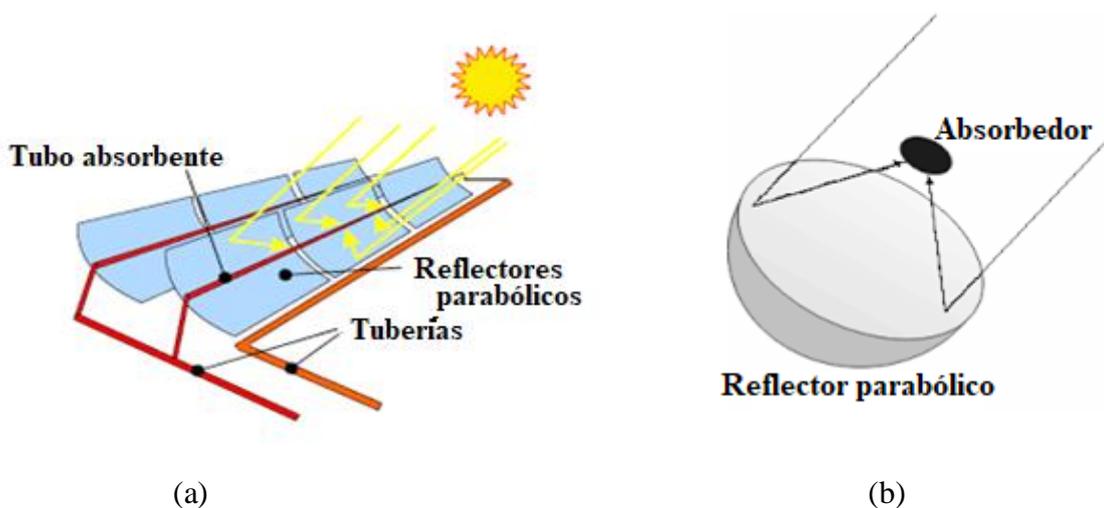
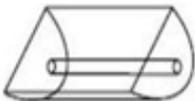
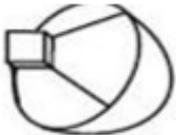


Figura 7. Tipos de colectores (a) colector cilindro-parabólicos solares, (b) plato parabólico solar [50]

Se realizó estudios de varias características únicas en las unidades colectoras, para mejorar sus características de absorción de calor. En la tabla 1, se observa los diferentes colectores de energía, modelo y la temperatura de concentración de cada uno de ellos.

Tabla 1. Tipos de Colectores de energía [37] [51].

Rastreo	Tipo de colector	Modelo	Forma de colector	Proporción de concentración	T de función (°C)
Estacionario	Colector de placa plana		Plano	1	30-80
	Colector de tubo de vacío		Plano	1	50-200
Eje único	Colector parabólico compuesto		Tubular	1-5	60-240
	Reflector lineal de fresnel		Tubular	10-40	60-250
	Colector cilíndrico parabólico		Tubular	15-45	60-300
	Colector de canal parabólico		Tubular	10-50	60-300
Dos Ejes	Reflector de plato parabólico		Punto	100-1000	100-500
	Colector de campo de heliostatos		Punto	100-1500	150-2000

El uso de concentradores solares de rango medio, sirven para proyectos que requieren temperaturas de trabajo más elevados. Los captadores planos convencionales generan rendimientos bajos en su temperatura llegando a 80°C, o si se requiere llegar a los 100 y 250 °C, se debe utilizar otro sistema de captación [39]. Para alcanzar ciertas temperaturas es necesario implementar sistemas que capten y almacenen radiación

solar mediante espejos parabólicos [52], como se observa en la figura 7. En la actualidad, son comúnmente utilizados los captadores cilindro-parabólicos, estos sistemas de concentración requieren un seguidor solar y para absorber la radiación directa [30].

1.7 Aplicación de los colectores solares

En general el empleo de los colectores solares, vienen dado por la utilidad que se da a la energía solar térmica que podemos almacenar, obtener o concentrar del sol y su energía presente en el ambiente.

Utilización de colectores en residencias para servicios de uso doméstico

1.7.1 Calentamiento de agua para piscinas y sector doméstico

Aquí los colectores planos son aquellos que son usados de manera residencial o de servicios, para el calentamiento de una piscina se requiere una temperatura normal de 26 a 30 °C. Los colectores solares planos para este tipo de aplicaciones han sido más eficaces que las demás tecnologías que se han desarrollado para concentrar energía. Las instalaciones de calentamiento de agua para piscinas son más viables económicamente puesto que se realiza con los colectores solares planos [53].

En la parte de usos sanitarios de manera doméstica, sea vivienda unifamiliares o multifamiliares, así como al sector comercial y residencias se utiliza colectores solares con configuración en su almacenamiento, aislamiento y procesos de transporte para el calentamiento del agua, normalmente estos sistemas de calentamiento se los ubica en la azotea, donde la radiación solar sea absorbida por los colectores [53].

1.7.2 Sector comercial y de servicios con agua caliente

La participación de colectores solares, para calentar agua en el sector comercial es representativa, dando así una aplicación eminente en hospitales, colegios, restaurantes y demás comercios [54]. Alcanzando hoy en día la participación de energía solar en un 43.4% del total del consumo comercial [55]. La Tabla 2 muestra los porcentajes de consumo energético en el calentamiento del agua, con diferentes combustibles que se lo utiliza para la misma aplicación.

Tabla 2. Porcentajes de consumo se energía en sectores comerciales de servicios

Tipo de energía	Porcentaje de consumo (%)
Solar	43.40
Diésel	24.70
Carbón vegetal	0.10
GLP	3.10
Keroseno	3.60
Electricidad	25

La figura 8 representa el consumo energético en sectores comerciales en áreas urbanas, donde la participación de la energía solar térmica es la más útil.

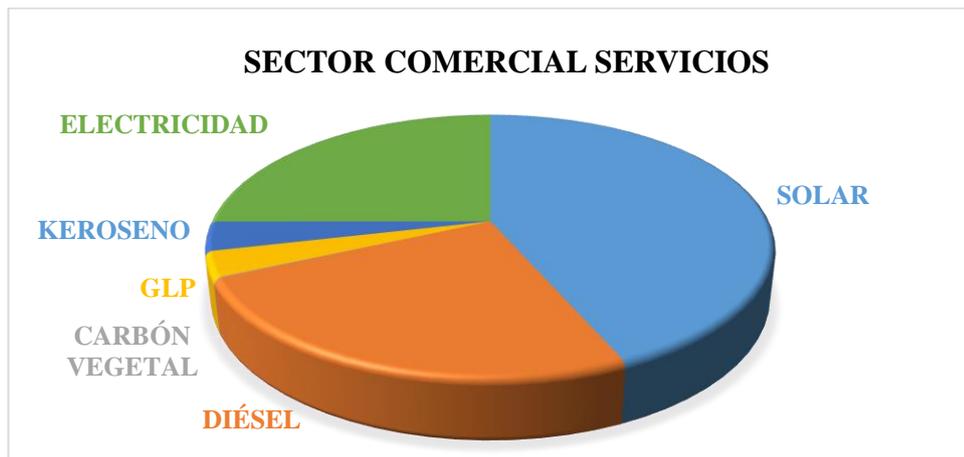


Figura 8. Consumo energético para calentar agua en el servicio comercial [55]

1.8 Cocinas solares

Las concentraciones solares de los dispositivos se ven acumuladas para brindar la captación de energía de una manera acorde, para llegar al punto de cocción de alimentos. Los principios físicos que combinan las cocinas solares son distintos, semejante a la estructura de la cocina y las condiciones de funcionabilidad. La radiación es brindada en forma de radiación electromagnética, sin ningún contacto físico para transmitir. La radiación se da hacia un concentrador o un sistema de flujo en donde la conducción termina la cocción en el proceso de cocción [56].



Figura 9. Cocina solar con un punto focal para concentrar la cocción. 2) Cocina solar basada en la acumulación de calor en base a un vidrio concentrador. 3) Cocina solar con un área de captación de tipo parabólica, adicionado a una superficie reflectante. [56]

1.8.1 Cocina solar de caja

Esta cocina creada en la década del 2000 muestra interés para optimizar el rendimiento y eficiencia térmica. Una cocina de caja solar consiste en una caja aislada, que está cubierta con un vidrio transparente y las superficies son reflectantes para que la luz solar refleje en la caja. La parte interior está pintada con un recubrimiento de color negro y es para aumentar la absorción de la luz solar [57]. En la figura 10, se muestra los componentes de una cocina de caja solar.

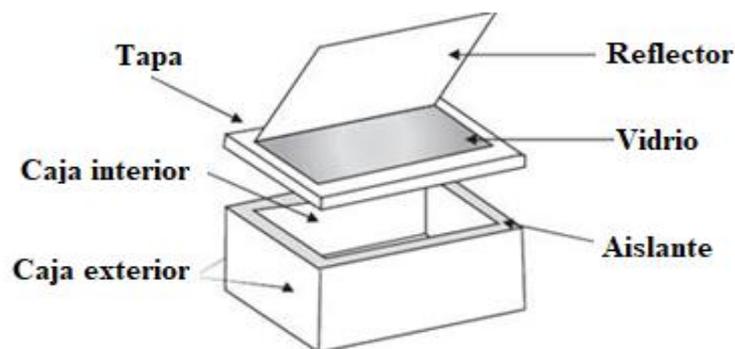


Figura 10. Componentes de una cocina solar de caja [14]

El efecto invernadero que se produce en la caja, permite que la radiación solar sea almacenada dentro de la caja, creando una temperatura, la que ayuda a que los alimentos se cocinen [58]. La capacidad de una cocina solar para recoger la luz solar está directamente relacionada con el área proyectada del colector perpendicular a la radiación incidente [59].

Este tipo de cocina solar de caja tiene varios beneficios que las hacen favorables para su uso. Primero, utiliza las radiaciones directas y difusa. También son fáciles de utilizar y operar ya que no necesitan de seguidores de luz solar. De la misma manera no es necesario la presencia de la persona, ya que las temperaturas hacen innecesario agitar los alimentos encontrados interiormente y se mantienen calientes debido al calor retenido. Son relativamente económicas y se pueden producir o reparar fácilmente. Una observación de este tipo de cocina es que su proceso de cocción es lento debido a la baja temperatura que se almacena, la cocción debe limitarse a la luz del día y no se puede usar para freír o asar [60].

1.8.2 Cocina solar parabólica

Permite concentrar más calor para calentar más rápido, el concentrador parabólico permite concentrar la energía solar que incide en la superficie reflectora y es reflejada hacia un punto llamado foco, en donde está ubicado un recipiente de cocción metálico oscuro de color negro y paredes delgadas, de esta manera alcanza altas temperaturas que permiten la cocción de alimentos, pueden tener altas potencias de cocción y funciona durante el día dependiendo de las condiciones climáticas [61, 62]. La figura 11 presenta un prototipo de cocina parabólica.



Figura 11. Cocina solar tipo parabólico [63]

En lo que se refiere a la eficiencia es baja en este tipo de cocina, donde pierde un 40 % de la energía solar captada, teniendo en cuenta estos concentradores se diseñan en forma y tamaño, dependiendo de la cantidad de energía que quiera ser concentrada, generando así temperaturas entre los 200 a 250 °C, lo cual es útil para cocinar [64].

La cocina solar parabólica se caracteriza por el tiempo de cocción, es más rápida y eso se debe a la temperatura que alcanza, ya que concentran luz desde arriba y la luz desde abajo debido a su forma parabólica. Algunas de estas cocinas se utilizan para hornear, por lo que es necesario la atención del usuario por el riesgo de incendios y quemaduras que puede ocasionar al momento de su uso.

1.8.3 Cocina solar cilindro - parabólico

Existe varias tecnologías de energía solar, el colector solar cilindro-parabólico, en donde la radiación solar es enfocada en la superficie en forma de canaleta, con perfil parabólico es una de las aplicaciones más prometedoras e investigada, que se utiliza ampliamente en refrigeración, calefacción y generación de energía. El receptor afecta significativamente el rendimiento térmico del sistema [35] al ser el componente más importante de un sistema,

Los colectores cilindro-parabólicos, son el sistema concentrado más maduro y comercializado para captar energía solar a temperaturas de funcionamiento superiores a 200 °C [65]. Los colectores cilindro parabólicos tienen forma de U. El colector solar tiene un reflector lineal de forma parabólica, que enfoca la radiación del haz solar, en un receptor lineal ubicado en el foco de la parábola [66], como se muestra en la figura 12. Los colectores rastrean el sol dependiendo de la dirección en la que está ubicada ya sea de Norte a Sur o de Este a Oeste cuando hay luz solar, de esta manera el haz de luz esté continuamente enfocado en el receptor lineal [67].

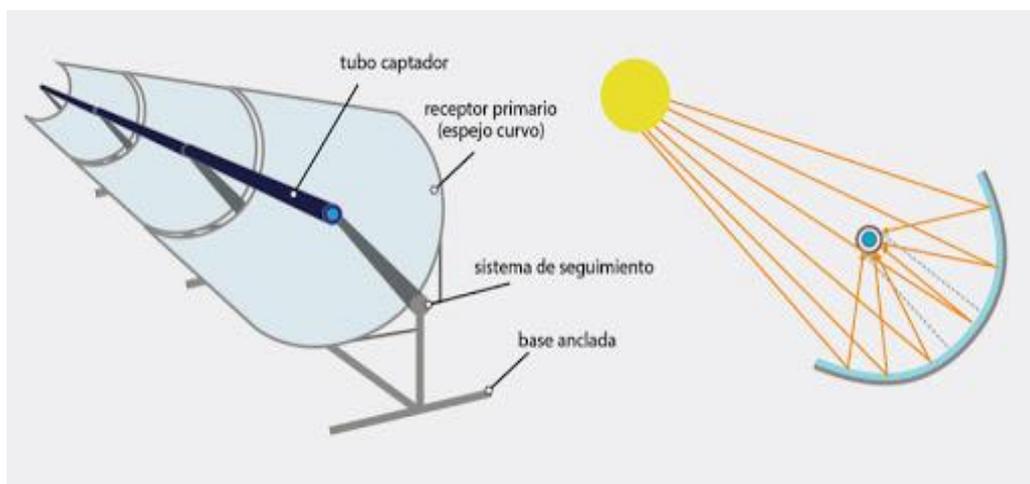


Figura 12. Incidencia del sol en un colector cilindro parabólico [67]

1.9 Diagrama general de una cocina cilindro parabólico

Los elementos principales para esta cocina son:

Concentrador solar: es el elemento principal de un sistema foto térmico, cuya característica es concentrar la radiación solar hacia el absorbedor de calor, permitiendo elevar la temperatura para la cocción de alimentos.

Aislamiento térmico: son aquellos materiales aislantes, que disminuyen la transferencia de calor desde la cavidad en que se colocan los recipientes de trabajo hacia el ambiente.

Estructura de cocina: es el elemento que soporta el sistema.

Ruedas: permite un fácil traslado y dar seguimiento continuo al recorrido aparente del sol.

Productos de trabajo (alimentos): el fluido de trabajo recibe el calor concentrado en el absorbedor, el cual permite calentar los alimentos expuestos, para que se produzca la cocción.

1.10 Elementos comunes constitutivos de las cocinas solares

Reflectores: son aquellos que captan, transmiten y direccionan la energía solar [68]. La propiedad fundamental es aprovechar la radiación solar al máximo rendimiento posible, es decir, reducir las pérdidas ópticas ocasionadas por la forma y las pérdidas de calor, con la que está hecho el material [69].

Receptor: es quien controla el flujo de radiación que el sistema ha recibido, para optimizar la transformación de energía solar en energía térmica [70]. Ciertos sistemas para cocinar no cuentan con este componente, sin embargo, reduce pérdidas por conducción [38]. Caso contrario, si es requerido, su funcionamiento alcanza niveles de concentración más elevados a mayor temperatura de funcionamiento [71].

Aislamiento: es la parte encargada de aislar el sistema del entorno para disminuir la pérdida de calor hacia éste [65].

Estructura: es el bastidor para los elementos que constituyen una cocina solar y debe satisfacer: la rigidez y la resistencia estructural manteniendo el sistema estáticamente estable, al soportar el viento, efectos ambientales, debe ser de fácil montaje y mantenimiento de este [69]. En la figura 13, se observa los elementos comunes consecutivos que se tiene en la cocina solar ya sea de caja o parabólica.

La transferencia de calor entre el receptor está determinada por la conductividad térmica de cada material con la que se va a trabajar.

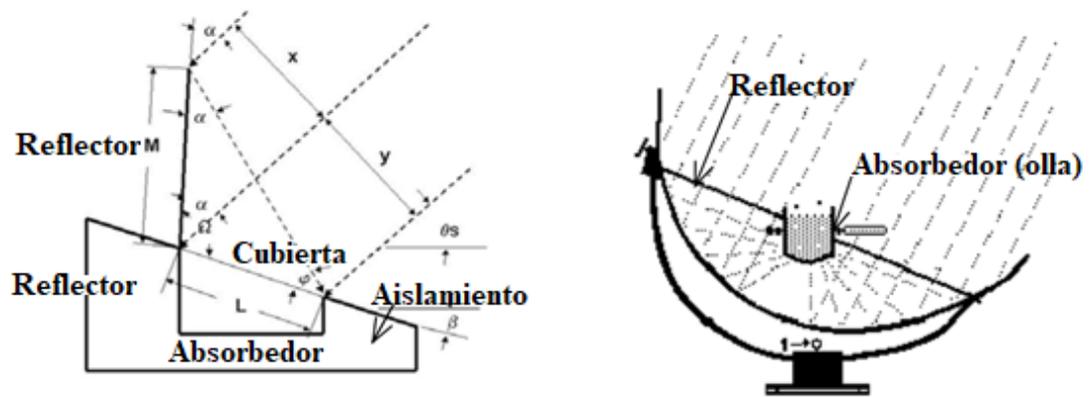


Figura 13. Elementos comunes consecutivos en cocinas solares [69]

1.11 Principios de funcionamiento de una cocina de calor

El fundamento de una cocina solar tiene actividades como: calentamiento, cocción, purificación, esterilización, entre otros. A partir de la energía brindada por el sol, que se presenta de manera directa o indirectamente en el ambiente donde se encuentra el equipo [72]. Generalmente las cocinas solares vienen dadas por temas puntuales en cuanto a la ganancia o pérdida de calor siendo los siguientes:

Ganancia de calor:

- + Efecto invernadero dentro de la cocina
- + Orientación del cristal que produce la ganancia
- + Reflectores

Pérdidas de calor:

- + Conducción
- + Radiación
- + Convección

1.11.1 Ganancia de calor

a. Efecto invernadero dentro de la cocina

Este tipo de cocina presenta la facilidad de colocar una cubierta, para que exista una mayor concentración, debido a las propiedades que presenta el material y produce el efecto invernadero, en donde se debe presentar superficies transparentes que atraigan la capacidad calorífica y opacan la radiación térmica, para que el calor térmico sea inversamente proporcional a la potencia del equipo [73]. En la Figura 14, se describe el efecto invernadero dado por la captación de calor al interior de la cocina solar tipo horno, consiguiendo aumentar las temperaturas de cocción, siendo resultado del calor que se produce por la presencia de espacios cerrados, en la incidencia que tienen ante el sol [74].

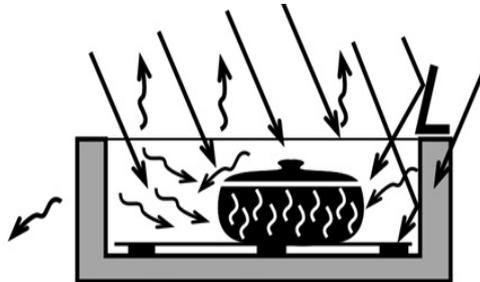


Figura 14. Efecto invernadero [74]

b. Orientación del cristal que produce la ganancia

En las cocinas se pueden añadir vidrios como elementos que elevarán la eficiencia del sistema, se toma en cuenta la orientación del vidrio, este no debe interrumpir el paso de la luz solar visible. Generalmente los vidrios son usados en cocinas de tipo horno, aquí el vidrio debe sellar fugas de calor y la ganancia de calor que este brinda es directamente proporcional a la exposición directa del vidrio hacia la posición del sol [75].

En la figura 15, se describe la orientación posible que puede recibir el cristal, también se hace énfasis en la cobertura que aumenta la ganancia de calor, sin embargo, no se deja de tomar en cuenta la mayor área que se debe cubrir y la pérdida de calor que conlleva [74].

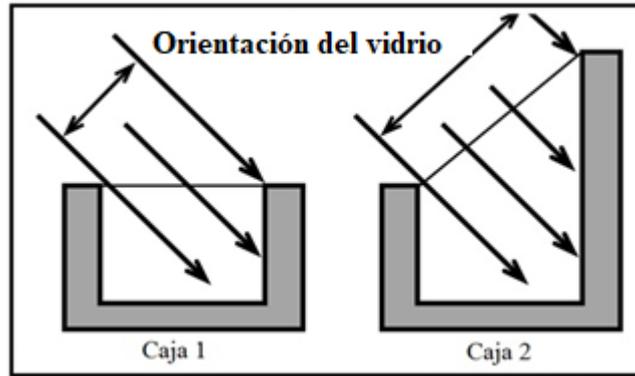


Figura 15. Orientación del vidrio [74].

c. Reflectores: la reflexión en general, absorbe de manera general los rayos solares para concentrarlos en un punto deseado, esto ayuda a la concentración solar de nuestra cocina. En casos como la parabólica, cilindro parabólico, las cocinas basan su funcionamiento en reflexión hacia un punto focal. El ingreso calorífico que se tiene gracias a los reflectores se da por el área de apertura que presenta el dispositivo, donde la radiación se enfoca a una superficie o área determinada, la misma será lugar de la concentración energética para el fin deseado [76].

1.12 Transferencia de calor en cocina solar

Los estados fuera de equilibrio que presenta el sistema, brinda la capacidad de calcular áreas, tiempos y flujos transferidos. La diferencia de temperatura entre los cuerpos que actúan en la puesta en marcha de la cocina solar determina que la cocina solar en las 3 principales formas de transferir calor, presente pérdidas de calor en la ganancia de calor originariamente obtenida a partir de la recolección de radiación [77].

1.12.1 Pérdidas de calor

a. Conducción

Comprendemos como la interacción de las partículas entre un par de cuerpos directamente en contacto, la energía se transfiere de uno a otro. Geométricamente la incidencia sobre este fenómeno es directa, junto con el material que formen al cuerpo. Siendo estas dependencias claras, podemos determinar la rapidez con que se da la transferencia de calor de manera completa [78].

b. Convección

La presencia de un fluido y un sólido da paso a la convección, el contacto que presentan entre estos dos, debe ser basado en la diferente temperatura que llevan entre ellos. La velocidad del fluido sea de manera forzada o natural da lugar para usar la Ley de Enfriamiento de Newton [78], transfiriendo calor netamente por la diferencia de temperaturas desde la pared, el fluido de trabajo y el entorno superficial.

c. Radiación

Físicamente se entiende como la transición de energía como ondas electromagnéticas que viajan a la velocidad de la luz, evitando depender de un medio de propagación. Básicamente es la transferencia principal de calor, para dar lugar a la transformación de energía en moléculas, átomos y electrones de las sustancias y elementos conformantes del proceso experimental [78]. En la figura 16, se observa los distintos métodos de transferencia de calor en una casa [79].

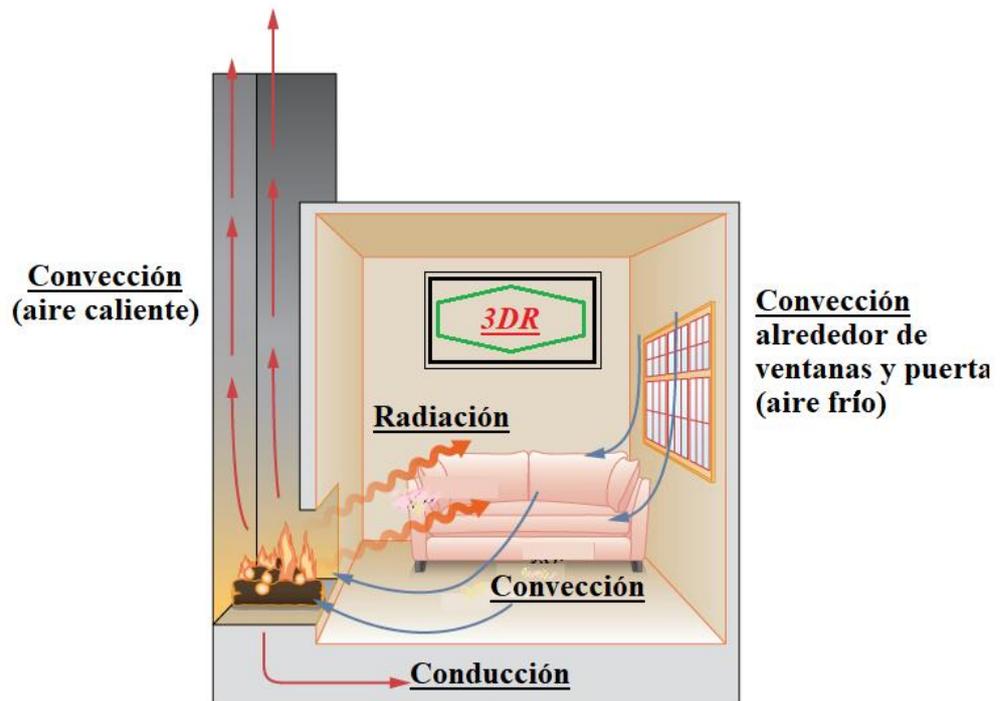


Figura 16.. Propagación de calor [80]

1.13 Materiales

La energía solar debe ser transformada para su implementación en cocinar alimentos y en otros sistemas, es importante considerar: el diseño del sistema a construirse, el tipo de colectores solares, al ser el componente fundamental para alcanzar la temperatura requerida [33]. El modelo básico de cocina solar tipo caja tiene una cubierta superior con una cara interna para su reflexión [81]. Este material reflectivo mayormente puede ser placas de aluminio u otros aceros, como inoxidable, dulce galvanizado, o incluso espejos y plásticos [57].

Para realizar el diseño de la cocina solar, es necesario conocer varios materiales reflectantes ya que la reflectancia del material relaciona el flujo de energía solar, reflejado en la superficie con relación a la radiación incidente [82]. En la Tabla 3, se muestra los coeficientes de reflectancia de algunos materiales.

Tabla 3. Reflectancia especular de varios materiales [83].

Materiales	Psi
Acero dulce	0.58
Acero cromado	0.54
Acero dulce galvanizado	0.64
Aluminio comercial	0.74-0.85
Aluminio puro	0.89
Cobre pulido	0.82
Duraluminio	0.55
Fibra de vidrio Aluminizada	0.92
Níquel, pulido	0.6
Plata	0.93-0.95
Plateado de vidrio	0.88
Vidrio aluminizado	0.76-0.80
Zinc, pulido	0.54

La especularidad [84] es el valor de flujo de radiación que está reflejando netamente en la superficie reflectora y el mismo ángulo que el rayo de luz solar.

1.14 Ventajas y desventajas de colectores solares

1.14.1 Ventajas de los colectores solares

La reducción que existe en los gastos por las actividades que genera la electricidad, el gas y combustibles con resultados similares, que brinda la concentración térmica es representativo y genera un incentivo económico grande [85]. Además, la inversión que se realiza genera una amortización de forma casi inmediata con el ahorro de energía, acorde a la operación, instalación y tecnología con que se genera el proyecto, junto a ellos se agrega valores ambientales tales como la no emisión de gases nocivos. Todas estas características generan un valor superior en el inmueble donde son instalados por la independencia que se gana ante proveedores de energía externa [86].

1.14.2 Desventajas de los colectores solares

Aunque las ventajas son muy amplias, puntuales y de gran ayuda, existen desventajas que van de la mano con la afectación económica, al ser una tecnología con inversión inicial alta, acompañada de la intermitencia que la irradiación del sol genera, al no ser constante la presencia de la misma en el ambiente [54], es decir es útil para el momento en que las condiciones sean favorables, pero cuando no lo sean existe una única solución, de acompañar la concentración solar de almacenamiento energético, lo cual eleva precios y estudios [38].

1.15 Análisis de alternativas de cocinas solares

El principal objetivo de un análisis de alternativas es establecer un objetivo principal del proyecto, seleccionando los medios posibles que la industria nos pueda brindar. En éste, se selecciona los más adecuados para presentar un cambio que lleve consigo solucionar el problema central del proyecto, siendo: las afectaciones sociales, el ámbito económico, constructivo, mantenimiento del equipo presentado, tiempo de ejecución, entre otras [87].

1.15.1 Identificar necesidades

En el pasado las fuentes energéticas han creado problemas y dificultades medio ambientales. Ante esta situación se han desarrollado nuevas tecnologías, como las cocinas solares. Las cuales, de manera global han ofertado una manera simple de cocinar los alimentos, requieren de una nula participación de combustibles fósiles o aportes de calor con daños ambientales. Al pasar del tiempo, han presentado

dificultades en el desarrollo de esta tecnología que se genera necesidades y se argumentan a continuación [88].

- + Facilidad de manejo
- + Temperaturas alcanzables
- + Riesgo de incendio
- + Mantenimiento
- + Facilidad de construcción
- + Limpieza del equipo
- + Precio

1.15.2 Argumentaciones de las necesidades para identificar la cocina solar más adecuada

a. Facilidad de manejo: la operación de las cocinas solares debe ser lo más sencillo posible, debido a que es una tecnología que se basa en el fácil uso y manejo, generalmente hablando el principio base en cualquier modelo, se basa en el aprovechamiento del sol.

b. Temperaturas alcanzables: las temperaturas alcanzables son indispensables, puesto que las cocinas de acuerdo con la zona de aplicación y esta se utiliza para freír, cocinar o incluso pasteurizar [89].

c. Riesgos de incendio: en la construcción de cocinas solares y su desarrollo histórico se ha tomado en cuenta situaciones como: aislamientos de calor, focos de concentraciones mejorados y otras optimizaciones que hacen a una cocina más inflamable.

d. Mantenimiento: el reemplazar piezas, limpieza o mejoras en el funcionamiento al pasar del tiempo, hace que cualquier cocina sea más eficaz, facilitando al usuario ser más independiente y no hacer al equipo obsoleto.

e. Facilidad de construcción: la construcción es relevante, debido a que día a día se propone en la industria que los instrumentos y equipos sean armables, ejecutables por quienes los adquieren, facilitando su movilidad o cambio de zona de aplicación [90].

f. Limpieza del equipo: en todo equipo industrial, convencional o casero, la limpieza va dada por el operario, su personalidad y la base de un buen ambiente de trabajo. Haciendo así un requisito, la facilidad de poder limpiar el equipo luego de haber ocupado el mismo.

g. Precio: es un factor directamente proporcional al tema de construcción del equipo, materiales a ocuparse, mejoramientos que lleven y sencillez de construcción sin dejar de lado la eficacia de la cocina.

1.16 Alternativas de solución

Las alternativas presentadas en el tema de selección vienen dadas por diferentes prototipos y la descripción de cada cocina que se ha presentado en este documento con los diferentes modelos, usos, ventajas y desventajas de las cocinas solares, una vez obteniendo la información necesaria se establece tres alternativas de cocinas las cuales de describen a continuación:

- + Cocina de caja
- + Cocina parabólica
- + Cocina cilindro – parabólico

1.16.1 Método cuantitativo de selección

Los métodos cualitativos, cuantitativos son aplicativos para selección de opciones de soluciones a distintas necesidades, cuando se presenta una o más opciones de equipo para esta aplicación. La calificación que se tiene es basada en: escenarios experimentales, comportamientos, aproximaciones deductivas, perspectiva realista, entre otras situaciones que son establecidas en investigaciones, desarrollo y publicaciones ya desarrolladas, investigadas anteriormente [91].

La selección de la cocina solar será realizada con una matriz de análisis, dicha matriz se usará una puntuación numérica como se indica en la Tabla 4, donde se califica con valores que va de 7 a 10, estableciendo los valores de calificación:

- + Excelente: 10
- + Muy buena: 9
- + Buena: 8
- + Mala: 7

Tabla 4. Cuadro de selección de mejor alternativa de cocina solar.

Alternativas	Necesidades							Valoración global	Valoración porcentual (%)
	Temperatura alcanzada	Facilidad de operación	Riesgo de incendio	Mantenimiento	Facilidad de construcción	Economía			
Cocina de caja	7	8	8	8	9	9	49/60	81.67	
Cocina parabólica	9	8	7	8	7	9	48/60	80	
Cocina cilindro-parabólico	8	9	9	9	8	9	52/60	86.67	

Elaborado por: Rene Tarco y Jefferson Gordon

La Tabla 5 detalla el argumento de la necesidad para la elaboración del siguiente proyecto.

Tabla 5. Argumentos de la necesidad para el proyecto.

Necesidades	Argumento
Automatización	Obtención de un proceso eficaz.
Facilidad de operación	La manipulación de la cocina no será un problema para el operador.
Facilidad de mantenimiento	Un correcto mantenimiento evitará problemas en el equipo.
Tamaño	Existe una gran importancia debido a que se debe analizar la eficiencia de la cocina acorde a su tamaño.
Control de parámetros	Los parámetros deben ser tolerables y manejables para construcción como prototipo.

Elaborado por: Rene Tarco y Jefferson Gordon

Una vez que se ha realizado la selección, se establece como la mejor opción de diseño la cocina cilindro-parabólico ya que presenta mejor calificación global y porcentual al momento de concentrar energía solar, según estudios alcanzando una temperatura superior a 200 °C y esto beneficia para el uso en la cocción de alimentos.

En el presente Capítulo 1, se realiza una investigación teórica que existe con relación a la contaminación ambiental, generado por la utilización de combustibles provenientes de fuentes fósiles como es el gas, carbón y petróleo que son los combustibles que tienen mayores emisiones de gas de CO₂, especialmente en los sectores industriales [20]. La mayoría de los países buscan la mejor alternativa de prevenir el calentamiento global y buscan métodos de uso de la energía sostenible y renovable como la energía solar.

También se presenta el uso de la energía solar que es emitida a diario, este tipo de energía que se ha convertido en un recurso más importante en el mercado mundial [7], debido a su bajos costos y mayor potencial en la creación de la energía limpia, y que no afecte al medio ambiente, la generación de esta energía es utilizada para obtener agua caliente de uso doméstico, como también el uso en sistemas de calefacción de espacios de reunión, la utilización en sistemas de aire acondicionado y la cocción de alimentos.

Las opciones de aplicación para la energía solar presentan diferentes clases de colectores solares que se utilizan para el almacenamiento de la energía, donde su principal función consiste, en que las superficies que reflejan la radiación solar en un área notable reflejen a un punto focal almacenado esa energía. Además de destacar las diferentes metodologías que existen, partiendo de la demanda energética térmica en el proceso que se va a trabajar, esto hace que sea posible de plantear diferentes diseños de concentradores de forma óptima, así evitando las posibles pérdidas de energía en dicho colector solar.

CAPÍTULO II

ECUACIONES Y PRINCIPIOS DE TRASFERENCIA DE CALOR UTILIZADOS PARA LA OBTENCIÓN DE DATOS DE LA ENERGÍA SOLAR EN LA COCCIÓN DE ALIMENTOS

En este capítulo se presentan soluciones, para que el concentrador cilindro parabólico tenga una posición correcta para la cocción de alimentos, teniendo en cuenta varios factores principales, que se relacionan a la rotación terrestre y su desplazamiento alrededor del sol, la velocidad con la que llega el sol a la tierra, los ángulos de posición de la tierra, la declinación solar o el ángulo con que los rayos solares que llegan.

2.1 Balance térmico utilizando la radiación solar

El sol proporciona energía al planeta, por lo que se presenta un balance térmico donde las cantidades de energía debe ser equivalentes. Si el balance de energía no fuese el correcto, se presentaría un desequilibrio total, haciendo que la tierra se enfríe o se caliente paulatinamente. Estos casos se presentan de manera descontrolada, ocasionando emisiones y calentamiento global [30].

La atmósfera terrestre recibe aproximadamente $1367 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$ de radiación solar, conocido como el parámetro de insolación o constante solar [68].

Esta cantidad es dividida para cuatro, ya que, la esfera terrestre no se encuentra expuesta completamente tan solo la mitad, obteniendo un promedio de la radiación incidente promedio de $342 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$, este valor último se presenta con los siguientes valores promedio:

- $77 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$ (22 %) es la radiación que regresa de nuevo a la atmósfera
- $67 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$ (21 %) es captada por la atmósfera
- $197 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$ (58 %) cruza la atmósfera e incide sobre la superficie del planeta, se divide en dos y el 29% llega como radiación difusa y directa que llega sin interferencia [49].

2.2 Dirección de la radiación solar

Se entiende como la dirección del sol con respecto a la tierra, es decir, la traslación terrestre respecto del sol y que esta a su vez rota en su propio eje [92]. En la figura 17,

se observa la ubicación y alineamiento de la tierra en los solsticios y equinoccios, además la declinación entre estas ubicaciones.

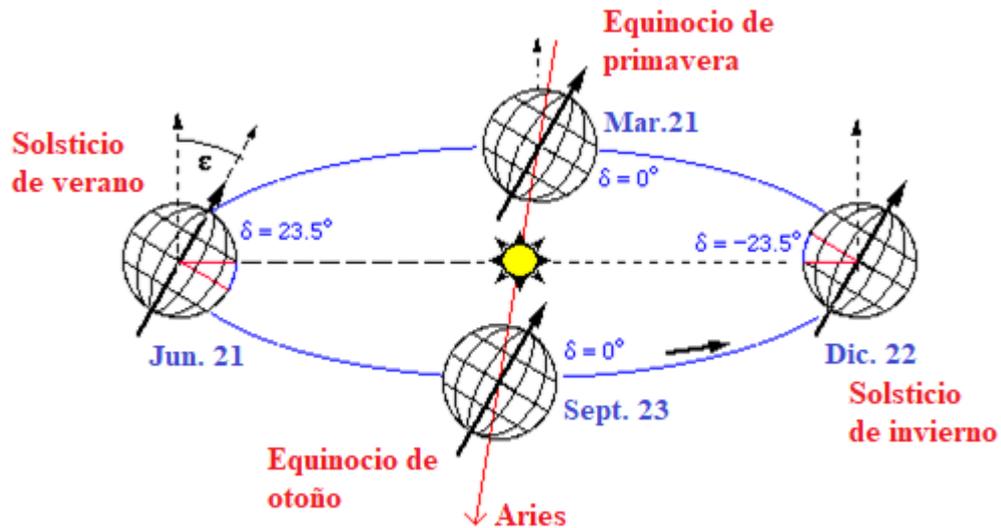


Figura 17. Movimiento aparente del sol, trayectoria de equinoccios y solsticios [92]

El ángulo de declinación, es el ángulo formado por los rayos del sol hacia los extremos del Ecuador, norte-sur [62], también llamado plano ecuatorial. Permite entender la trayectoria del sol en el transcurso del año. La declinación solar se calcula mediante la ecuación [93].

$$\delta = 23.45^\circ \cdot \text{sen} \left[\frac{360(284 + d)^\circ}{365} \right] \quad (1)$$

Donde:

δ: Ángulo de declinación en grados sexagesimales.

d: Día del año.

Entre el sol y nuestro planeta no existe una distancia constante ya que varía durante todo el año, en el solsticio de verano la distancia es de 152.1×10^6 km el 21 de junio, donde el sol se ubica al Norte de la tierra [50]. En el solsticio de invierno en cambio tiene una distancia de 147.1×10^6 km el 22 de diciembre, en donde el sol se posiciona al Sur respecto al planeta [62].

2.2.1 Hora solar (hs)

Cuando el sol está en la elevación máxima son las 12:00, es la hora referente a un día solar, en donde a se lo relaciona con la hora de la ubicación (h_l) con la siguiente ecuación:

$$h_s = h_l + E - 40(mim) \quad (2)$$

Donde:

h_l : Hora local.

E : Factor de corrección.

Este factor E relaciona la diferencia entre el meridiano de quien lo observa, con el meridiano donde se tomó la hora [94], para hallar este valor se utiliza la ecuación:

$$E = 9.87 \cdot \sin(2 \cdot B) - 7.53 \cdot \cos(B) - 1.5 \cdot \sin(B) \quad (3)$$

$$B = \left[\frac{360 \cdot (d - 81)}{364} \right] \quad (4)$$

2.3 Insolación geográfica del planeta

Para determinar la insolación geográfica de cualquier ciudad, se toma en cuenta la siguiente ecuación, para obtener con precisión la magnitud de la radiación, en cualquier ubicación [94] mediante:

$$I = G_o \left[0.29 \cdot \cos \theta + 0.52 \cdot \frac{n}{N} \right] \quad (5)$$

Donde:

I : Radiación solar en cualquier punto de la tierra, [$W \cdot m^{-2}$].

G_o : Constante solar de radiación incidente en la atmósfera, [$1353 W \cdot m^{-2}$].

$\cos \theta$: Ángulo de latitud de la ubicación,

0.29 y 0.52 son valores obtenidos de manera experimental que corrigen la radiación que incide, con respecto a la radiación solar dispersa en la atmósfera [95].

n : Horas útiles de sol por día.

N : Horas útiles de sol por día en el Ecuador.

2.4 Proporción de concentración

Para el colector cilindro parabólico los canales concentran la luz solar, estos colectores rastrean el sol de Este a Oeste cuando hay radiación solar, permitiendo que esté continuamente enfocado a la superficie del colector [28]. Para hallar la razón de concentración según Ettami et al [67], se basa en el concepto de área, el cual se expresa como:

$$C_R = \frac{A_a}{A_r} \quad (6)$$

Donde:

C_R : Relación de concentración.

A_a : Área de apertura, [m²].

A_r : Área del receptor, [m²].

Físicamente, hay tres diferentes formas de transportar el calor que se producen de manera natural, que son: el transporte de calor de acuerdo con la convención, la conducción y la radiación. Para determinar el área de apertura se requiere la siguiente ecuación [17]:

$$A_a = l \cdot w \quad (7)$$

Donde:

l : Longitud del colector cilíndrico parabólico, [m].

w : Ancho de apertura del canal parabólico, [m].

2.5 Balance de energía en la superficie del recipiente

Para determinar el calor ganado, es necesario definir el valor que incide en el receptor, que contiene el recipiente. Sin embargo, la investigación plantea obtener información extra del calor transferido al colector y desde él. Entonces, un balance de energía permite obtener la energía almacenada del sistema con la siguiente ecuación [58].

$$\Delta E = \sum E_{en} - \sum E_{sal} \quad (8)$$

Donde:

E_{en} : Energía que entra al sistema, [kJ].

E_{sal} : Energía que sale del sistema, [kJ].

ΔE : Energía total del sistema, [kJ].

Esta ecuación dividiendo por un delta tiempo se tiene.

$$\sum \dot{Q}_{en} - \sum \dot{Q}_{sal} = \frac{\Delta E}{\Delta t} \quad (9)$$

Donde:

\dot{Q}_{en} : Potencia de entrada.

\dot{Q}_{sal} : Potencia de salida.

ΔE : Cambio de energía interna del sistema, esta misma ecuación escrita de otra manera se convierte en la siguiente ecuación [96].

$$\sum \dot{Q}_{en} - \sum \dot{Q}_{sal} = (m_p c_p + m_w c_w) \frac{dT}{dt} \quad (10)$$

Donde:

m_p y m_w : Masa de agua a ser calentada, [kg].

c_p y c_w : Calor específico de esta masa (fluido y recipiente), [kJ/kg K].

dT : Diferencia de temperatura

dt : Tiempo.

En el balance de energía se debe considerar que, el sistema es estacionario con masa fija, no tiene influencia la velocidad del fluido de trabajo o el diferencial de alturas, por lo que el desplazamiento del fluido en el proceso de calentamiento no influye [97]. El fluido de trabajo es agua en estado líquido inicialmente a temperatura ambiente [T_{∞}]. Es común iniciar un proceso de cocción con agua, por lo que se ha establecido analizar este fluido.

Energía solar disponible

La energía solar disponible en un colector cilindro parabólico, es el producto del área de apertura A_a y la irradiación solar Q_b , como se muestra en la siguiente ecuación [98].

$$Q_s = A_a \cdot G_b \quad (11)$$

Para la producción del calor útil Q_u del colector se calcula mediante el balance energético en el volumen de fluido.

$$Q_u = m \cdot C_p (T_{out} - T_{in}) \quad (12)$$

2.6 Evaluación de rendimiento del colector cilindro parabólico

Es conocer la eficiencia óptica, la eficiencia teórica y la eficiencia experimental del sistema, para evaluar el rendimiento del colector cilindro parabólico.

2.6.1 Eficiencia óptica

Relación que la energía solar incidente en superficie del tubo absorbente tiene con la que cae en la superficie reflectante [1], se puede calcular utilizando la siguiente expresión [99].

$$\eta_o = \rho_c \alpha_r \gamma \left[(1 - A_f \tan \theta) \cos \theta \right] \quad (13)$$

Donde:

η_o : Eficiencia óptica, [Adimensional].

ρ_c : Reflectancia especular media del reflector, [Adimensional].

α_r : Absorción del receptor, [Adimensional].

γ : Factor de intercepción instantánea (facción de rayos que caen sobre la apertura del receptor para el ángulo de incidencia específico), [Adimensional].

A_f : Factor geométrico, [Adimensional].

θ : Ángulo de rayos solares incidentes, [°].

La ecuación también fue utilizada por Gama et al. [99] diseñando y presentando un sistema con seguidor solar, con desplazamiento del absorbedor para colectores cilindro-parabólicos.

Reddy y Ananthsoornaraj [94] definen como la relación de la energía que el sistema ha absorbido mediante el tubo absorbente y la energía recibida por el colector [99]:

$$\eta_o = \frac{Q_{s,a}}{Q_s} \quad (14)$$

En donde la eficiencia óptica depende de diferentes parámetros;

$$\eta_o = \alpha \left[\rho_c \cdot \gamma \cdot \tau_g \cdot \alpha_{abs} \right] \cdot IAM \cdot L_{end} \quad (15)$$

Donde:

IAM: Modificador del ángulo de incidencia.

L_{end} : Fin de la pérdida del colector, [m].

Para calcular la distancia L_{end} que es la parte del colector que no está cubierta por la radiación del sol, se estima con la siguiente ecuación.

$$L_{end} = 1 - \frac{f \cdot \tan \theta}{L_{abs}} \quad (16)$$

Donde:

f : Distancia focal, [m].

L_{abs} : Longitud del colector, [m].

θ : Ángulo de incidencia, [°].

2.6.2 Eficiencia térmica

Para Reddy y Ananthsoanaraj [94] la eficiencia térmica instantánea es la relación del calor almacenado y el calor ganado del sistema, en donde la eficiencia térmica instantánea de un colector cilindro parabólico se representa por la siguiente ecuación.

$$\eta_{ins} = F_R \left[\eta_o - U_L \left(\frac{T_{f,i} - T_{amb}}{CR \cdot I_b} \right) \right] \quad (17)$$

Donde:

F_R : Factor de eliminación de calor.

η_o : Eficiencia óptica

I_b : Irradiación normal directa, [$W \cdot m^{-2}$].

T_{amb} : Temperatura ambiente, [K].

$T_{f,i}$: Temperatura final de la salida del colector, [K].

Según Bellos, Tzivanidis y Tsimpoukis [98], la eficiencia térmica de un colector es la producción de calor útil (10) con respecto a la irradiación solar y expresan la siguiente ecuación.

$$\eta_{th} = \frac{Q_u}{Q_s} \quad (18)$$

2.6.3 Eficiencia teórica

Es la porción de energía que contribuye al aumentar la temperatura del fluido que circula por el colector, para hallar este valor se utiliza la siguiente ecuación utilizadas por Muhammad et al. [19].

$$\eta = Q_r = \left[\eta_o - \frac{Q_l (T_{f,in} - T_o)}{C \cdot DI} \right] \quad (19)$$

Donde:

Q_r : Factor de eliminación de calor, [Adimensional].

Q_l : Factor de calor perdido por el colector, [$W \cdot m^{-2} K^{-1}$].

$T_{f,in}$: Temperatura de entrada del fluido, [K].

T_o : Temperatura de salida del fluido, [K].

C : Relación de concentración, [Adimensional].

DI : Irradiación directa, [$W \cdot m^{-2}$].

2.6.4 Eficiencia experimental

Para determinar la eficiencia al realizar la demostración, se utiliza la ecuación en cualquier instante que se esté trabajando.

$$\eta_c = \frac{Q_f}{Q_{rad,ca}} = \frac{m c_p (T_{fo} - T_{fi})}{DNI \cdot \eta_o \cdot A_{ap}} \quad (20)$$

Donde:

Q_f : Contenido de calor por el fluido, [W].

$Q_{rad,ca}$: Transferencia de calor de radiación del cielo al receptor, [W].

\dot{m} : Flujo másico del fluido, [$kg \cdot s^{-1}$].

C_p : Calor específico, [$kJ \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1}$].

T_{fo} : Temperatura del fluido a la salida, [K].

T_{fi} : Temperatura del fluido a la entrada, [K].

DNI: Incidencia normal directa, [$W \cdot m^{-2}$].

A_{ap} : Área del canal de apertura, [m^2].

η_o : Eficiencia óptica.

2.7 Métodos de transferencia de calor

Los modelos matemáticos presentados en esta sección abordan diferentes métodos de transferencia de calor que existe entre el sol y el colector cilindro-parabólico, los métodos de transferencia de calor a ser analizados, conducción, convección y radiación, se presentan en este estudio del sistema cilindro-parabólico. La figura 18 esquematiza la red térmica de un colector cilindro-parabólico.

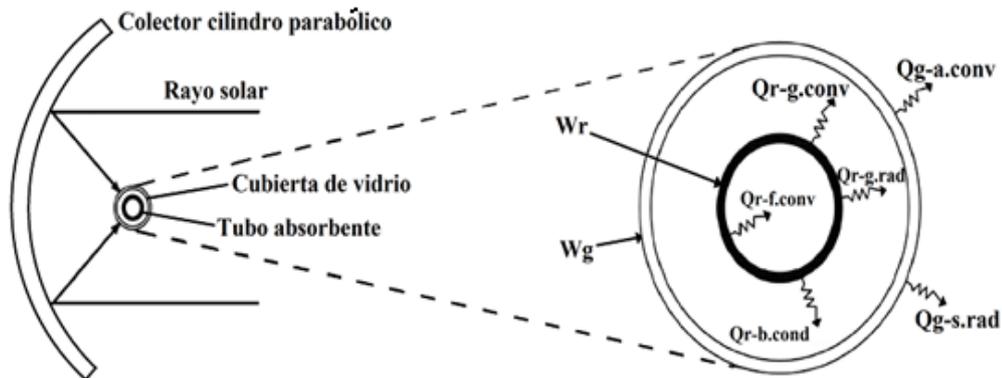


Figura 18. Esquema de transferencia de calor de una sección transversal de un colector cilindro-parabólico [46]

La radiación solar suministra energía solar térmica para un elemento de recolección de calor, en la figura 18 se presenta el funcionamiento del sistema, la temperatura comienza a subir a medida que el tubo absorbente absorbe la energía solar W_r que es reflejada por el espejo (colector).

Bajo el efecto de diferencia de temperatura, el tubo absorbente intercambia calor con el fluido de trabajo por convección forzada $Q_{r-f.conv}$ con la envoltura de vidrio por convección $Q_{r-g.conv}$ y radiación $Q_{r-g.rad}$.

Además, el tubo absorbente pierde calor al ambiente por conducción $Q_{r-b.cond}$ en la unión con los soportes en donde está sostenido el tubo. La cubierta de vidrio también absorbe la radiación solar W_g , aunque la capacidad de absorción del vidrio es pequeña. Junto con el calor transferido desde el absorbente, el tubo de vidrio pierde calor al aire circundante por convección $Q_{g-a.conv}$ y al cielo por radiación $Q_{g-s.rad}$. [84]

En la figura 19, se observa cómo está compuesta la red de resistencias térmicas del colector.

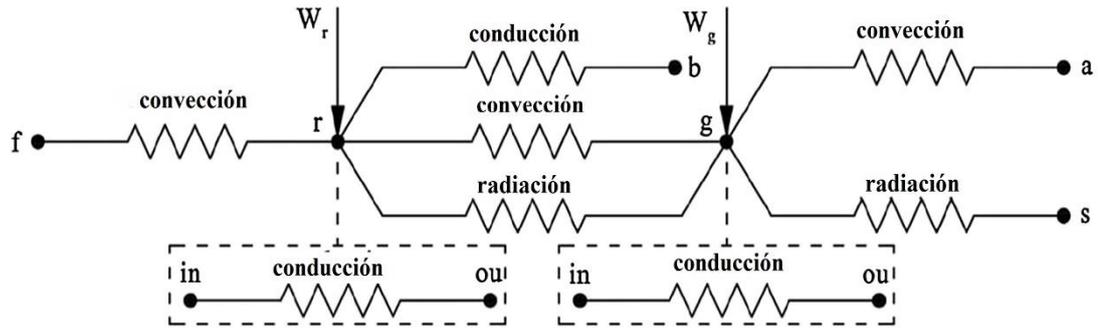


Figura 19. Esquema de una red de resistencias térmicas del colector [46]

La figura 19 presenta la red de resistencias térmicas que tiene el colector en sus diferentes puntos, los cuales se detalla a continuación:

En los nodos $f-r$ se presenta la transferencia de calor convectivo del fluido y la superficie interna del absorbedor, generalmente se calcula mediante la Ley de Enfriamiento de Newton [100], la cual se describe más adelante.

En los nodos $r-g$ se observa la transferencia de calor convectivo de la superficie del tubo exterior con el absorbente y el interior del tubo de vidrio. De la misma manera en los mismos nodos, existe la transferencia de calor por radiación ya que se hace suposiciones para simplificar tanto el vidrio, como los revestimientos selectivos que son grises, el vidrio es opaco o la radiación infrarroja.

En el nodo $r-b$ existe la transferencia de calor conductivo por los soportes que se utilizan para mantener el receptor de la línea focal equilibrado al colector cilindro parabólico los cuales se instalan en un extremo del receptor.

La transferencia de calor convectivo en la superficie exterior sobre la cubierta de vidrio y el ambiente se presenta en el nodo $g-a$. La convección se fuerza cuando hay viento.

La transferencia de calor mediante radiación para el nodo $g-s$ se debe a la diferencia de temperatura entre la superficie de vidrio y el entorno. Se supone que el tubo de vidrio es un pequeño objeto gris convexo en una gran cavidad de cuerpo negro (el cielo).

En la resistencia $in-out$ se presenta la transferencia de calor conductivo e la superficie interior y exterior del tubo (absorbente o vidrio).

- Colector solar-parabólico: radiación
- Colector parabólico-envolvente de vidrio: radiación
- Envolvente de vidrio-tubo receptor: radiación + convección + conducción
- Tubo receptor-fluido o alimentos: convección
- Colector parabólico circundante: radiación + convección
- Envolvente de vidrio: entorno: radiación + convección

2.7.1 Conducción

Transferencia de calor de partículas con mayor energía, de un medio dirigido a otro con menor cantidad, interacción descrita por la Ley de Fourier de la conducción de calor [16] con la siguiente ecuación [77]:

$$\dot{Q}_{cond} = -kA \frac{T_1 - T_2}{\Delta x} \quad (21)$$

Donde:

k: Conductividad térmica.

T₁ y T₂: Diferencial de temperaturas.

Δx: Espesor.

A: Área.

El flujo de calor conductivo en un medio está en función de su geometría, espesor y material con el que está construido [61]. Las pérdidas de calor del contenedor se reducen al ser cubierto con un aislante, como fibra o lana de vidrio o incluso poliuretano [97].

2.7.2 Convección

Transferencia de energía desde superficie hacia el líquido que se desplaza, resultando equivalente a la diferencia de temperaturas, expresada de forma conveniente por la Ley de Enfriamiento de Newton [60] que se presenta en la siguiente expresión [77].

$$\dot{Q}_{conv} = hA_s(T_s - T_\infty) \quad (22)$$

Donde:

h: Coeficiente de transferencia de calor convectivo, [W·m⁻²·°C].

A_s: Área donde tiene lugar la transferencia de calor.

T_s : Temperatura superficial, [°C].

T_∞ : Temperatura del fluido, [°C].

2.7.3 Radiación

Proceso volumétrico para absorber o transferir radiación mediante la emisión de los sólidos, líquidos y gases en diferentes grados [29]. Este flujo de radiación emitido de una superficie a una temperatura se expresa por la Ley de Stefan-Boltzmann [57] en la siguiente ecuación [101].

$$\dot{Q}_{rad} = \varepsilon \sigma A_s (T_s^4 - T_\infty^4) \quad (23)$$

Donde:

ε : Emisividad de la superficie, [$0 < \varepsilon < 1$].

σ : Constante de Stefan-Boltzmann, [$5.67 \times 10^{-8} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^4$].

T_s : Temperatura superficial del tubo, [K].

T_∞ : Temperatura ambiente, [K].

2.8 Conducción de calor en cilindros

Temperaturas dentro o fuera del tubo, si estas permanecieran con valor constante, el calor por radiación a lo largo del tubo sería estacionario y aquella transferencia se consideraría como estacionaria o unidimensional [13].

Cuando se tiene un cilindro largo como un tubo circular, la temperatura de la capa cilíndrica se mantiene constante, para encontrar el valor de calor conductivo en cilindros se obtiene mediante:

$$\dot{Q}_{cond,cil} = \frac{T_1 - T_2}{R_{cil}} \quad (24)$$

Para hallar R_{cil} que es la resistencia térmica del cilindro se calcula de la siguiente manera [97]:

$$R_{cil} = \frac{\ln(r_2 / r_1)}{2\pi Lk} \quad (25)$$

Donde:

R_{cil} : Resistencia térmica del cilindro contra la conducción de calor

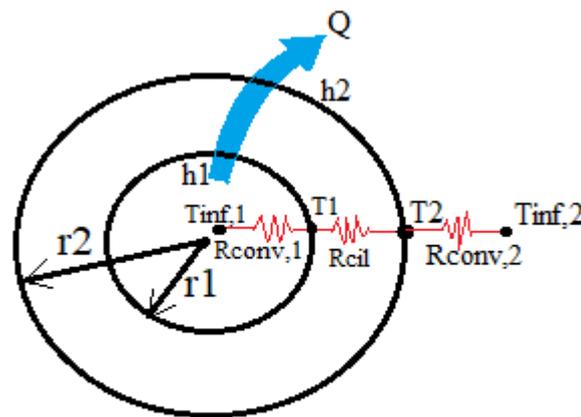
r_2 : Radio exterior.

r_1 : Radio interior.

L : longitud.

k : conductividad térmica del material.

Al considere un flujo unidimensional de calor estacionario, por una capa cilíndrica, donde hay convección en toda dirección hacia los fluidos, a temperaturas $T_{\infty 1}$ y $T_{\infty 2}$, con coeficientes convectivos h_1 y h_2 , respectivamente, ilustrado en la Figura 20.



$$R_{total} = R_{conv,1} + R_{cil} + R_{conv,2}$$

Figura 20. Red de resistencias térmicas en un cilindro [77]

Para la situación analizada, la red de resistencias térmicas tiene una resistencia conductiva y dos convectivas enlazadas en serie. Por lo que, el flujo de calor, considerando condiciones estacionarias se expresa con la siguiente ecuación [77].

$$\dot{Q} = \frac{T_{\infty 1} - T_{\infty 2}}{R_{total}} \quad (26)$$

Donde:

$$R_{total} = R_{conv,1} + R_{esf} + R_{conv,2} \quad (27)$$

Para hallar la resistencia total de una capa cilíndrica se utiliza la ecuación

$$R_{total} = \frac{1}{(4\pi r_1^2)h_1} + \frac{r_2 - r_1}{(4\pi r_1 r_2 k)} + \frac{1}{(4\pi r_2^2)h_2} \quad (28)$$

Donde:

$$R_{conv} = \frac{1}{hA} \quad (29)$$

A : Área superficial de convección, [m²].

h : Coeficiente convectivo.

En una superficie cilíndrica, el área se calcula de la siguiente manera.

$$A = 4\pi r^2 \quad (30)$$

Como se observa en la Figura 20, la vinculación de las resistencias térmicas es en serie, obteniendo una resistencia equivalente al sumar todas las resistencias.

El calor por radiación en tubos se obtiene a través de la siguiente ecuación [77].

$$Q_{rad} = \frac{\sigma \cdot A_s \cdot (T_s^4 - T_\infty^4)}{\frac{1}{\varepsilon_1} + \frac{1 - \varepsilon_2}{\varepsilon_2} \cdot \left(\frac{D_i}{D_o}\right)} \quad (31)$$

Donde:

D_o : Diámetro exterior del cilindro, [m].

D_i : Diámetro interior del cilindro, [m].

El coeficiente de transferencia de calor por radiación es obtenido como [77]:

$$h_{rad} = \varepsilon \cdot \sigma \cdot (T_s + T_\infty) (T_s^2 + T_\infty^2) \quad (32)$$

La resistencia térmica por radiación es dada como [77]:

$$R_1 = \frac{1}{h_{rad} \cdot \pi \cdot D \cdot L} \quad (33)$$

Donde:

D : Diámetro del cilindro, [m].

L : Longitud del cilindro, [m].

2.9 Análisis de sistemas concentrados

Al tratarse de cuerpos que se encuentran de forma arbitraria, se puede aplicar un estudio de sistemas concentrados, ya que el calor transferido del cuerpo con el entorno es lineal e internamente varía con el tiempo $T(t)$ [77].

Un ejemplo de los sistemas concentrados es que si se toma una bola que sale del horno se observará que la temperatura cambia con el tiempo, pero no varía mucho. Por lo tanto, se puede considerar que la temperatura del objeto se queda uniforme durante un tiempo considerando este valor sin alguna ubicación particular [57].

De la misma manera si se considera ahora un trozo de carne (freída) dentro del horno. La temperatura no es uniforme ya que el exterior estará cocinado y la parte central de la carne estará poco caliente. Entonces, no se puede aplicar el análisis de sistemas concentrados ya que su temperatura no permanece uniforme [102].

Un cuerpo de masa m , volumen V , Área superficial A_s y calor específico C_p se encuentran con una temperatura T_i , donde se presenta un flujo de calor entre el cuerpo y el entorno [68] y esta a su vez se encuentra a una temperatura T_∞ con un coeficiente convectivo h .

Mediante un balance energético del cuerpo para un diferencial de tiempo dt , es posible determinar una expresión para evaluar la temperatura del cuerpo $T(t)$ para cualquier instante de t [78].

$$\frac{T(t) - T_\infty}{T_i - T_\infty} = e^{-bt} \quad (34)$$

Donde:

$T(t)$: Temperatura dependiente del tiempo, [K].

T_∞ : Temperatura ambiente, [K].

T_i : Temperatura inicial, [K].

b : Exponente recíproco del tiempo, [1/s].

Para encontrar el exponente recíproco del tiempo se expresa la siguiente ecuación, que es una magnitud positiva dimensionada como $(\text{tiempo})^{-1}$ [59]:

$$b = \frac{hA_s}{\rho V c_p} \quad (35)$$

Donde:

V : Volumen, [m³].

A_s : Área superficial, [m²].

ρ : Densidad

h : Coeficiente convectivo

Cuando se encuentre la $T(t)$ en para todo t , el flujo de calor convectivo, para ese instante, es obtenido a partir de la Ley de Newton de Enfriamiento presentado en la ecuación 22.

El calor total que se ha transferido y que se encuentra durante un intervalo de tiempo $t=0$ entre el cuerpo y el medio circundante se expresa con la siguiente ecuación

$$Q = mc_p [T(t) - T_i] \quad (36)$$

2.10 Número de Biot

Un criterio importante para analizar los sistemas concentrados es la determinación del número de Biot. Es resistencia interna del cuerpo al calor conductivo con relación a la resistencia externa del calor convectivo [71] y se define con la siguiente expresión.

$$Bi = \frac{hL_c}{k} \quad (37)$$

Donde:

h : Coeficiente convectivo, [W·m⁻²·K].

k : Conductividad térmica, [W·m·K].

L_c : Longitud característica, [m].

y se la define como:

$$L_c = \frac{V}{A_s} \quad (38)$$

Donde V es el volumen y A_s el área superficial.

Un valor de Biot pequeño indica resistencia mínima al calor conductivo, generando gradientes de temperatura no-significativos en el cuerpo [103]. Para analizar sistemas concentrados es aplicable si:

$$Bi \leq 0.1 \quad (39)$$

2.11 Flujo de calor transitorio

El análisis de calor conductivo en estado transitorio conlleva al cambio de la temperatura del cuerpo con respecto a la inicial T_i , en el entorno, donde la temperatura al final es T_∞ en estado transitorio. Entonces, el máximo flujo de calor que puede ganar o ceder cuando ($T_i > T_\infty$) es el balance energético del es [73]:

$$Q_{\max} = \rho V c_p (T_\infty - T_i) \quad (40)$$

Donde:

T_i : Temperatura inicial, [K].

T_∞ : Temperatura ambiente, [K].

Q_{\max} : Cantidad de flujo de calor máximo, [W].

V : Volumen, [m³].

ρ : Densidad, [Kg·m⁻³].

C_p : Calor específico, [J·Kg·K⁻¹].

Q_{\max} es el flujo de calor cuando la temperatura de un cuerpo se aproxima a la del entorno que lo rodea [22].

Las relaciones de temperatura adimensional consisten en aproximaciones en formas de cilindro, para obtener relaciones de transferencia de calor bajo diferentes configuraciones geométricas [77].

Para el análisis de calor transferido en un cilindro, se tiene que:

$$\left(\frac{Q}{Q_{\max}} \right)_{cil} = 1 - 2\theta_{0,cil} \frac{J_1(\lambda_1)}{\lambda_1} \quad (41)$$

Existen también tablas gráficas para identificar las relaciones, consisten en aproximar un término, en cada Q/Q_{max} , con cada Biot y para diferentes geometrías, paredes, cilindros o esferas [77]:

$$h^2 \cdot \alpha \cdot \frac{t}{k^2} \quad (42)$$

Donde:

λ : Valores característicos.

J_0, J_1 : Funciones de Bessel que se encuentra en la tabla del Anexo 1.

2.12 Soluciones aproximadas analítica, numérica y gráfica

La conducción transitoria unidimensional de calor en una pared plana en su solución mediante el método analítico contiene series infinitas y ecuaciones [77]. Pero existen métodos más fáciles para resolver estos sistemas, mediante tablas o gráficas.

Si se obtiene esta cantidad adimensional en una pared plana, es aplicable en la resolución de sistemas de forma de esfera o cilíndrica, al remplazar en la ecuación la coordenada x por r , además del espesor L por el radio externo r_o [104].

La longitud característica en el número de Biot es L en una pared plana y el radio r_o , en el caso de cilindros, a diferencia de V/A [97]. Solución aproximada numérica para un cilindro [28]:

$$\theta_{cil} = \frac{T(r,t) - T_{\infty}}{T_i - T_{\infty}} \quad (43)$$

$$\theta_{cil} = A_1 e^{-\lambda_1^2 \tau} J_0(\lambda_1 r / r_0) \quad (44)$$

Donde:

J_0, J_1 : Funciones de Bessel (ver anexo I).

$T_{(r,t)}$: Temperatura externa en la geometría cilíndrica.

2.13 Método de transferencia de calor en el sistema

2.13.1 Transferencia de calor del absorbedor

Se produce dos métodos para transferir calor del tubo absorbente como son: la transferencia de calor convectiva inducida y la transferencia de calor por radiación, del absorbente al cerramiento del vidrio y se lo calcula con la siguiente ecuación [105].

$$Q_{a-conv} = h_a \pi D_a (T_a - T_g) \quad (45)$$

2.13.2 Transferencia de calor del tubo de vidrio al medio ambiente

El calor transferido del tubo de vidrio al medio ambiente es por convección y radiación, en donde también existen pérdidas por convección, lo que es la convección natural, donde la velocidad del viento es cero y la convección forzada con una velocidad del viento considerable. Para lo cual Chandra et al. [105] investigan las pérdidas por convección con una velocidad del viento sustancial, para lo cual se expresa con la siguiente ecuación.

$$Q_{g-conv} = h_g \pi D_g (T_g - T_\infty) \quad (46)$$

Donde:

h_g : Coeficiente convectivo calculado mediante la ecuación:

$$h_g = \frac{Nu_g K_g}{D_g} \quad (47)$$

El número de Nusselt promedio con las velocidades del viento considerables se calcula mediante la siguiente correlación [104].

$$Nu_g = c Re_D^m Pr^\eta \left(\frac{Pr}{Pr_w} \right)^{0.25} \quad (48)$$

Para el estudio de Song y Zhou [106] establecen que, el coeficiente del vidrio al ambiente es circunferencialmente uniforme y se calcula con la siguiente correlación experimental.

$$h_g = 4V_g^{0.58} d_4^{-0.42} \quad (49)$$

Donde:

V_g : Velocidad del viento, [m/s].

d_4 : Diámetro exterior de la envoltura del vidrio, [m].

La velocidad del viento anual media es de 2.4 m/s, este valor se obtiene mediante datos meteorológicos locales.

2.13.3 Transferencia de calor por radiación de la superficie exterior del receptor a la envoltura

Behar y Mohammedi [36] en su estudio, establecen la siguiente ecuación para calcular el calor transferido entre el tubo absorbente y la envoltura de vidrio.

$$Q_{rad_{abs-covi}} = \frac{\sigma \pi D_{abs} (T_{abs}^4 - T_{covi}^4)}{\left[\frac{1}{\varepsilon_{abs}} + \frac{(1 - \varepsilon_{covi}) D_{abs}}{\varepsilon_{cov} D_{covi}} \right]} \quad (50)$$

Donde:

σ : Constante de Stefan-Boltzmann, [$W \cdot m^{-2} \cdot K^4$].

T_{covi} : Temperatura de la superficie interior de la envoltura del vidrio, [K].

ε_{abs} : Emisividad del recubrimiento del colector.

ε_{cov} : Emisividad de la envoltura del vidrio.

2.13.4 Transferencia de calor convectivo entre la superficie externa y el ambiente

Para calcular la energía que se pierde por la transferencia de calor convectiva del tubo receptor solar con el medio ambiente [85], se establece la siguiente ecuación.

$$Q_{cov-amb} = \pi Nu_{D_{covo}} K_{air} (T_{covo} - T_{amb}) \quad (51)$$

Donde:

D_{covo} : Diámetro exterior de la envoltura de vidrio, [m].

T_{covo} : Temperatura superficial de la envoltura exterior.

$Nu_{D_{covo}}$: Número de Nusselt considerando el diámetro exterior y depende del régimen de transferencia de calor convectivo.

Esto se relaciona utilizando la siguiente ecuación.

$$Nu_{D_{cov0}} = 0.48 Ra_{D_{cov0}}^{0.25} \quad (52)$$

Para el caso con viento

$$Nu_{D_{cov0}} = 0.193 Ra_{D_{cov0}}^{0.618} Pr_{cov0-amb}^{0.33} \quad (53)$$

Donde:

$Ra_{D_{cov0}}$: Número de Rayleigh para aire ambiente

$Pr_{cov0-amb}$: Número de Prandtl para aire ambiente evaluado:

$$\frac{(T_{cov0} + T_{amb})}{2} \quad (54)$$

2.14 Estimación de absorción de la energía solar

2.14.1 Energía solar absorbida por el tubo absorbente

Proponen la porción de la energía solar absorbida por la tubería absorbente y es obtenida por la ecuación.

$$Q_{sol,a} = I_b A_c \eta_o K(\theta) \quad (55)$$

Donde:

A_c : Área de apertura del espejo en el bucle.

I_b : Irradiación normal directa.

η_o : Eficiencia óptica máxima.

la cual se halla utilizando la ecuación 11.

$K(\theta)$ es el modificador del ángulo de incidencia y puede ser evaluado para colectores

$$K(\theta) = \cos(\theta) - 2.859621 \cdot 10^{-5} \theta^2 - 5.25097 \cdot 10^{-4} \theta \quad (56)$$

θ es el ángulo de incidencia, que se puede calcular para un plano en rotación alrededor del eje horizontal Norte-Sur con un solo eje siguiendo la relación:

$$\theta = \cos^{-1}(\sqrt{\cos^2 \theta_z + \cos^2 \delta \operatorname{sen}^2 w}) \quad (57)$$

Donde:

θ_z, δ y w son respectivamente el ángulo cenital, ángulos declinado y horario.

2.14.2 Energía solar absorbida por la envoltura de vidrio

La porción de energía solar que absorbe la envoltura de vidrio se analiza con la siguiente ecuación [70].

$$Q_{sol,g} = I_b A_c \frac{\alpha_g}{\tau_g \alpha_g} \eta_o K(\theta) \quad (58)$$

2.15 Pérdidas térmicas en un colector

El funcionamiento térmico del colector, se calcula con el rendimiento global que relaciona la potencia térmica útil Q_{util} , y la potencia dada por el sol Q_{solar} [94], como se muestra en la siguiente expresión.

$$\eta_c = \frac{Q_{util}}{Q_{solar}} \quad (59)$$

Considerando que, la potencia térmica que recibe el colector mediante el seguimiento solar va a ser el área del colector con que está abierto y la radiación solar directa [105].

$$P_{solar} = A_a \cdot I_{bn} \quad (60)$$

El flujo de calor que incide en el tubo cambia diariamente y al año, dependiendo del clima. Este flujo de calor puede ser interpretado como un balance de potencia determinando la potencia útil, es decir, el diferencial de las potencias absorbida y pérdida en el entorno [56].

$$P_{util} = P_{abs} - P_{perd} \quad (61)$$

Esta potencia solar no es absorbida completamente, incluyendo la eficiencia óptica y las pérdidas existentes [30]. Por lo que esta potencia absorbida se define con la siguiente ecuación.

$$P_{abs} = \eta_o \cdot P_{solar} \quad (62)$$

La potencia perdida es dada por la diferencia de temperatura que existe del fluido de trabajo circulante en el tubo absorbedor y la temperatura del ambiente, es así que, al incrementar esta diferencia de temperatura, mayor será las pérdidas. [81]

2.15.1 Principales pérdidas térmicas

- Pérdidas por radiación entre la cubierta de vidrio y el exterior [107].
- Pérdidas por convección desde la cubierta de vidrio al ambiente [107].
- Pérdidas por conducción a través de los soportes metálicos de los tubos [107].
- Pérdidas por radiación desde la superficie selectiva del tubo a la cubierta de vidrio [107].
- Pérdidas por convección en la superficie selectiva del absorbedor, debido a que el vacío que se aplica entre el tubo y el cristal no es absoluto [107].
- Pérdidas por conducción a través del espesor del metal, de la superficie selectiva y de la cubierta de vidrio [107].

2.16 Ganancia de energía

Para determinar el calor ganado debemos considerar el modelo matemático, que establece la potencia del colector para calentar el fluido en un determinado tiempo, esta ganancia de calor se le representa con la siguiente expresión [108].

$$\sum \dot{Q}_{en} = \dot{Q}_{rad} = \alpha I A_s \quad (63)$$

Donde:

α : Coeficiente de absorción de recipiente, en donde estén los alimentos,

I : Radiación solar.

A_s : Área superficial del colector.

\dot{Q}_{en} Capacidad del colector para aprovechar la radiación solar y concentrar esa energía en el tubo de vidrio, en donde se realiza la cocción del alimento.

2.17 Método de prueba para la evaluación de cocinas solares

2.17.1 Potencia de cocción estándar

La potencia de cocción necesaria (P_c) es determinada en función de ciertos parámetros, es decir, la cantidad de calor que ingresa al recipiente de la cocina solar,

para aumentar la temperatura del agua en cierto tiempo establecido, Gonzales et al. [103] utilizan la siguiente ecuación.

$$P_c = mC_p \frac{dT}{dt} \quad (64)$$

Dónde:

P_c se mide en vatios.

m : Masa de agua, [kg].

C_p : Calor específico de agua, [4.8182 kJ/kg °C].

dT/dt : Cambio de temperatura.

T , Temperatura del agua con respecto al tiempo, [t(°C/s)].

La siguiente ecuación que se presenta, es para estandarizar la potencia de cocción:

$$P_s = P_c \left[\frac{700(W \cdot m^{-2})}{I} \right] \quad (65)$$

Donde:

P_s : Potencia de cocción necesaria, evaluada con diferencial de temperaturas del agua y ambiente de 50 ° C.

I : Radiación media del sol, [W·m⁻²].

2.18 Colector cilindro parabólico

Descripción del colector

Este colector solar cilindro-parabólico está constituido de una parábola reflectora como base, donde los rayos solares van a ser reflejados al punto focal, donde está un tubo de vidrio, que está en posición constante durante el proceso de calentamiento

2.18.1 Parábola

Las propiedades de la parábola con las que está compuesto son elementos principales y base para que sistemas de colectores cilíndricos parabólicos funcionen. Pese a que se estudia como una función polinómica, principalmente cuadrática:

$$y = f(x) = ax^2 + bx + c \quad (66)$$

La parábola es una curva de segundo orden cuyas coordenadas equidistan a un mismo punto. La directriz define la dirección de la parábola conjuntamente con el uso del foco, resultando en parábolas similares. Presentan excentricidad=1 difiriendo en su escala [109]. En la Figura 21, se detallan los elementos con los que está formada una parábola.

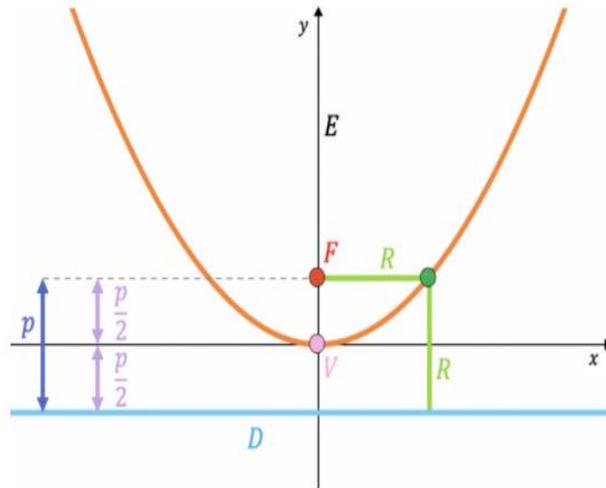


Figura 21. Parábola y sus elementos [41]

En la Figura 21, se observa el foco fijado internamente en la parábola, mientras que la directriz es la recta que se encuentra fijada al exterior de la parábola. Este punto equidista al foco de la parábola, además existe una distancia entre el foco a la directriz.

Otro parámetro es el radio vector, una recta que junta cualquier punto en la parábola hacia el foco. El eje es perpendicular a la directriz y atraviesa el foco y el recibe el vértice es el punto medio entre la parábola y su eje [62].

Como punto principal, es necesario calcular la distancia focal, esta se encuentra entre el foco F y el vértice V o también es igual al parámetro p dividido para dos ($\frac{p}{2}$).

2.18.2 Ecuación ordinaria reducida de la parábola

Considerando que la Figura 22 es una parábola sobre el eje x positivo y el vértice está en V (0, 0), su foco tiene que estar en $F(\frac{p}{2}, 0)$, al lado derecho del vértice.

La ecuación de la recta directriz D está definida como [48]:

$$X = -\frac{p}{2} \tag{67}$$

La directriz tiene la misma distancia al vértice que el foco hacia éste.

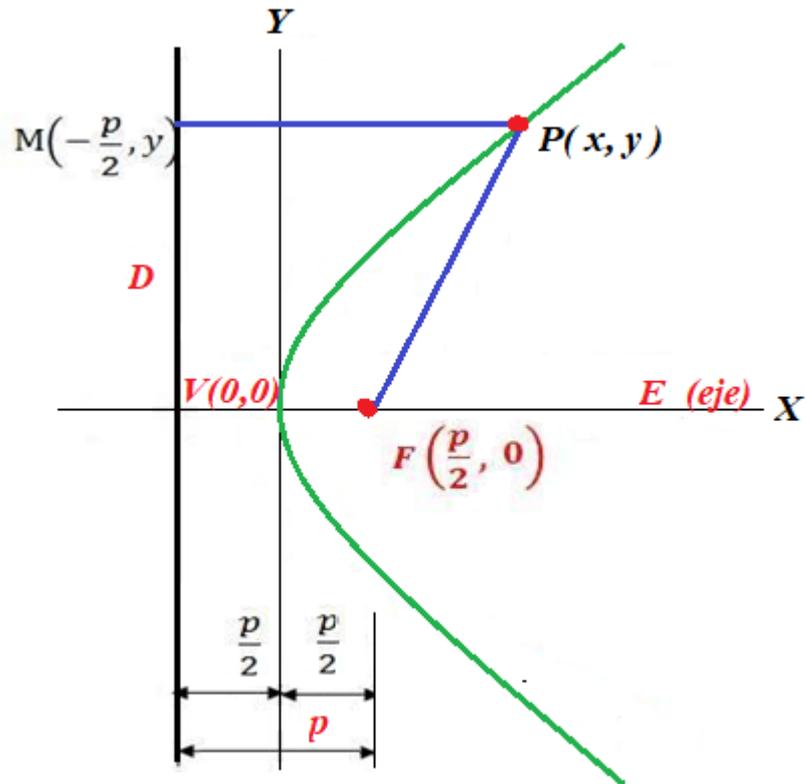


Figura 22. Determinación de la ecuación de la parábola [109]

Los radios vectores FP y PM mostrados en la Figura 22, pertenecen a un punto P cualquiera de la parábola y va a presentar la misma longitud:

$$FP = \sqrt{y^2 + \left(x - \frac{p}{2}\right)^2} \quad (68)$$

$$MP = \frac{p}{2} + x \quad (69)$$

Donde:

$$FP = MP \quad (70)$$

Igualando ambas ecuaciones tenemos.

$$\sqrt{y^2 + \left(x - \frac{p}{2}\right)^2} = \frac{p}{2} + x \quad (71)$$

Resolviendo:

$$y^2 + \left(x - \frac{p}{2}\right)^2 = \left(\frac{p}{2}\right)^2 + x^2 + 2 \cdot \frac{px}{2} \quad (72)$$

Al simplificar la expresión, se determina la ecuación ordinaria de la parábola sobre el eje x con vértice en $(0, 0)$ que tiene apertura hacia la derecha.

$$y^2 = 2px \quad (73)$$

Al desplazar el vértice de la parábola, como se indica en la Figura 23 en $V(X_V, Y_V)$, se obtiene la ecuación ordinaria de vértice de la parábola vertical:

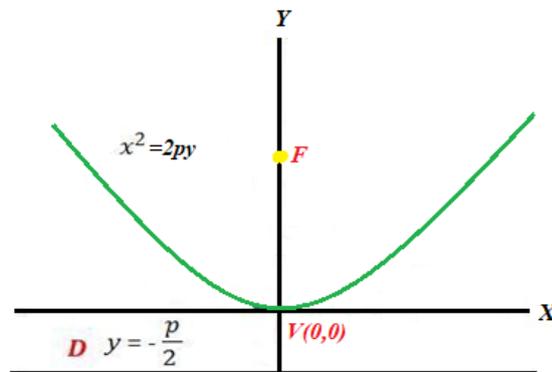


Figura 23. Parábola en forma vertical [109]

Se escribirá así:

$$(x - x_v)^2 = 2p(y - y_v) \quad (74)$$

Donde simplificando, la ecuación de la parábola en forma vertical será:

$$x^2 = 2py \quad (75)$$

2.19 Elementos del colector cilindro parabólico

2.19.1 Reflector

Es el encargado de reflejar las radiaciones directas emitidas por el sol, en el área superficial del reflector y proyectarla de forma concentrada en el tubo de vidrio que está situado en una línea focal, el cual permanece fijo durante el funcionamiento.

El modelo de este receptor tiene forma de canal cilindro parabólico, y los materiales más utilizados como reflectivos, se encuentran los polímeros cubiertos con películas de plata o aluminio, chapas metálicas, cristales también con cubierta de plata complementado con base de cobre y pintura epoxi para tener una mayor absorción del sol y protección, así como planchas de acero inoxidable cubierta la parte externa con pintura negra [31].

La figura 24 muestra el colector construido para este proyecto utilizando como material base reflector acero inoxidable 302.



Figura 24. Diseño de colector cilindro parabólico

Las aplicaciones comunes con este material es la elaboración de implementos de cocina para restaurantes, instrumentos para procesar lácteos y alimentos. El acero inoxidable es sencillo de dar forma, se endurece rápido, la corrosión del acero inoxidable tipo 302 cuando ha sido recocido es nula [26].

Su rango de punto de fusión es la de 1400-1422 °C y una conductividad térmica de 500 °C [110]. La tabla 6 contiene los parámetros utilizados en la construcción de la parábola.

Tabla 6. Variable de diseño para la parábola.

Variable	Unidad
Distancia de extremo de tubo a la parábola [cm]	18
Distancia focal [cm]	21
Directriz [cm]	60
Longitud de la parábola [cm]	68.70
Intersección de parábolas [cm]	50.57

Elaborado por: Rene Tarco y Jefferson Gordon

De esta manera se obtuvo el diseño del concentrador parabólico, como se lo observa en la Figura 24, bajo los parámetros de la Tabla 6.

2.19.2 Tubo de vidrio

Componente principal del colector cilindro parabólico, el trabajo principal es el de recibir y concentrar toda la energía solar que emite el reflector, y convertirlo en la energía útil necesario para cocinar de los alimentos, que están en el interior del tubo de vidrio sobre el recipiente [69]. Está localizado en la línea focal de esta parábola (reflector) y está sujetado por unos brazos, este elemento es un tubo de vidrio concéntrico como se observa en la Figura 25. La luz solar se enfoca en el tubo de vidrio mediante reflectores parabólicos.

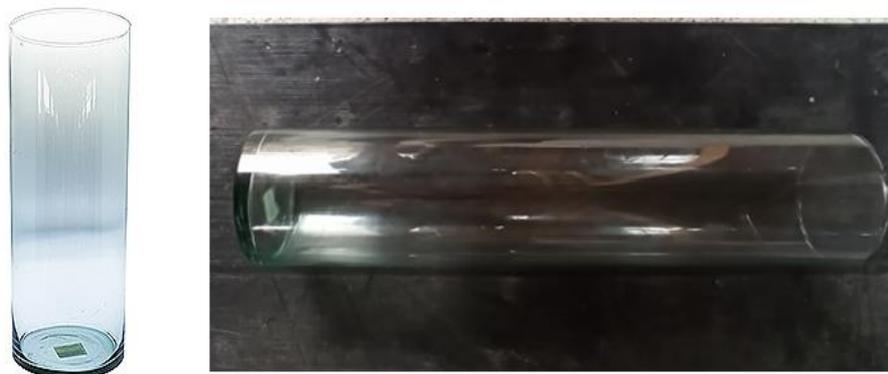


Figura 25. Tubo de vidrio cilíndrico

En la tabla 7, se presenta las dimensiones del tubo de vidrio de marca velón otun que fue el más recomendable para la elaboración del proyecto.

Tabla 7. Dimensiones de tubo de vidrio.

Variable	Unidad
Diámetro exterior [cm]	14
Diámetro interior [cm]	12.8
Longitud [cm]	59.5
Espesor [mm]	5

Elaborado por: Rene Tarco y Jefferson Gordon

2.19.3 Recibidor interno o bandeja

El recibidor también se localiza en la línea focal de este concentrador y está en la parte interna del tubo de vidrio [94], se usa como bandeja en donde se depositen los alimentos para el proceso de cocción, este recipiente interno es de acero inoxidable quirúrgico 304 como se observa en la figura 26.



Figura 26. Bandeja o recibidor interno para alimentos

Este elemento está constituido por la bandeja de acero inoxidable, caucho para acoplarse al tubo de vidrio, mango de madera para que su manipulación sea fácil como lo presentado en la figura 27.



Figura 27. Sujeción de bandeja mango de madera, empaque caucho y madera

En la Tabla 8, se detalla las dimensiones de la bandeja y sus elementos.

Tabla 8. Dimensiones de la bandeja.

Variable	Unidad
Diámetro exterior [cm]	12
Diámetro interior [cm]	11.8
Longitud de bandeja [cm]	57
Espesor [mm]	1
Longitud de mango [cm]	12.3
Diámetro de mango [cm]	3.2
Diámetro de empaque de caucho [cm]	12.9
Diámetro de empaque de madera [cm]	12.9

Elaborado por: Rene Tarco y Jefferson Gordon

El acero inoxidable [4] tiene alta resistencia corrosiva y dureza, convirtiéndolo en un material con menor porosidad, como es un material menos poroso, hace que los alimentos no queden pegados sobre un sartén o bandeja, siempre que el recipiente esté caliente a una temperatura adecuada previo a cocinar.

El acero inoxidable no segrega tóxicos hacia los alimentos. Este acero es un material con propiedades que contribuyen a la preparación y cocción de alimentos con mayor beneficio a la salud, a diferencia de los sartenes y utensilios de cocina convencionales [100].

El diámetro exterior de la bandeja es de 12 cm, un poco menor que el diámetro del tubo de vidrio que tiene 14 cm, con una diferencia de 2 cm, esta diferencia es para que la bandeja pueda ingresar con toda facilidad al tubo de vidrio y quede sellado con el empaque de caucho de 12.9 cm de diámetro, el cual estará ajustado con el tubo y la bandeja, cuando está bien ajustado se produce el efecto invernadero y procede a la cocción de los alimentos.

2.19.4 Sistema de seguidor solar

Es fundamental para ubicar la parábola de forma perpendicular y que la radiación solar incida al máximo en el colector y permanezca en la línea focal de forma continua [62]. Este seguimiento se desarrolla por un eje, debido a la facilidad mecánica del control, como se indica en la figura 28, esto implica menor costo y menores pérdidas térmicas. La orientación del colector va de Norte-Sur o de Este-Oeste según en la posición que se encuentre [52].

Los sistemas de accionamiento que muevan al colector en diferentes ángulos suelen ser eléctricos, hidráulicos y mecánicos.



Figura 28. Sistema de seguimiento solar del colector (ojo chino)

El seguidor consiste en un punto fijo y el otro desplazable que es de forma manual, este permitirá colocar al colector en diferentes posiciones angulares de 0 a 180°, dependiendo del movimiento del sol, con el fin de que la mayor radiación sea reflejada hacia la línea focal.

2.19.5 Base del colector solar

Para que el colector solar se mantenga estable y acoplar el sistema de desplazamiento, se realiza el soporte en donde está ubicado la parábola, esta estructura cuadrangular está compuesta de dos tubos cuadrados de 76 cm, unidos con dos tubos circulares de 60 cm y platinas donde estará la parte fija de la parábola, donde se lleva a cabo el desplazamiento observado en la figura 29.



Figura 29. Base del colector solar

Tabla 9. Dimensiones de la estructura

Variable	Unidad
2 tubos cuadrados [cm]	76
2 tubos redondos [cm]	60
Platina [cm]	10x7.5

Elaborado por: Rene Tarco y Jefferson Gordon

La Tabla 9 contiene las dimensiones de los materiales utilizados para la elaboración de la base que soportará el concentrador solar parabólico.

2.20 Materiales utilizados en el concentrador solar

El concentrador tipo canal cilindro parabólico para la cocción de alimentos, se ha elaborado con materiales que se detallan en la tabla 10, que, una vez realizado el proceso de mecanizado en cada uno de los materiales, se procede a realizar su ensamblaje para luego proceder a realizar las investigaciones necesarias.

Tabla 10. Materiales del concentrador solar

Materiales	Especificaciones
Plancha acero Inox brillante	A-302
Plancha acero Inox quirúrgico	A-304
Tubo cuadrado	25x25x2 [mm]

Tubo redondo	16x1.8[mm]
Correa de bisagra	N.A
Tuerca	M6 tipo 5,A-307 galvanizado
Pernos	M6x16,A-307 galvanizado
Pintura	<u>B</u> ate piedra color negro
Tubo de vidrio	14 \varnothing [cm] y 60[cm] L
Platina	2[cm]x0.5[mm]
Mango de madera	32 \varnothing [mm] x 12.3 [cm] L
Empaque de caucho	12.9 \varnothing [cm]

Elaborado por: Rene Tarco y Jefferson Gordon

2.21 Esquema del colector tipo canal cilindro parabólico

En el colector solar cilindro parabólico, el tubo de vidrio (receptor) es donde incide la radiación solar concentrada en la superficie del reflector [57]. De la misma forma el tubo recibe esta radiación directamente, en donde al interior del tubo en una bandeja están los productos a ser cocidos, indicado en la figura 30. Con los dos elementos en ejecución hace que exista una cierta cantidad de temperatura, con la que se realiza la cocción de los alimentos, la temperatura que existe no será constante ya que dependerá de las condiciones ambientales y existirán diferentes valores de temperatura en cada punto.



Figura 30. Concentrador solar tipo canal cilindro parabólico con alimentos

Para el desarrollo de esta investigación, se considera un concentrador tipo canal cilindro parabólico, como mencionamos en capítulos anteriores. Su principal función,

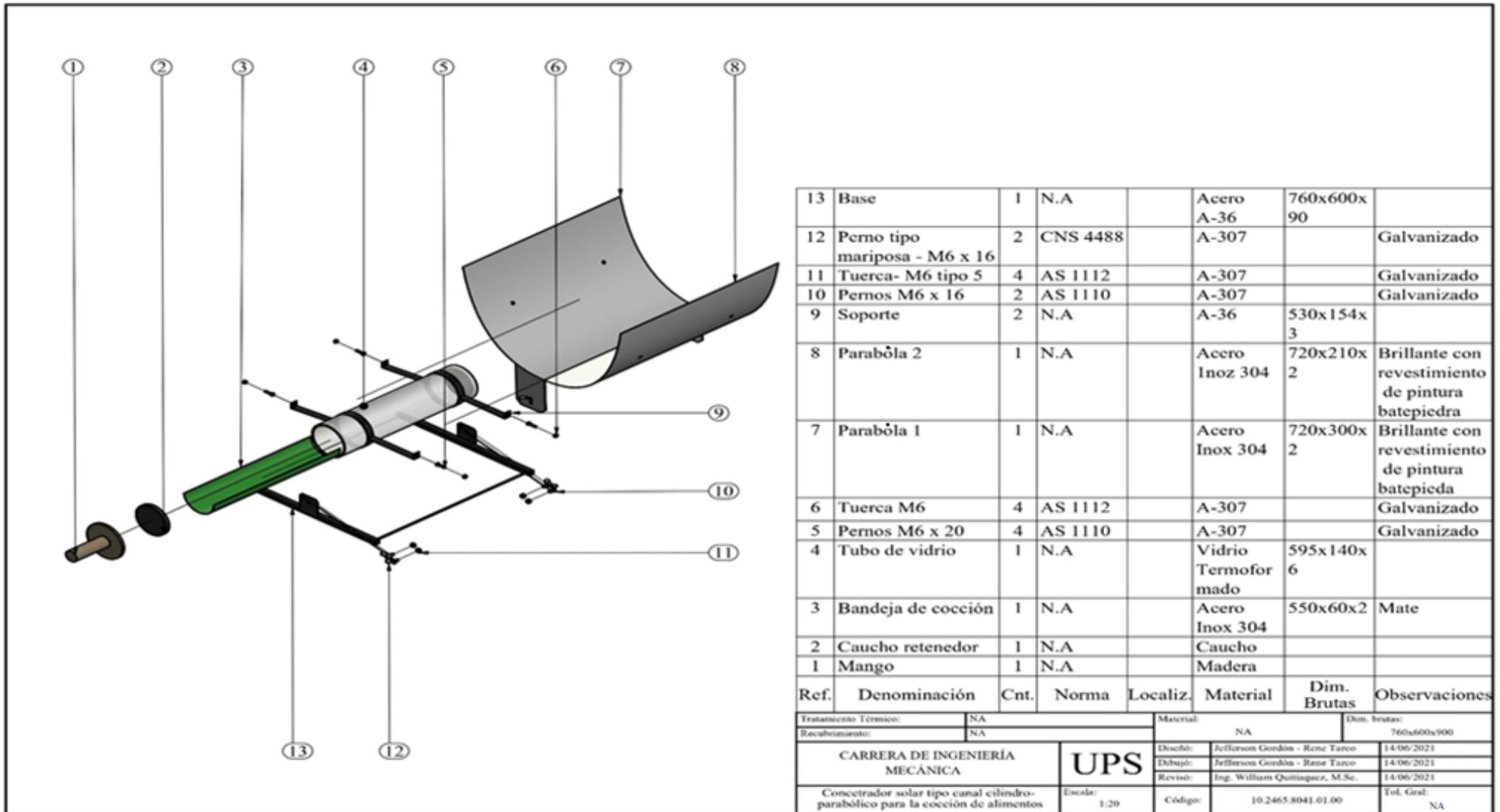
se basa en un colector de forma parabólica, sobre el cual se sitúa un tubo de vidrio en la línea focal de la parábola, como describe en la figura 31.

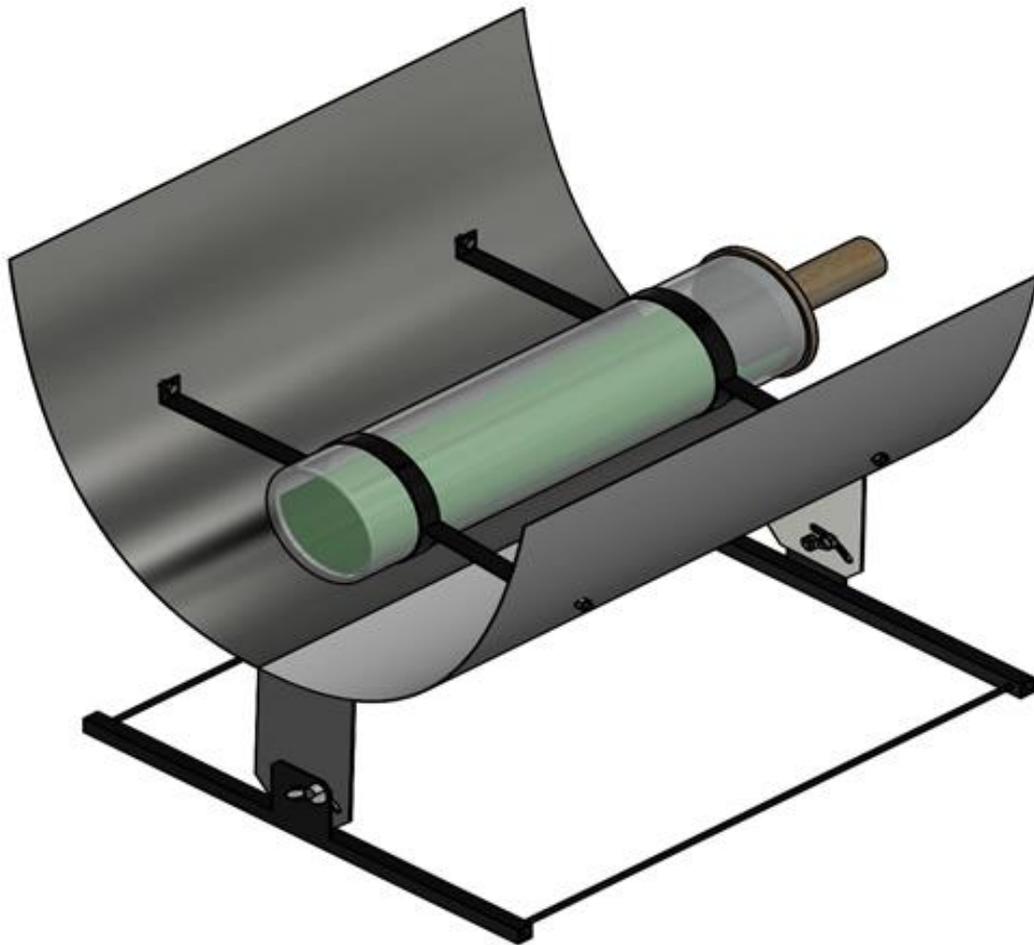


Figura 31. Concentrador tipo canal cilindro parabólico diseño construido

En las figuras 32 y 33 que están a continuación, se observa el plano conjunto y la vista 3D respectivamente del concentrador solar de canal cilindro parabólico, para la cocción de alimentos a construir, se muestran los elementos que están compuestos en el sistema, igualmente se enseñan los planos de construcción en los anexos del documento.

Figura 32. Plano de conjunto de concentrador solar.





Tratamiento Térmico:	NA	Material:	NA	Dim. brutas:	760x712x615
Recubrimiento:	NA	Disculó:	Jefferson Gordon - Rene Tarco	14/06/2021	
CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA		UPS		Dibujó:	Jefferson Gordon - Rene Tarco
				Revisó:	Ing. William Quisagator, M.Sc.
Concentrador solar tipo canal cilindro-parabólico para la cocción de alimentos		Escala:	1:5	Código:	10.2465.8041.01.02
				Tol. Graf:	NA

Figura 33. Vistas 3D del concentrador solar cilindro parabólico.

El capítulo II presento una revisión de las diferentes ecuaciones matemáticas utilizadas en las diferentes investigaciones del colector cilindro parabólico, y los diferentes métodos de transferencia de calor producidos en el mismo, como son: la radiación, convección y conducción al momento de almacenar energía y utilizarlo para realizar la cocción de alimentos o el aprovechamiento de dicha energía almacenada.

Se mostró modelos matemáticos con los que se puede hallar la posición solar, los ángulos solares incidentes y la geometría que describe el sol con respecto a la tierra, ya que, son parámetros importantes de diseño, para evaluar la viabilidad del funcionamiento del concentrador cilindro parabólico, puesto que la energía solar que es distribuida en la superficie no es uniforme.

También se observó las ecuaciones importantes para la construcción de la parábola, ya que, es necesario para la elaboración de colector y los cálculos necesarios para la ubicación de la línea focal o receptor, en ese mismo punto se muestra cómo se realiza el sistema de seguimiento del sol, ya que, el sol no estará en una posición fija.

CAPÍTULO III

ANÁLISIS DE LOS DATOS EXPERIMENTALES DEL CONCENTRADOR SOLAR DE CANAL CILINDRO PARABÓLICO

En el presente capítulo, se dará a conocer los resultados que se obtuvieron a partir de ecuaciones mostradas en el capítulo II, de la misma manera se detalla el prototipo que se diseñó, su funcionamiento y los resultados que se obtuvieron al realizar las diferentes pruebas con distintos alimentos, también se compara, con otros diseños investigados anteriormente.

3.1 Experimentación realizada

Consideraciones

Para el análisis experimental se realiza las siguientes consideraciones: que se debe tomar en cuenta para la recopilación de datos, debido a que es un sistema de ingeniería y los resultados obtenidos deben ser iguales tanto en los resultados teóricos y prácticos al realizar las debidas comparaciones con diferentes sistemas.

El horario de experimentación mantiene un margen de 09:00 a 14:00 horas, debido a que son los tiempos en donde la incidencia del sol brinda la mayor parte de radiación.

3.2 Forma y principio de funcionamiento

En primera instancia, se debe referir la capacidad de la bandeja de cocción y la cantidad que se va a preparar, debido a que existe una consideración de eficacia, al comenzar el proceso de cocción dentro del tubo de vidrio y el desperdicio de calor que generamos al abrir el tubo para hacer una variante en el proceso.

El ángulo de giro que la base de la cocina posee, brinda la posibilidad de tratar la incidencia del sol de manera perpendicular al tubo de vidrio, como las generaciones de dos ejes focales directos al mismo, dichos ejes focales de calor vienen dados por el concentrador.

De manera visual se logra la perpendicularidad, observando el reflejo directo del sol en la bandeja de cocción, y un par de reflejos extras, que se encuentran en el centro de cada una de las parábolas correspondientemente. Así mientras la rotación del sol vaya dando su curso habitual, la rotación del equipo será igualmente progresiva.

Al momento de concluir con la cocción, hay una seguridad en el manejo de la bandeja, debido a que el mango es de madera y se manipula la bandeja de cocción. Razón por la cual no se espera el enfriamiento por mucho tiempo, luego de la culminación del proceso.

3.3 Utilización de sistema experimental

La obtención de datos experimentales viene dada por el proceso siguiente:

- Colocación del alimento en la bandeja de cocción, con un conocimiento de las propiedades térmicas que presenta cada alimento.
- Ingreso de la bandeja en el tubo de vidrio, al final del ingreso se debe realizar un ligero apriete para realizar un aislamiento térmico total dentro del tubo.
- Colocación del tubo en las bases que se encuentran en el concentrador solar, las mismas que se encuentran acordes a los ejes focales de las parábolas que conforman el concentrador.
- Rotación del concentrador acorde al giro del sol, estableciendo una perpendicularidad con la incidencia de este.
- Mediante termómetro infrarrojo, conseguimos la lectura de cada una de las partes que deseamos obtener, acorde a las necesidades.
- Tener cuidado en el momento de manipular el concentrador luego de haberlo expuesto mucho tiempo al sol, debido a que puede alcanzar temperaturas altas.

3.4 Datos obtenidos por experimentos

3.4.1 Experimento 1

Plátano maduro y huevos

En la primera prueba de nuestro sistema se realiza el análisis de la eficiencia del concentrador tipo canal cilindro parabólico, donde se realiza la cocción de 100 gramos de plátanos maduros, acompañados de dos huevos sin cascarón, que se colocan en la bandeja de cocción con aceite para freír.

La acción es llevada a cabo el día 20 de mayo del 2021, en un rango horario comprendido de 09:50 am hasta las 12:50 pm del mismo día, con condiciones climáticas favorables, donde se obtuvo los valores de temperaturas iniciales y finales en los alimentos, como se muestra en la tabla 11.

Tabla 11. Datos experimentales en la prueba de maduros y huevos

Hora	T1/Temperatura		T2/Temperatura	
	Inicial Alimentos		Final Alimentos	
	(°C)		(°C)	
9:50:00	---		25.3	
10:00:00	25.3		29.3	
10:10:00	29.3		31.5	
10:20:00	31.5		33.8	
10:30:00	33.8		36	
10:40:00	36		39.3	
10:50:00	39.3		39.3	
11:00:00	39.3		39.8	
11:10:00	39.8		41.3	
11:20:00	41.3		42.3	
11:30:00	42.3		36.2	
11:40:00	36.2		37.2	
11:50:00	37.2		35.4	
12:00:00	35.4		35.8	
12:10:00	35.8		33.6	
12:20:00	33.6		32.4	
12:30:00	32.4		33.5	
12:40:00	33.5		30	
12:50:00	30		26.7	

Elaborado por: Rene Tarco y Jefferson Gordon

En la figura 34, con los datos obtenidos se procede a realizar una gráfica del aumento de temperatura del alimento en el día, tomando en cuenta un intervalo de tiempo de 10 minutos.

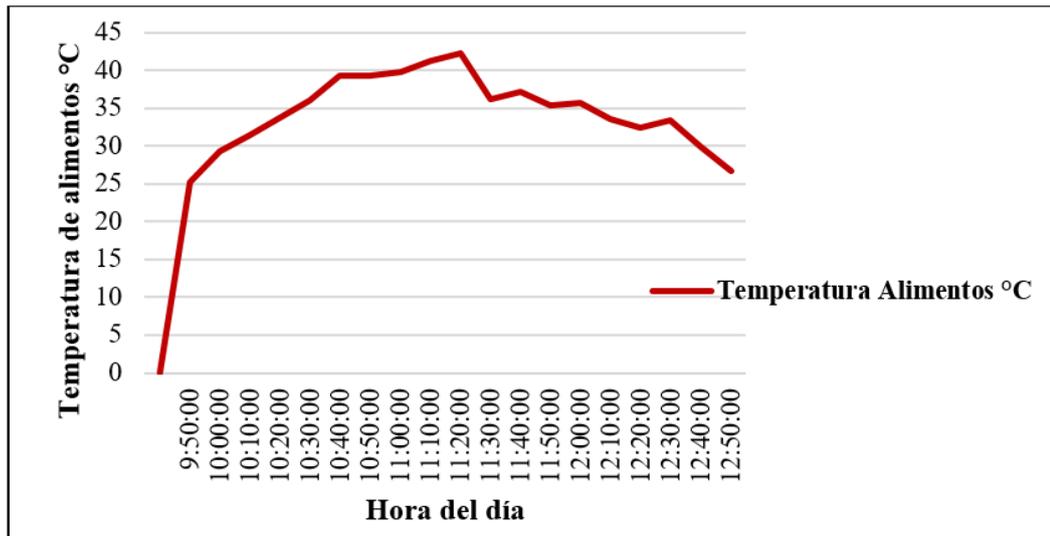


Figura 34. Gráfica: hora del día vs temperatura de los alimentos

De la misma manera se presenta en la figura 35, una gráfica con relación a la radiación solar emitida, tomando datos cada diez minutos.

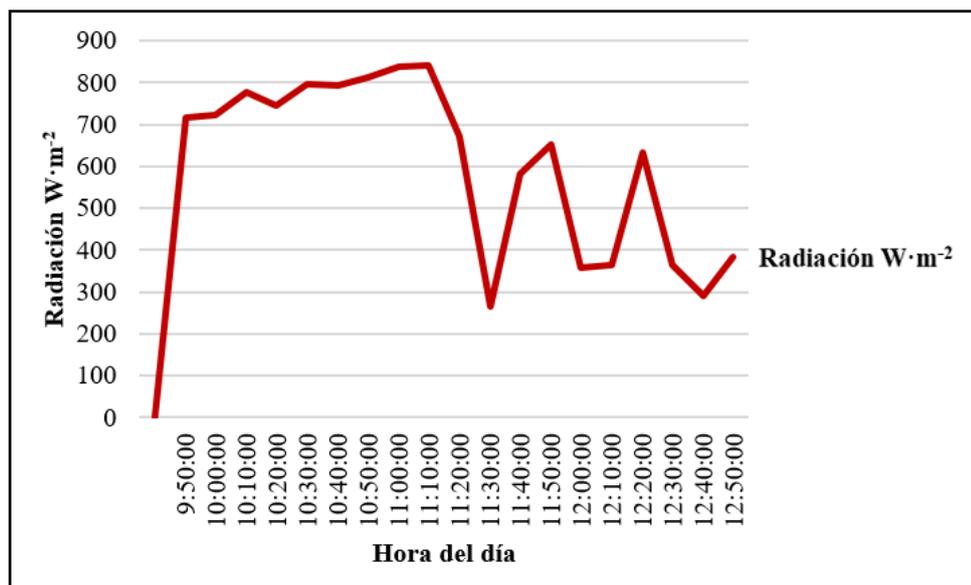


Figura 35. Gráfica: hora del día vs radiación recibida por los alimentos

Conclusiones experimentales 1

Debido a una baja estabilidad en la frecuencia alta de la radiación en el día, presentando una máxima de $842.5 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$, la práctica se postergó a 3 horas, por la consideración estructural del tubo y la bandeja de cocción, las temperaturas en los alimentos conservan su temperatura.

En cuanto a resultados obtenidos, la apariencia visual de un plátano maduro gastronómicamente listo es dorado por ambos lados, en cuando a textura, duro, suave-

duro. En el mismo ámbito gastronómico, el cocer de los huevos ha sido aceptable presentando así las cualidades necesarias, una clara totalmente cocida, misma que bordea la yema, que por la mayor sensibilidad al calor viene a ser la última en cocerse. Se puede observar que, la cocción principal se realizó en el intervalo de 10:00 am a 11:00 am por la creciente radiación presentada por el clima, obteniendo un promedio de $783.38 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$.

3.4.2 Experimento 2

Canguil

El día 29 de mayo del 2021, se procede a realizar una nueva práctica experimental con la finalidad de un tiempo consistente de 9:55 am hasta las 12:55 pm poder cocer 100 gr de canguil. Como resultado deseado es obtener un canguil gastronómicamente aceptable. La Tabla 12 presenta cómo varía la temperatura con la que se realizó la cocción del canguil.

Tabla 12. Datos experimentales obtenidos en el día de prueba con el canguil

Hora	T1/Temperatura	T2/Temperatura
	Inicial Alimento (°C)	Final Alimento (°C)
9:55:00	23.5
10:05:00	23.5	30.5
10:15:00	30.5	32.5
10:25:00	32.5	32
10:35:00	32	34.5
10:45:00	34.5	35.3
10:55:00	35.3	34.1
11:05:00	34.1	35.7
11:15:00	35.7	38.7
11:25:00	38.7	37
11:35:00	37	35.9
11:45:00	35.9	35.3
11:55:00	35.3	35.9
12:05:00	35.9	34.8
12:15:00	34.8	36.2

12:25:00	36.2	37
12:35:00	37	37
12:45:00	37	35.6
12:55:00	35.6	33.3

Elaborado por: Rene Tarco y Jefferson Gordon

En la Figura 36 y 37 con los datos obtenidos, se procede a realizar las gráficas del aumento de temperatura del alimento en el día, tomando en cuenta un intervalo de tiempo de 10 minutos, esta inicia con una temperatura inicial de 23.5°C a las 9:55 am y termina a las 12:55pm con una temperatura de 33.3°C.

De la misma manera, la gráfica de la radiación emitida en ese día desde las 9:55 am hasta las 12:55 pm que duró el tiempo para realizar la cocción del canguil, llegando a una radiación solar máxima de 761.7 W·m⁻² a las 11.15 am.

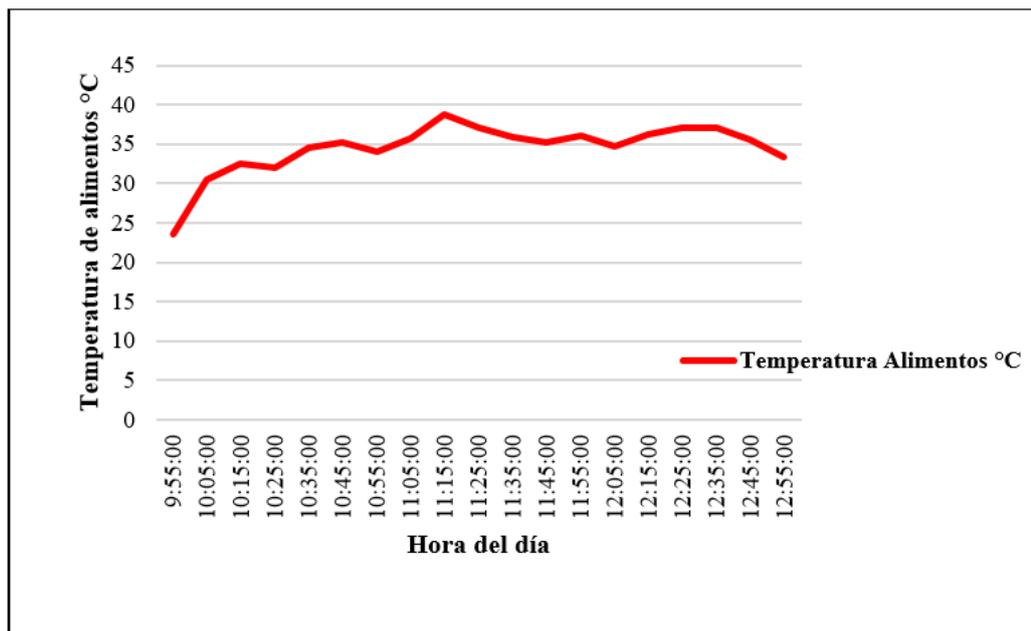


Figura 36. Gráfica: hora del día vs temperatura de los alimentos

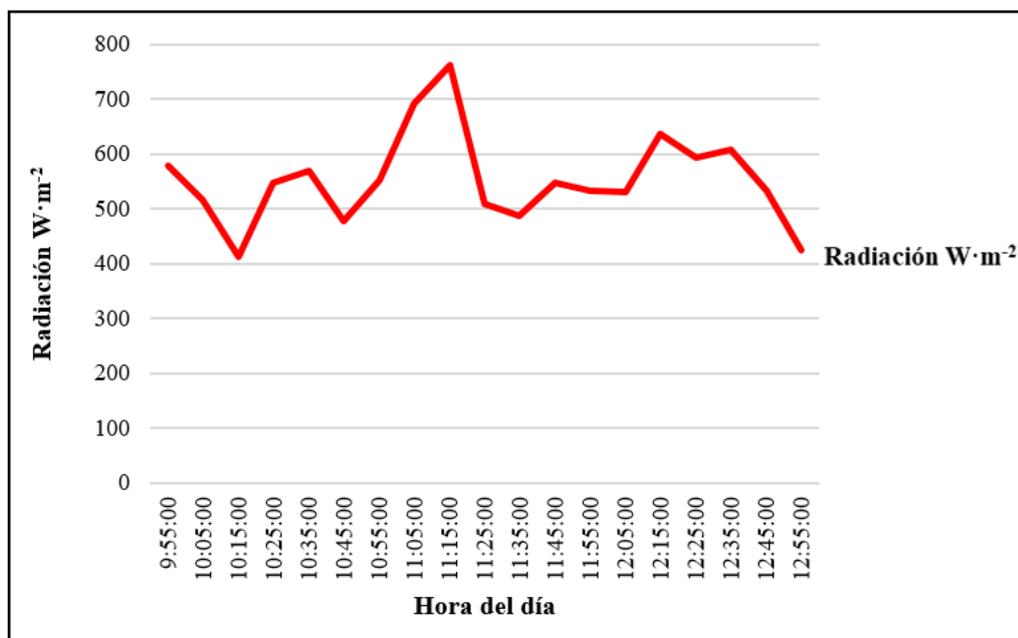


Figura 37. Gráfica: hora del día vs radiación emitida para la cocción del

Conclusiones experimentales 2

En el experimento realizado, se obtuvo una mayor eficiencia entre el horario de 11:05 am a 12:35 pm, consiguiendo la mayor eficiencia del experimento de $589.3 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$. Donde se realiza el siguiente proceso gastronómico para obtener los resultados, calentamiento del aceite, colocación del canguil, explosión. Visualmente se presenta de color blanco, sin embargo, el experimento duró alrededor de 3 horas debido a un máximo de $589.3 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$ y un mínimo de $424 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$.

3.4.3 Experimento 3

Corvina

Para obtener más resultados en esta investigación el 10 de junio de 2021, se procede a realizar la cocción de 200 gramos de corvina fileteada. Para este intento se procede a limpiar la bandeja del proceso anterior y se incluye de la misma manera aceite de cocina, el cual inicia con una temperatura de $27.2 \text{ }^\circ\text{C}$, a las 10:50 am hasta las 12:50 pm, alcanzando así una temperatura máxima de $38.7 \text{ }^\circ\text{C}$ en el alimento entre las 11:30 y 11:40 am, como se indica en la Tabla 13, pero al cocinar estuvo estable y la corvina experimentó una cocción favorable.

Tabla 13. Datos experimentales obtenidos en el día de prueba con la corvina

Hora	T1/Temperatura T2/Temperatura	
	Inicial Alimento	Final Alimento
	(°C)	(°C)
10:50:00	---	27.2
11:00:00	27.2	34.3
11:10:00	34.3	36.3
11:20:00	36.3	37.6
11:30:00	37.6	38.7
11:40:00	38.7	35.7
11:50:00	35.7	34.8
12:00:00	34.8	33.3
12:10:00	33.3	32
12:20:00	32	31.6
12:30:00	31.6	32.1
12:40:00	32.1	30.1
12:50:00	30.1	29.1

Elaborado por: Rene Tarco y Jefferson Gordon

En la figura 38 y 39, con los datos obtenidos se realiza las gráficas del aumento de temperatura del alimento en el día, tomando en cuenta un intervalo de tiempo de 10 minutos, de la misma manera la gráfica de la radiación emitida en ese día desde las 10:50 am hasta las 12:50 pm que duró el tiempo para realizar la cocción de la corvina, donde se puede observar que el punto más alto de radiación fue a las 11:30 de la mañana.

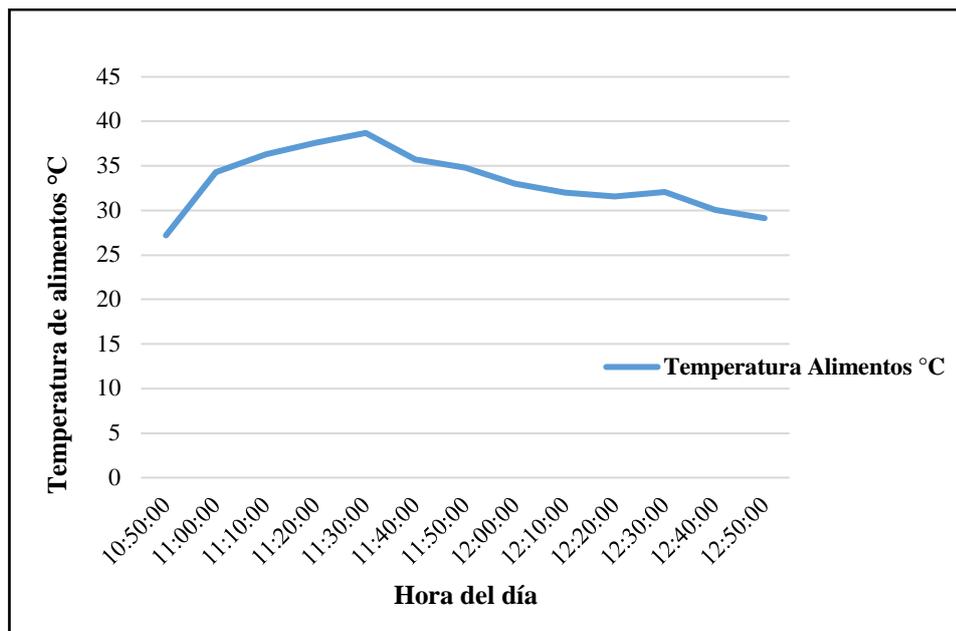


Figura 38. Gráfica: hora del día vs temperatura de los alimentos

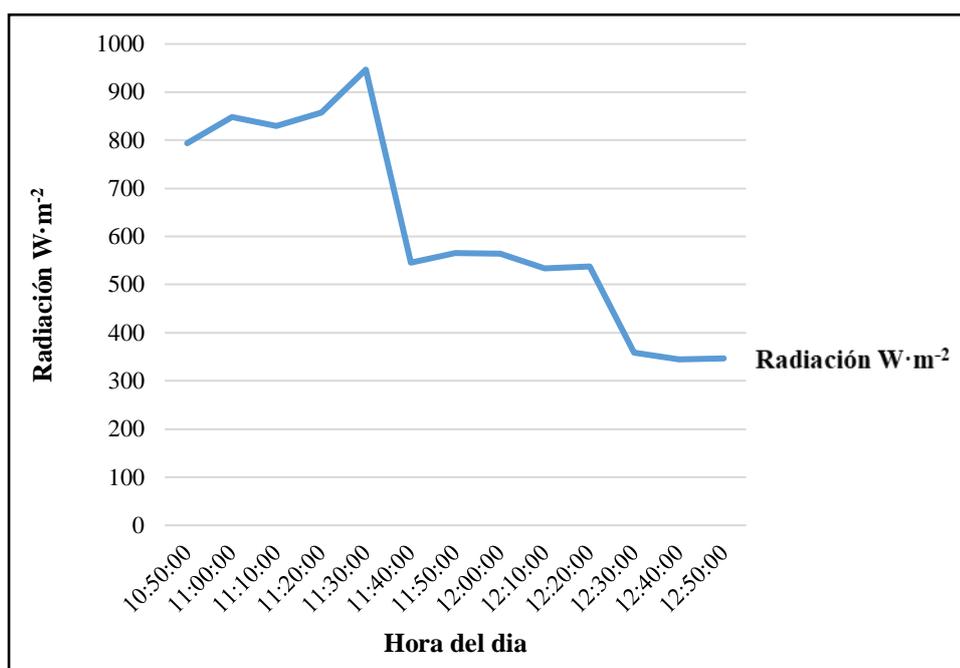


Figura 39. Gráfica: hora del día vs radiación emitida para la cocción de la corvina

Conclusiones experimentales 3

En este caso, de igual manera se usó aceite de cocina. La cocción de la corvina se dio por constancia en el calor, que brinda el aislamiento del vidrio entre las 11:30 am, en donde hubo una mayor radiación emitida que fue de $946.8 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$, con una temperatura aproximada en la bandeja de $39 \text{ }^\circ\text{C}$, después de eso, debido a la baja radiación presentada los valores, fueron disminuyendo por las condiciones climáticas que se

presentaron, alcanzando una radiación final de $346.4 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$, siendo ya las 12:50 pm se obtiene la cocción en la corvina.

3.4.4 Experimento 4

Agua

Para realizar esta prueba se mide un litro de agua en un recipiente y se lo colocó en la bandeja en el interior del tubo de vidrio, las condiciones climáticas favorables es decir un cielo despejado y se realizó la prueba en el tiempo de 10:10 am hasta las 13:10 pm, el propósito con el litro agua era conseguir la ebullición, empezando con una temperatura mínima de 24.1 y una máxima de $41.3 \text{ }^\circ\text{C}$, se logró conseguir que la temperatura de agua aumentara y que se observe la evaporación de la misma dentro del tubo cilíndrico. La Tabla 14 contiene los valores de la temperatura del agua, medidos cada 10 minutos con ayuda de un termómetro digital.

Tabla 14. Datos experimentales obtenidos en el día de la prueba con el agua

Hora	T1/Temperatura	T2/Temperatura
	Inicial Alimento ($^\circ\text{C}$)	final Alimento ($^\circ\text{C}$)
10:10:00	24.1
10:20:00	24.1	23.3
10:30:00	23.3	23.7
10:40:00	23.7	27.4
10:50:00	27.4	28.9
11:00:00	28.9	26.7
11:10:00	26.7	29.4
11:20:00	29.4	32.3
11:30:00	32.3	33.5
11:40:00	33.5	33.8
11:50:00	33.8	34.8
12:00:00	34.8	32.8
12:10:00	32.8	32.8
12:20:00	32.8	35.3
12:30:00	35.3	41.3
12:40:00	41.3	40.1

12:50:00	40.1	33
13:00:00	33	33.1
13:10:00	33.1	30

Elaborado por: Rene Tarco y Jefferson Gordon

La Figura 40 evidencia que la temperatura más alta alcanzada al momento de proceder a realizar el calentamiento del agua.

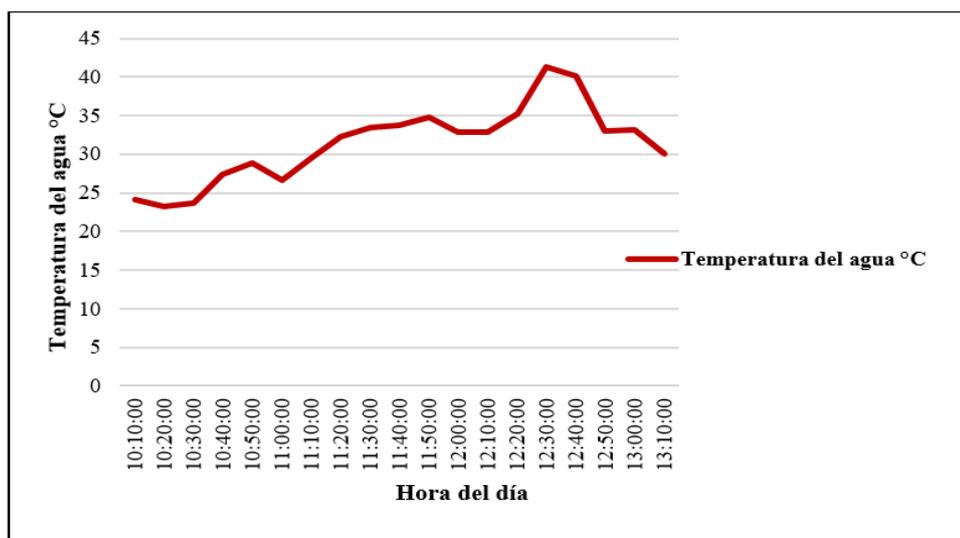


Figura 40. Gráfica: hora del día vs temperatura del agua

En la Figura 41, se observa que la mayor radiación incidente que se dio en esta prueba fue a las 12:20 pm cuando el cielo está despejado, el sol emitió una radiación de 938.8 $W \cdot m^{-2}$, esto ayudó a que el agua alcanzara una temperatura favorable de 44°C aproximadamente.

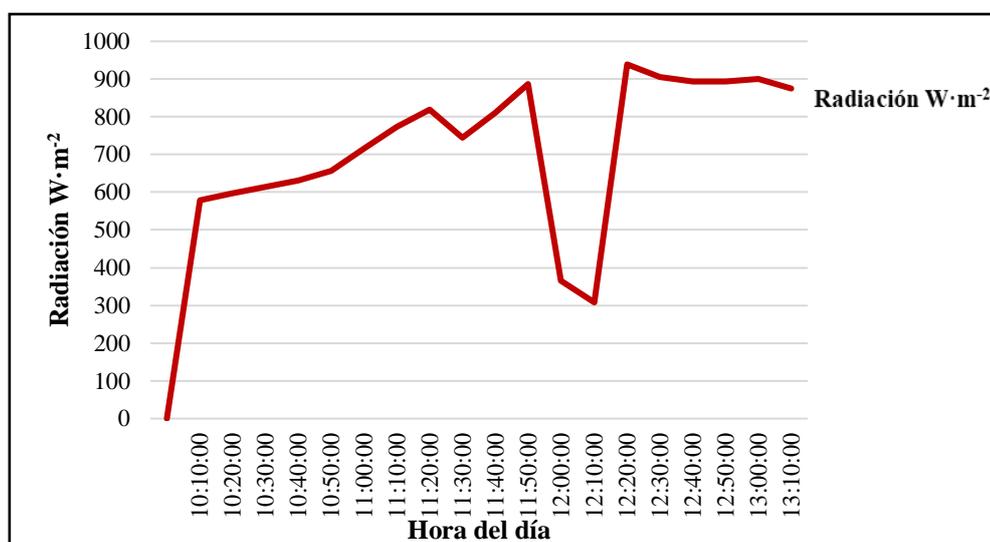


Figura 41. Gráfica: hora del día vs radiación emitida para hervir el agua

Conclusiones experimentales 4

La prueba realizada con el agua fue favorable, al alcanzar una temperatura de 44°C aproximadamente, con una radiación de 938.8 W·m⁻², durante el tiempo que estuvo en el interior del tubo de vidrio, se observó que se produjo la ebullición y evaporación del agua, al momento de retirar a las 13:10 pm la bandeja con el agua del tubo de vidrio, se pudo palpar el agua y se observó que se calentó completamente.

3.5 Comparación de resultados

Se procede a realizar una comparación entre resultados experimentales de la investigación, realizada con el proyecto denominado Diseño y Construcción de una cocina solar con proyección a un sistema auxiliar de inducción [62], donde se observa mediante tablas de resultados, los valores de temperaturas alcanzadas al momento de realizar la cocción de los alimentos.

3.5.1 Experimento con Agua

La Tabla 15 presenta los valores de temperatura alcanzadas en esta cocina de plato parabólico.

Tabla 15. Temperaturas experimentales prueba con el agua [62]

Experimento del agua		
cocina solar plato parabólico		
	T. inicial	T. final
Hora	(°C)	(°C)
10:00:00	--	17.0
10:15:00	17.0	24.5
10:30:00	24.5	31.4
10:45:00	31.4	39.7
11:00:00	39.7	47.0
11:15:00	47.0	52.0
11:30:00	52.0	57.0
11:45:00	57.0	48.0
12:00:00	48.0	45.0
12:15:00	45.0	61.3
12:30:00	61.3	51.4

12:45:00	51.4	49.0
13:00:00	49.0	41.5

La Tabla 16 contiene las temperaturas alcanzadas en el colector tipo canal cilindro parabólico.

Tabla 16. Temperaturas experimentales en la ebullición del agua

Experimento agua		
cocina solar canal cilindro		
	T. inicial	T. final
Hora	(°C)	(°C)
10:10:00	--	24.1
10:20:00	24.1	23.3
10:30:00	23.3	23.7
10:40:00	23.7	27.4
10:50:00	27.4	28.9
11:00:00	28.9	26.7
11:10:00	26.7	29.4
11:20:00	29.4	32.3
11:30:00	32.3	33.5
11:40:00	33.5	33.8
11:50:00	33.8	34.8
12:00:00	34.8	32.8
12:10:00	32.8	32.8
12:20:00	32.8	35.3
12:30:00	35.3	41.3
12:40:00	41.3	40.1
12:50:00	40.1	33.0
13:00:00	33.0	33.1
13:10:00	33.1	30.0

Elaborado por: Rene Tarco y Jefferson Gordon

Como se puede observar en las Tablas 15 y 16, las temperaturas alcanzadas al realizar el calentamiento del agua en los dos sistemas son de 61.3 y 41.3 °C respectivamente, en un rango de tiempo de 3 horas.

En donde se establece que, las condiciones climáticas fueron favorables en la cocina solar de plato parabólico y se obtiene mejores resultados por el ambiente de trabajo, así como la inducción que busca con el sistema de cocción.

3.5.2 Experimento con canguil

La Tabla 17 presenta las temperaturas alcanzadas en esta cocina de plato parabólico.

Tabla 17. Datos experimentales obtenidos de la prueba con el canguil [62]

Experimento canguil		
cocina solar plato parabólico		
	T. inicial	T. final
Hora	(°C)	(°C)
9:40:00	--	18.0
9:45:00	18.0	153.0
9:50:00	153.0	170.0
10:00:00	170.0	130.0

La Tabla 18 contiene las temperaturas alcanzadas en la cocción de canguil, en el colector tipo canal cilindro parabólico.

Tabla 18. Temperaturas experimentales en la cocción del canguil

Experimento canguil		
cocina solar tipo canal cilindro		
parabólico		
	T. inicial	T. final
Hora	(°C)	(°C)
9:55:00	-----	23.5
10:05:00	23.5	30.5
10:15:00	30.5	32.5

10:25:00	32.5	32.0
10:35:00	32.0	34.5
10:45:00	34.5	35.3
10:55:00	35.3	34.1
11:05:00	34.1	35.7
11:15:00	35.7	38.7
11:25:00	38.7	37.0
11:35:00	37.0	35.9
11:45:00	35.9	35.3
11:55:00	35.3	35.9
12:05:00	35.9	34.8
12:15:00	34.8	36.2
12:25:00	36.2	37.0
12:35:00	37.0	37.0
12:45:00	37.0	35.6
12:55:00	35.6	33.3

Elaborado por: Rene Tarco y Jefferson Gordon

Las temperaturas alcanzadas en la cocción del canguil en el colector de plato parabólico son más altas a la de tipo canal cilindro parabólico, con una temperatura máxima de 170 y 38.7 °C, respectivamente, esto es por lo que el primer sistema cuenta con un punto focal, el cual recibe una mayor radiación y el sistema investigado en este proyecto cuenta con un eje focal, el que va a ser constante por el aislamiento térmico por el que está construido.

3.5.3 Experimento con corvina

La Tabla 19 muestra las de temperatura alcanzadas en la cocina solar de plato parabólico.

Tabla 19. Datos experimentales obtenidos de la corvina [62]

Experimento de corvina		
cocina solar plato parabólico		
	T. inicial	T. final
Hora	(°C)	(°C)
10:58:00	--	16.5
11:00:00	16.5	115.0
11:15:00	115.0	116.0

La Tabla 20 presenta las temperaturas alcanzadas en la cocción de los pedazos de corvina, en el colector tipo canal cilindro parabólico.

Tabla 20. Temperaturas experimentales en la cocción de la corvina

Experimento de corvina		
cocina solar tipo canal cilindro		
parabólico		
	T. inicial	T. final
Hora	(°C)	(°C)
10:50:00	---	27.2
11:00:00	27.2	34.3
11:10:00	34.3	36.3
11:20:00	36.3	37.6
11:30:00	37.6	38.7
11:40:00	38.7	35.7
11:50:00	35.7	34.8
12:00:00	34.8	33.3
12:10:00	33.3	32.0
12:20:00	32.0	31.6
12:30:00	31.6	32.1
12:40:00	32.1	30.1
12:50:00	30.1	29.1

Elaborado por: Rene Tarco y Jefferson Gordon

Con la observación de resultados en ambos sistemas de cocción, se concluye que el primer colector alcanzó una temperatura de 116 °C, en un intervalo de 3 a

5 minutos de diferencia a partir de la temperatura inicial. Entonces, los alimentos estuvieron cocidos a los 15 minutos, esto se debe a las radiaciones emitidas por el sol al medio día [62]. En cambio, al realizar la cocción el colector tipo canal parabólico, se obtuvieron temperaturas de 38.7 °C, en un rango de 3 horas, en donde durante ese tiempo se produjo la cocción de la corvina.

3.6 Análisis económico del sistema

Para poder determinar, la inversión total del concentrador solar tipo canal cilindro parabólico para la cocción de los alimentos, se procede a detallar el costo de los componentes, así como el costo de mano de obra que se invirtió en este proyecto.

3.6.1 Costo de materiales utilizados

Los materiales utilizados en este proyecto se detallan en la Tabla 15, las cantidades utilizadas con sus respectivos valores estándares en el mercado ferretero, brindando así el valor en materiales a invertir.

Tabla 21. Detalle de los materiales utilizados y valores

Materiales	Especificaciones	Cantidad	Valor Unitario (USD)	Valor total (USD)
Plancha acero Inox brillante	A-302	1	85.00	85.00
Plancha acero Inox quirúrgico	A-304	1/4	20.00	20.00
Tubo cuadrado	25x25x2 [mm]	1	5.00	5.00
Tubo redondo	16x1.8[mm]	1	5.00	5.00
Correa de bisagra	N. A	1	7.00	7.00
Tuerca	M6 tipo 5,A-307 galvanizado	8	0.10	0.80
Pernos	M6x16,A-307 galvanizado	8	0.10	0.80
Pintura	Vate piedra color negro	1	15.00	15.00
Tubo de vidrio	14 ø [cm] y 60[cm] L	1	80.00	80.00
Platina	2[cm]x0.5[mm]	1	6.00	6.00

Mango de madera	32 ø [mm] x 12.3 [cm] L	1	4.00	4.00
Empaque de caucho	12.9 ø[cm]	1	5.00	5.00
TOTAL				233.60

Elaborado por: Rene Tarco y Jefferson Gordon

3.6.2 Mano de obra

Para el proceso de corte de las planchas, soldadura, dobladora para obtener la forma parabólica, se utilizaron equipos de taller industrial, donde se necesitó la guía del propietario del taller en donde se construyó el sistema.

Tabla 22. Descripción de mano de obra

Descripción	Subtotal (USD)
Mano de obra	90
Total	90

Elaborado por: Rene Tarco y Jefferson Gordon

3.6.3 Inversión final

En la Tabla 17, se detalla cual fue la inversión que se utilizó para construir el concentrador solar tipo canal cilindro parabólico.

Tabla 23. Inversión total en el concentrador solar tipo canal cilindro parabólico

Descripción	Subtotal (USD)
Materiales	233.60
Mano de obra	90.00
Transporte	35.00
Imprevistos	40.00
INVERSIÓN FINAL	398.60

Elaborado por: Rene Tarco y Jefferson Gordon

Al realizar el análisis económico del sistema, se puede apreciar que la inversión es factible, para la persona que desee utilizar un concentrador solar tipo canal cilindro parabólico para la cocción de los alimentos.

3.7 Beneficios económicos a largo plazo

Existen lugares en el Ecuador, donde el gas doméstico GLP no se vende diariamente debido a que no hay acceso para el medio de transporte, como son en sectores rurales, los campos donde la gente que viven, en esos sectores utilizan carbón para cocinar sus alimentos o calentar su hogar mediante chimeneas [57].

Para personas de bajos recursos económicos de los países en desarrollo, el carbón se quema a menudo en cocinas incorrectamente instaladas o con mal funcionamiento [68]. Esta combustión no se completa en su totalidad, libera pequeñas partículas que afecta a la salud de la persona en el ambiente del hogar, esto puede ser notable a simple vista donde se observa a personas tosiendo constantemente. Por lo que, no se tiene información necesaria y diferenciar los efectos en la salud de los gases emitidos como humo al quemar carbón [68].

Según el estudio realizado en el 2013 [111], la leña se utiliza en 260000 hogares aproximadamente, 18000 y 242000 en zonas urbanas y rurales, respectivamente. Al analizar por provincias, el mayor porcentaje de hogares que todavía utilizan leña están en la costa y en las provincias de la Amazonía se utiliza menormente. Es ahí es esas zonas en donde se debe implementar el uso de cocinas solares, a lugares donde el acceso a la energía no es posible todavía utilizar, para calentar agua o para cocinar porciones pequeñas de alimentos.

El gas doméstico es una fuente de energía importante utilizada en la cocina, implementado en 96.7 y 80.7 % de los hogares urbanos y rurales, respectivamente, conllevando el 91% de la población total. Incrementar la utilización de este combustible es debido a que el Ecuador tiene 81.9 % de subsidios a los combustibles fósiles y sus derivados [111].

3.7.1 Eliminación de subsidio en un tanque de gas

El precio de este derivado de petróleo que se utiliza en los hogares tiene un subsidio que rige desde hace varios años en el país. El precio de la bombona de 15 kilos de este combustible es de USD 1.60 en lugares de distribución, mientras que el precio a domicilio está en USD 3.50 o 3.00, variando de los lugares que recorre. El estado ecuatoriano asume una diferencia de USD 19.00 entre el valor de venta local y el internacional.

3.7.2 Comparación de inversión entre una bombona de gas y una cocina solar tipo canal parabólico.

Suponiendo que se eliminara los subsidios a los combustibles, el tanque de gas costaría USD 19.00 cada vez que se le terminara. Realizando una comparación de la inversión de USD 400.00 en la cocina solar propuesta, la Tabla 24 contiene las veces que tendrá que cambiar un cilindro de gas.

Tabla 24. Comparación de inversión

Descripción	Cilindro de gas sin subsidio	Cocina solar Cilindro parabólico
Valor	19.00	400.00
Tiempo de cambio	2 veces al mes	

Elaborado por: Rene Tarco y Jefferson Gordon

Al realizar los cálculos, suponiendo que utilizan en un hogar de 2 personas que viven en zonas rurales 2 cilindros de gas cada mes, el valor total que gastarían al año sería de USD 456.

2 cilindros cada mes x 19.00 = 38.00 USD

Este valor multiplicado x 12 meses es igual = 456 USD

Ese valor de USD 456.00, lo estarán gastando cada año al utilizar un cilindro de gas sin el subsidio que brinda el gobierno, en cambio sí se realizara la inversión de USD 400.00 que es el costo total de esta cocina solar de canal cilindro parabólico, se realiza un solo gasto y la utilización sería permanente y no se requerirá de gastos cada año.

Sin embargo, al hablar de reducción de subsidios se vuelve un tema controversial, por lo que existirá aumentos en los precios del transporte, alimentos y otros servicios, lo que generará disconformidad, conflictos y desventajas del consumo, así como el acceso a estos servicios y bienes. Esta situación se presenta mayoritariamente en los hogares de más bajos recursos, y necesitan ser compensados con otra alternativa para reducirlos. Pero a su vez la existencia de subsidios por parte del Gobierno va a permitir utilizar de mejor manera los recursos renovables, así saldrían beneficiadas las personas y el medio ambiente en el que vivimos.

CONCLUSIONES

- Al realizar la investigación de los diferentes diseños de cocinas solares encontradas en el mercado, se infiere que los colectores solares son equipos que se pueden realizar con facilidad, ya que, para el desarrollo del sistema se cuenta con todos los materiales disponibles, con los que se puede realizar sistemas de mayor concentración de calor, mayor apertura de captación dependiendo del tamaño de colector.
- La modelación matemática teórica del colector cilindro parabólico, brinda una eficiencia del 45 % distinta a una cocina de forma cilíndrica la cual tiene una eficiencia óptica del 58 % ámbitos que se realiza experimentalmente, la cocina cilíndrica concentra grandes cantidades de calor en un punto focal haciendo dicho punto efectivo por lo que tiene una mayor eficiencia, la cocina de canal cilíndrico parabólico lo hace a través de un eje focal, cuya dimensión depende de la apertura de la parábola que se tiene, brindando una eficacia un poco menor en concentración y en extensión de la aplicación del proceso.
- Los resultados presentados se han obtenido de una diversidad de climas, es decir, el tiempo de prueba fue de 3 a 4 horas, debido a las bajas temperaturas, alcanzando valores de 45 y 51° C en la bandeja de cocción, esto debido a que la radiación solar emitida fue $938.8 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$ como la más máxima y como mínima de $550 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$ en diferentes días y horas, en ocasiones se logró comprobar que no existe una necesidad constante del sol, ya que, el actuar del concentrador es concentrar la mayor parte de calor en la parte cilíndrica de la cocina para su cocción.
- La inversión final en la construcción de la cocina de canal cilíndrico es de USD 398.60, debido a que el sistema debe ser completamente culminada para su uso, no se puede usar en el progreso de construcción, Sin embargo, al conocer el ahorro que se genera con el uso de una energía renovable, en este caso la energía solar, la inversión realizada en el sistema será útil hasta cuando sea necesario.

- La población donde se desarrolla este tipo de proyectos, son beneficiadas con el uso del sistema, suponiendo que utilizan en un hogar de dos personas que viven en zonas rurales dos cilindros de gas cada mes sin el subsidio que brinda los gobiernos centrales, el valor total que gastarían al año sería de USD 456 aproximadamente. En cambio, sí se realizará la inversión de USD 400.00 que es el valor monetario de esta cocina solar canal cilindro parabólico, se realiza inversión que se usará de forma permanente y no se requerirá de otro gasto al año.

RECOMENDACIONES

- Actualizar constantemente investigaciones de los diferentes sistemas de colectores que puedan llegar a afectar o a beneficiar objetivos que han sido planteados, por más mínimo detalle en el momento de la experimentación, los mismos que pueden afectar o aventajar el fin requerido.
- La construcción de cualquier prototipo debe ser realizado utilizando diferentes tipos de materiales que cada día se presentan en el mercado, con el fin de tener un trabajo de carácter duradero, buena presencia, eficiente y con alta duración ante el uso en hogares domésticos, en casos de titulación, muchas de las veces es una carta de presentación vital para el resto de la profesión.
- Realizar pruebas de campo en distintas condiciones climáticas para que puedan ser viables de las afectaciones, ventajas y desventajas que el proyecto tiene dentro del campo ya como proyecto funcional.

LISTA DE REFERENCIAS

- [1] N. Kumar y S. Kumar, "Progress and application of phase change material in solar thermal energy: An overview," *Materialstoday:proceedings*, 2020.
- [2] J. Li y J. Huang, "The expansion of China's solar energy: Challenges and policy options," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 132, n° 110002, 2020.
- [3] K. Readdy y H. Sharon, "Energy-environment-economic investigations on evacuated active multiple stage series flow solar distillation unit for potable water production," *Energy conversion and Management*, vol. 151, pp. 259-285, 2017.
- [4] B. Gupta, J. Bhalavi, S. Sharma y A. Bisen, "Phase change materials in solar energy applications: A review," *materialstoday:proceedings*, 2020.
- [5] D. Thamyres Machado, P. M. Rocha Rizol, M. A. Guerreiro Machado y G. Paschoal Bucciari, "Future research tendencies for solar energy management using a bibliometric analysis, 2000–2019," *Heliyon*, vol. 6, p. e04452, 2020.
- [6] N. Corrocher y E. Cappa, "The Role of public interventions in inducing private climate finance: An empirical analysis of the solar energy sector," *Energy Policy*, vol. 147, p. 111787, 2020.
- [7] S. Zereshkian y D. Mansoury, "A study on the feasibility of using solar radiation energy and ocean thermal energy conversion to supply electricity for offshore oil and gas fields in the Caspian Sea," *Renewable Energy*, vol. 163, pp. 66-77, 2021.
- [8] U. Arunachala y A. Kundapur, "Cost-effective solar cookers: A global review," *Solar Energy*, vol. 207, pp. 903-916, 2020.
- [9] M. Á. Sanchez Bodas, "Cocina solar de ultra-bajo consumo," 3 2016. [En línea]. Available: <https://core.ac.uk/download/pdf/79176928.pdf>. [Último acceso: 21 2 2021].
- [10] D. Dasin, A. Aliyu y N. Godi, "Verification of the performance of parabolic concentrating solar cooker on some food stuffs cooked in bauchi — North East, Nigeria," *IREC2015 Sexto Congreso Internacional de Energías Renovables*, pp. 1-5, 2015.

- [11] M. Aramesh, M. Ghalebani, A. Kasaeian, H. Zamani, G. Lorenzini, O. Mahian y S. Wongwises, “A review of recent advances in solar cooking technology,” *Renewable Energy*, vol. 140, pp. 419-435, 2019.
- [12] Sánchez Bodas, Miguel Angel, “core.ac.uk,” Marzo 2016. [En línea]. Available: <https://core.ac.uk/download/pdf/79176928.pdf>. [Último acceso: 15 enero 2021].
- [13] A. G. Bhave y C. k. Kale, “Development of a thermal storage type solar cooker for high temperature cooking using solar salt,” *Elsevier*, vol. 208, n° 110394, 2020.
- [14] F. Yettou, B. Azoui, A. Malek, A. Gama y N. Panwar, “Solar cooker realizations in actual use: An overview,” *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 37, pp. 288-306, 2014.
- [15] M. González-Avilés, L. López-Sosa, H. Servin-Campuzano y D. González-Pérez, “Adopción tecnológica sustentable de cocinas solares en comunidades indígenas y rurales de Michoacán,” *Revista Mexicana de Ingeniería Química*, vol. 16, n° 1, pp. 273-282, 2017.
- [16] A. Regattieri, F. Piana , M. Bortolini, M. Gamberi y E. Ferrari, “Innovative portable solar cooker using the packaging waste of humanitarian supplies,” *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 57, pp. 319-326, 2016.
- [17] N. El Moussaoui, S. Talbi, I. Atmane, K. Kassmi, K. Schwarzer, H. Chayeb y N. Bachiri, “Feasibility of a new design of a Parabolic Trough Solar Thermal Cooker (PSTC),” *Solar Energy*, vol. 201, pp. 866-871, 2020.
- [18] W. Ajbar, A. Parrales , U. Cruz-Jacobo, R. Conde , A. Bassam, O. Jaramillo y J. Hernández, “The multivariable inverse artificial neural network combined with GA and PSO to improve the performance of solar parabolic trough collector,” *Applied Thermal Engineering*, vol. 189, n° 116652, 2021.
- [19] M. Noman, A. Wasim, M. Ali, M. Jahanzaib, S. Hussain, H. M. Khurram Ali y H. M. Ali, “An investigation of a solar cooker with parabolic trough concentrator,” *Case Studies in Thermal Engineering*, vol. 14, n° 100436, 2019.
- [20] S. M. Masum Ahmed, M. Rahmatullah Al-Amin, S. Ahammed, F. Ahmed, A. Mortuza Saleque y M. Abdur Rahman, “Design, construction and testing

- of parabolic solar cooker for rural households and refugee camp,” *Solar Energy*, vol. 205, pp. 230-240, 2020.
- [21] M. Anwar, A. Wasin, M. Ali y S. Hussain, “Experimental analysis of parabolic trough collector system with multiple receiver geometries and reflective materials,” *Thermal Science*, pp. 216-216, 2020.
- [22] H. Weldekidan, M. Bayray, C. Kimambo y P. Gebray, “Performance Test of Parabolic Trough Solar Cooker for Indoor Cooking,” *Momona Ethiopian Journal of Science*, vol. 6, pp. 39-54, 2014.
- [23] S. K. Sansaniwal, V. Sharma y J. Mathur, “Energy and exergy analyses of various typical solar energy applications: A comprehensive review,” *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 82, pp. 1576-1602, 2018.
- [24] C. Kai, X. Hongjun, Z. Rong, X. Dawei, Y. Lulu, S. Yachen, X. Liru, Z. Jiantao, Z. Zhirong y B. Encai, “Renewable and sustainable strategies for improving the thermal environment of Chinese solar greenhouses,” *Energy and Buildings*, vol. 202, p. 109414, 2019.
- [25] R. Boampong y D. P. Bronw, “On the benefits of behind-the-meter rooftop solar and energy storage: The importance of retail rate design,” *Energy Economics*, vol. 86, p. 104682, 2020.
- [26] R. Kumar, K. Chaitanya y S. Kumar, “Solar Thermal Energy Technologies and its Applications for Process Heating and Power Generation – A Review,” *Journal of Cleaner Production*, p. 125296, 2020.
- [27] jleoramirez, “Enelico,” [En línea]. Available: <https://enelico.com/energia-solar-para-hogares.html>. [Último acceso: 23 2 2021].
- [28] G. M. Garnacho Saucedo, R. Salido Vallejo y J. C. Moreno Giménez, “Effects of solar radiation and an update on photoprotection,” *Anales de Pediatría*, vol. 92, n° 6, pp. 377.e1-377.e9, 2020.
- [29] R. Tripathi y G. Tiwari, “Annual performance evaluation (energy and exergy) of fully covered concentrated photovoltaic thermal (PVT) water collector: An experimental validation,” *Solar Energy*, vol. 146, pp. 180-190, 2017.
- [30] M. Edding, F. Tala y J. Vázquez, “researchgate,” Enero 2006. [En línea]. Available:

https://www.researchgate.net/publication/236980779_Fotosintesis_productividad_y_algas_marinas. [Último acceso: 28 Enero 2021].

- [31] J. An, D. Yan, S. Guo, Y. Gao, J. Peng y T. Hong, “An improved method for direct incident solar radiation calculation from hourly solar insolation data in building energy simulation,” *Energy and Buildings*, vol. 227, p. 110425, 2020.
- [32] J. L. Diego Vaca, “Mapa Solar del Ecuador 2019,” Enero 2020. [En línea]. Available: <file:///C:/Users/Usuario/Downloads/ATLASSOLARDELECUADOR.pdf>.
- [33] B. F. Camayo-Lapa, J. R. Massipe-Hernandez, J. E. Pomachagua-Paucar, A. Torres-Ten y M. O. Quispe-Flores, “Bristow campbell development model for estimating the global solar radiation junin region,” *Tecnologia Quimica*, vol. 35, nº 2, pp. 220-234, 2015.
- [34] Columbia, “Variables climatológicas y los elementos constructivos y paisajísticos,” 2 3 2016. [En línea]. Available: <https://www.columbia.edu.py/presencial/arquitectura/revista-cientifica/articulos-de-investigacion/224-variables-climatologicas-y-los-elementos-constructivos-y-paisajisticos>. [Último acceso: 19 3 2021].
- [35] H. Liang, C. Zhu, M. Fan, S. You, H. Zhang, Xia y Junbao, “Study on the thermal performance of a novel cavity receiver for parabolic trough solar collectors,” *Applied Energy*, vol. 222, pp. 790 - 798, 2018.
- [36] O. Behar y K. Mohammedi, “A novel parabolic trough solar collector model – Validation with experimental data and comparison to Engineering Equation Solver (EES),” *Energy Conversion and Management*, vol. 106, pp. 268-281, 2015.
- [37] S. K. Sansaniwal, V. Sharma y J. Mathur, “Energy and exergy analyses of various typical solar energy applications: A comprehensive review,” *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 82, nº 1, pp. 1576-1601, 2018.
- [38] Multimedia, “Ventajas y desventajas de los paneles solares en el hogar,” Multimedia, 02 Mayo 2016. [En línea]. Available:

- <https://www.multimedia.com.mx/blog/index.php/186-energia-solar-en-tu-casa-ha-llegado-el-momento>. [Último acceso: 2021].
- [39] A. Tejada Martínez y G. Gomez-Azpeitia, “Prontuario Solar de Mexico,” Noviembre 2015. [En línea]. Available: [http://ww.ucol.mx/content/publicacionesenlinea/adjuntos/Prontuario-solar-de-Mexico-\(noviembre-de-2015\)_6.pdf](http://ww.ucol.mx/content/publicacionesenlinea/adjuntos/Prontuario-solar-de-Mexico-(noviembre-de-2015)_6.pdf). [Último acceso: 29 Enero 2021].
- [40] “Aula Facil,” 2021. [En línea]. Available: <https://www.aulafacil.com/cursos/medio-ambiente/energia-solar-termica-1/angulo-cenital-y-la-elevacion-solar-137810>. [Último acceso: 30 Enero 2021].
- [41] M. G. Juárez, “Geometria Analitica.info,” 2021. [En línea]. Available: <https://www.geometriaanalitica.info/parabola-matematicas-definicion-ecuacion-ejemplos-ejercicios-resueltos-elementos/>. [Último acceso: 29 5 2021].
- [42] J. C. Cuenca Lima y Á. R. Quinde Quille, “Diseño y contruccion de un hidrosegidor para el control de seguimiento de una cosina solar parabolica,” Septiembre 2010. [En línea]. Available: <https://dspace.unl.edu.ec/jspui/bitstream/123456789/16998/1/Cuenca%20Lima%2c%20Julio%20C%3a9sar%2c%20Quinde%20Quille%2c%20c3%81ngel%20Rodrigo.pdf>. [Último acceso: 29 Enero 2021].
- [43] Tejera, Sara Moreno, “bibing,” [En línea]. Available: <http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/4314/fichero/3.RADIACI%C3%93N+SOLAR.pdf>. [Último acceso: 30 Enero 2021].
- [44] I. Perillan , “old.isabelperillan.org,” [En línea]. Available: <http://old.isabelperillan.org/matematicas/astronomia/relojes/coordenadas.htm>. [Último acceso: 30 Enero 2021].
- [45] S. Arora, H. Singh Pal, L. Sahota , M. K. Arora, R. Arya, S. Singh, A. Jain y A. Singh, “Performance and cost analysis of photovoltaic thermal (PVT)-compound parabolic concentrator (CPC) collector integrated solar still using CNT-water based nanofluids,” *Desalination*, vol. 495, n° 114595, 2020.
- [46] S. Gharehdaghi, S. Moujaes y A. Nejad, “Thermal-fluid analysis of a parabolic trough solar collector of a direct supercritical carbon dioxide

- Brayton cycle: A numerical study,” *Solar Energy*, vol. 220, pp. 766-787, 2021.
- [47] A. Tintaya, “CITEenergía,” 09 2016. [En línea]. Available: <http://www.citeenergia.com.pe/wp-content/uploads/2016/09/paper-colectores-solares.pdf>.
- [48] R. Román, “Energía Solar,” Noviembre 2014. [En línea]. Available: <http://eventos.cmm.uchile.cl/metrosolar2014/wp-content/uploads/sites/11/2014/01/SolarChile-M2-Ene2014.pdf>.
- [49] Juan Sanchez De Lara, “Diseño de colectores solares de placa plana por efecto termofosin,” Octubre 2012. [En línea]. Available: <https://cimav.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1004/647/1/Tesis%20Juan%20Sanchez%20de%20Lara.pdf>.
- [50] M. M. Aboelmaaref, M. E. Zayed, Z. Jun, W. Li, A. A. Askalany, M. Salem Ahmed y E. S. Ali, “Hybrid solar desalination systems driven by parabolic trough and parabolic dish CSP technologies: Technology categorization, thermodynamic performance and economical assessment,” *Energy Conversion and Management*, vol. 220, n° 113103, 2020.
- [51] C. Paredes, “Diseño de captador solar cilindro parabolico,” Septiembre 2012. [En línea]. Available: http://oa.upm.es/14011/1/PFC_CARMEN_PAREDES_VELASCO.pdf. [Último acceso: Enero 2021].
- [52] J. G. González, “La cocina solar,un sistma de aprovechamiento directo de la energía solar para cocer los alimentos junto a otras aplicaciones,” 25 Mayo 2002. [En línea]. Available: <http://www.ub.edu/geocrit/b3w-376.htm>.
- [53] I. P. F. Octavio Garcia Valladares, *Aplicaciones térmicas de la energía solar*, Mexico: Universidad Nacional Autónoma de México, 2017.
- [54] Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía, “Guía técnica aprovechamiento de la luz natural en la iluminación de edificios,” mayo 2005. [En línea]. Available: https://www.idae.es/uploads/documentos/documentos_10055_GT_aprovechamiento_luz_natural_05_ff12ae5a.pdf. [Último acceso: 5 abril 2021].

- [55] Miguel Tinajeros Salcedo, Federico Morante Trigos, “Sistemas de calentamiento de agua con energía solar en la ciudad de Arequipa,” 14 Noviembre 2011. [En línea]. Available: <http://perusolar.org/wp-content/uploads/2012/02/SISTEMAS-DE-CALENTAMIENTO-DE-AGUA-CON-ENERGIA-SOLAR-EN-LA-CIUDAD-DE-AREQUIPA.pdf>. [Último acceso: Enero 2021].
- [56] Lali Roca, Jordi Miralles, “Perspectiva ambiental,” Junio 2002. [En línea]. Available: http://www.fundaciontierra.es/sites/default/files/web_antiga/es/data/pa25e.pdf. [Último acceso: Enero 2021].
- [57] J. Nayak, S. S. Sahoo, R. K. Swain, A. Mishra y S. Chakrabarty, “Construction of Box Type Solar Cooker and Its Adaptability to Industrialized Zone,” *materialstoday:proceedings*, vol. 4, pp. 12565-12570, 2017.
- [58] N. Ramírez , Á. Jaramillo y R. Rodríguez , “Cálculo y diseño de una estufa solar parabólica para la cocción de alimentos,” vol. 163, 2015.
- [59] S. Geddam, G. Kumaravel Dinesh y T. Sivasankar, “Determination of thermal performance of a box type solar cooker,” *Solar Energy*, vol. 113, pp. 324-331, 2015.
- [60] A. Herez , M. Ramadam y M. Khaled, “Review on solar cooker systems: Economic and environmental study for different Lebanese scenarios,” *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 81, nº 1, pp. 421-432, 2018.
- [61] Y. D. Lopez Gutierrez , “Uso de cocinas solares en los puestos de vigilancia de frontera y su relacion con el bienestar del personal militar de la V division del ejercito peruano-año 2017,” 2017. [En línea]. Available: <http://repositorio.ict.ejercito.mil.pe/bitstream/ICTE/127/1/54%20TESIS%20%20LOPEZ%20GUTIERREZ%20YAN.pdf>. [Último acceso: 31 Enero 2021].
- [62] Paredes Estrella, Bryan Gabriel, “Diseño y construcción de una cocina solar con proyeccion a un sistema auxiliar de induccion,” Agosto 2016. [En línea].

- Available: <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/13118/3/UPS-KT01318.pdf>. [Último acceso: 31 Enero 2021].
- [63] B. Sosa, “ecoberso,” 2013. [En línea]. Available: <http://ecoberso.blogspot.com/p/tipos-de-cocinas-solares.html>. [Último acceso: 31 Enero 2021].
- [64] “Cocina con el sol,” 2018. [En línea]. Available: <https://gastronomiasolar.com/cocina-solar-parabolica/>. [Último acceso: 21 Enero 2021].
- [65] Q. Wang, H. Yang, H. Xiaona, J. Li y G. Pei, “Numerical investigation and experimental validation of the impacts of an inner radiation shield on parabolic trough solar receivers,” *Applied Thermal Engineering*, vol. 132, pp. 381-392, 2018.
- [66] A. Ordoñez Garcia, “Efecto de la radiacion solar en la tierra,” Seiscubos, [En línea]. Available: <https://www.seiscubos.com/conocimiento/efecto-de-la-radiacion-solar-en-la-tierra>. [Último acceso: 19 3 2021].
- [67] S. Ettami, D. Saifaoui, M. Oulhazzan y A. Gounni, “Design and development of a parabolic solar concentrator,” *Materials Today:Proceedings*, pp. 1-2, 2020.
- [68] K. Smith, “El uso domestico de leña en los paises en desarrollo y sus repercuciones en la salud,” [En línea]. [Último acceso: 29 Junio 2021].
- [69] A. Macia, D. Estrada, F. Chejne, H. Velásquez y F. Rengifo, “Methodology for the conceptual design of solar kitchens,” *Dyna*, nº 146, pp. 65-88, 2005.
- [70] A. Zaaoumi y M. Alaoui, “Thermal performance simulation analysis of solar field for parabolic trough collectors assigned for ambient conditions in Morocco,” *Renewable Energy*, vol. 163, pp. 1479-1494, 2021.
- [71] L. Monsalvo y O. Zamora , “Diseño de una cocina solar para actividades de camping o afines,” 2009. [En línea]. Available: <https://repository.eafit.edu.co/bitstream/handle/10784/4485/DISE%20DIO%20ODE%20UNA%20COCINA%20SOLAR%20PARA%20ACTIVIDADES%20DE%20CAMPING%200%20AFINES.pdf;jsessionid=FF2B954E0F6C600F7349176C6DDDCD79?sequence=1>. [Último acceso: 27 2 2021].

- [72] M. Aalfs, “Solar Cookers International,” 23 Marzo 2020. [En línea]. Available: https://solarcooking.fandom.com/es/wiki/Principios_de_dise%C3%B1o_de_una_cocina_solar.
- [73] A. Maciá , D. Estrada , F. Chejne, H. Velázquez y R. Rengifo, “Metodología para el diseño conceptual de cocinas solares,” 10 Junio 2004. [En línea]. Available: <http://www.scielo.org.co/pdf/dyna/v72n146/a06v72n146.pdf>.
- [74] J. O. M. Fuertes, “Simulaciones Térmicas Dinámicas de Edificios, Eficiencia Energética de Edificios, La Física de los Edificios, Energía Solar, Confort Térmico, Climatización Solar,” ORCID, 20 Noviembre 2015. [En línea]. Available: <http://alternativarenovable.blogspot.com/2015/11/aplicaciones-fototermicas-bajas.html>.
- [75] Anderson, “Horno Solar – Guia del Instructor,” [En línea]. Available: <https://www2.ece.ohio-state.edu/~anderson/Outreachfiles/K12HornoSolarGuiadelInstructor.pdf>.
- [76] H. Cuenca , “Valoracion tecnica de cocinas solares tipo caja con reflectores interiores de tres, cinco y diez pasos,” 2014. [En línea]. Available: <https://dspace.unl.edu.ec/jspui/bitstream/123456789/12025/1/Cuenca%20Jimenez%2c%20Henry%20Augusto.pdf>.
- [77] Y. A. Cengel y A. J. Ghajar, Transferencia de calor y masa, Mexico: McGraw-Hill, 2011.
- [78] Resabala , Venry Felipe, “Diseño y construcción de una cocina electro solar,” 2017. [En línea]. Available: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/8075/1/15T00674.pdf>.
- [79] N. Visual, “Propagación de Calor,” Nucleo Visual, 2019. [En línea]. Available: <https://nucleovisual.com/propagacion-de-calor-conduccion-conveccion-y-radiacion-con-ejercicio/>.
- [80] Physics, OpenStax University, “Mecanismos de transferencia de calor,” 16 4 2021. [En línea]. Available: <https://cnx.org/contents/6EiQTxeh@26/Mechanisms-of-Heat-Transfer>. [Último acceso: 16 5 2021].

- [81] C. Perela, “Solucion analitica del flujo de calor en receptores cilindros parabolicos,” 7 2016. [En línea]. Available: https://e-archivo.uc3m.es/bitstream/handle/10016/26866/TFG_Cecilia_Perela_Barea_2016.pdf?sequence=1&isAllowed=y. [Último acceso: 4 2021].
- [82] O. Carrillo, “Cocina solar,su conceotualizacion, diseño y contruccion a bajo costo para zona rural del valle de Toluca,” 1 2013. [En línea]. Available: <http://ri.uaemex.mx/bitstream/handle/20.500.11799/49632/LA+COCINA+SOLAR,+SU+CONCEPTUALIZACI%D3N,+DISE%D1O+Y+CONSTRUCCI%D3N+A+BAJO+COSTO+PARA++LA+ZONA+RURAL+DEL+VALLE+DE+TOLUCA.pdf;jsessionid=E07DA4DE05093EB662D3B09F336FACB?sequence=1>. [Último acceso: 27 2 2021].
- [83] H. Rau y R. Fuchs, *Energía solar: aplicaciones practicas*, Barcelona: Marcombo, 1984.
- [84] H. Liang, S. You y H. Zhang, “Comparison of different heat transfer models for parabolic trough solar collectors,” *Applied Energy*, vol. 148, pp. 105-114, 2015.
- [85] O. Edenhofer, R. Madruga y Y. Sokona, “Fuentes de energía renovables y mitigación del cambio climático,” Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático, 2011. [En línea]. Available: https://archive.ipcc.ch/pdf/special-reports/srren/srren_report_es.pdf. [Último acceso: 23 4 2021].
- [86] Tecnosol, “Ventajas de los colectores solares,” Tecnosol, Marzo 2018. [En línea]. Available: <https://www.tecnosolsa.com.ni/blog/2017/06/24/ventajas-de-los-colectores-solares/>.
- [87] cempro, proyectos y planes, “Guía de proyecto de diseño,” 2019. [En línea]. Available: <https://sites.google.com/site/disenodeproyectosociales/capitulo-vi>. [Último acceso: 27 2 2021].
- [88] J. Garcia , “La cocina solar ,un sistema de aprovechamiento directo de la energía solar para cocer los alimentos junto a otras aplicaciones,” 24 5 202. [En línea]. Available: <http://www.ub.edu/geocrit/b3w-376.htm>. [Último acceso: 27 2 2021].

- [89] M. Aalfs, “Solar cookers international,” 23 3 2020. [En línea]. Available: https://solarcooking.fandom.com/es/wiki/Principios_de_dise%C3%B1o_de_una_cocina_solar. [Último acceso: 27 2 2021].
- [90] J. Pineda, “Diseño, construcción y pruebas de una cocina solar parabólica de uso doméstico,” Noviembre 2014. [En línea]. Available: <http://ri.ues.edu.sv/id/eprint/6890/1/Dise%C3%B1o,%20construcci%C3%B3n%20y%20pruebas%20de%20una%20cocina%20solar%20parab%C3%B3lica%20de%20uso%20domestico.pdf>.
- [91] Alberto Grajales, Edgar Serrano, Christine Hahn, “Los métodos y procesos multicriterios para la evaluación,” 14 Marzo 2012. [En línea]. Available: <http://www.scielo.org.co/pdf/luaz/n36/n36a14.pdf>.
- [92] “Movimiento aparente del Sol,” [En línea]. Available: <https://personales.unican.es/gonzalmi/ssolar/articulos/movapsol.html>. [Último acceso: 10 3 2021].
- [93] P. Cooper, “The absorption of radiation in solar stills,” *Solar Energy*, vol. 12, pp. 333-346, 1969.
- [94] K. Readdy y C. Ananthasornaraj, “Design, development and performance investigation of solar Parabolic Trough Collector for large-scale solar power plants,” *Renewable Energy*, vol. 146, pp. 1943-1957, 2020.
- [95] Xigangd, “Energía solar concentrada en Energía Solar de Generación de Sistemas de colectores cilindro-Parabólicos de colectores Solares térmicos de energía Solar térmica,” freepng, 2020. [En línea]. Available: <https://www.freepng.es/png-sh15oz/>.
- [96] A. Kundapur y S. C.V, “Proposal for new world standard for testing solar cookers,” *Journal of Engineering Science and Technology*, vol. 4, n° 3, pp. 272-281, 2009.
- [97] Y. Cengel, *Transferencia de calor y masa*, México: McGraw-Hill, 2007.
- [98] E. Bellos, C. Tzivanidis y D. Tsimpoukis, “Multi-criteria evaluation of parabolic trough collector with internally finned absorbers,” *Applied Energy*, vol. 205, pp. 540-561, 2017.
- [99] A. Gama, C. Larbes, A. Malek, F. Yettou y B. Adouane, “Design and realization of a novel sun tracking system with absorber displacement for

- parabolic trough collectors,” *Journal of Renewable and Sustainable Energy*, vol. 5, n° 033108, 2013.
- [100] P. Padilla, “Trendkuisine,” 26 9 2018. [En línea]. Available: <https://trendkuisine.com/blogs/tk-blog/baterias-de-cocina-de-acero-de-grado-quirurgico-que-las-hace-especiales>. [Último acceso: 2 6 2021].
- [101] F. Incropera y D. De Witt, *Fundamentos de Tránsito de calor*, Mexico: Prentice Hall, 1999.
- [102] “Cocinas Solares,” Unidad de Ecotecnologías de la UNAM, 2021. [En línea]. Available: <https://ecotec.unam.mx/ecoteca/cocinas-solares>.
- [103] M. González , O. Rodríguez , I. Ruiz y O. Masera, “Design, manufacturing, thermal characterization of a solar cooker with compound parabolic concentrator and assessment of an integrated stove use monitoring mechanism,” *Energy for Sustainable Development*, vol. 45, pp. 135-141, 2018.
- [104] s. Kakat, R. Shah y W. Aung, *Manual de transferencia de calor por convección monofásica*, Nueva York: John Wiley and Sons Inc., 1987.
- [105] Y. Chandra, A. Singh, S. Mohapatra, J. Kesari y L. Rana, “Numerical optimization and convective thermal loss analysis of improved solar parabolic trough collector receiver system with one sided thermal insulation,” *Solar Energy*, vol. 148, pp. 36-48, 2017.
- [106] X. Song y F. Zhou, “A numerical study of parabolic trough receiver with nonuniform heat flux and helical screw-tape inserts,” *Energy*, vol. 77, pp. 771-782, 2014.
- [107] E. Balado, “Prototipo de campo de colectores solares cilindro-parabólicos,” 3 2011. [En línea]. Available: <https://core.ac.uk/download/pdf/30044951.pdf>. [Último acceso: 2 5 2021].
- [108] F. Struckmann, “Analysis of a Flat-plate Solar Collector,” 8 5 2008. [En línea]. Available: https://www.ht.energy.lth.se/fileadmin/ht/Kurser/MVK160/Project_08/Fabio.pdf. [Último acceso: 2 5 2021].

- [109] B. Requena Serra, “Universo Formulas,” 2021. [En línea]. Available: <https://www.universoformulas.com/matematicas/geometria/parabola/>. [Último acceso: 29 5 2021].
- [110] NKS, “NKS de México,” [En línea]. Available: <https://nks.com/es/distribuidor-de-acero-inoxidable/acero-inoxidable-302/>. [Último acceso: 1 6 2021].
- [111] R. Gomelsky, “Evaluacion rapida y análisis de brechas en el sector energetico ecuador,” 2013. [En línea]. Available: https://www.seforall.org/sites/default/files/Ecuador_RAGA_ES_Released.pdf. [Último acceso: 29 Junio 2021].

ANEXOS

Anexo 1. Tabla para encontrar las funciones de Bessel J_0 , J_1 y λ_1 , A_1 coeficientes de regímenes transitorio en un cilindro. [67]

Coeficientes usados en la solución aproximada de un término de la conducción de calor unidimensional en régimen transitorio en paredes planas, cilindros y esferas ($Bi = hL/k$ para una pared plana de espesor $2L$ y $Bi = hr_o/k$ para un cilindro o una esfera de radio r_o)

Bi	Pared plana		Cilindro		Esfera	
	λ_1	A_1	λ_1	A_1	λ_1	A_1
0.01	0.0998	1.0017	0.1412	1.0025	0.1730	1.0030
0.02	0.1410	1.0033	0.1995	1.0050	0.2445	1.0060
0.04	0.1987	1.0066	0.2814	1.0099	0.3450	1.0120
0.06	0.2425	1.0098	0.3438	1.0148	0.4217	1.0179
0.08	0.2791	1.0130	0.3960	1.0197	0.4860	1.0239
0.1	0.3111	1.0161	0.4417	1.0246	0.5423	1.0298
0.2	0.4328	1.0311	0.6170	1.0483	0.7593	1.0592
0.3	0.5218	1.0450	0.7465	1.0712	0.9208	1.0880
0.4	0.5932	1.0580	0.8516	1.0931	1.0528	1.1164
0.5	0.6533	1.0701	0.9408	1.1143	1.1656	1.1441
0.6	0.7051	1.0814	1.0184	1.1345	1.2644	1.1713
0.7	0.7506	1.0918	1.0873	1.1539	1.3525	1.1978
0.8	0.7910	1.1016	1.1490	1.1724	1.4320	1.2236
0.9	0.8274	1.1107	1.2048	1.1902	1.5044	1.2488
1.0	0.8603	1.1191	1.2558	1.2071	1.5708	1.2732
2.0	1.0769	1.1785	1.5995	1.3384	2.0288	1.4793
3.0	1.1925	1.2102	1.7887	1.4191	2.2889	1.6227
4.0	1.2646	1.2287	1.9081	1.4698	2.4556	1.7202
5.0	1.3138	1.2403	1.9898	1.5029	2.5704	1.7870
6.0	1.3496	1.2479	2.0490	1.5253	2.6537	1.8338
7.0	1.3766	1.2532	2.0937	1.5411	2.7165	1.8673
8.0	1.3978	1.2570	2.1286	1.5526	2.7654	1.8920
9.0	1.4149	1.2598	2.1566	1.5611	2.8044	1.9106
10.0	1.4289	1.2620	2.1795	1.5677	2.8363	1.9249
20.0	1.4961	1.2699	2.2880	1.5919	2.9857	1.9781
30.0	1.5202	1.2717	2.3261	1.5973	3.0372	1.9898
40.0	1.5325	1.2723	2.3455	1.5993	3.0632	1.9942
50.0	1.5400	1.2727	2.3572	1.6002	3.0788	1.9962
100.0	1.5552	1.2731	2.3809	1.6015	3.1102	1.9990
∞	1.5708	1.2732	2.4048	1.6021	3.1416	2.0000

Funciones de Bessel de primera especie y de cero y primer orden

η	$J_0(\eta)$	$J_1(\eta)$
0.0	1.0000	0.0000
0.1	0.9975	0.0499
0.2	0.9900	0.0995
0.3	0.9776	0.1483
0.4	0.9604	0.1960
0.5	0.9385	0.2423
0.6	0.9120	0.2867
0.7	0.8812	0.3290
0.8	0.8463	0.3688
0.9	0.8075	0.4059
1.0	0.7652	0.4400
1.1	0.7196	0.4709
1.2	0.6711	0.4983
1.3	0.6201	0.5220
1.4	0.5669	0.5419
1.5	0.5118	0.5579
1.6	0.4554	0.5699
1.7	0.3980	0.5778
1.8	0.3400	0.5815
1.9	0.2818	0.5812
2.0	0.2239	0.5767
2.1	0.1666	0.5683
2.2	0.1104	0.5560
2.3	0.0555	0.5399
2.4	0.0025	0.5202
2.6	-0.0968	-0.4708
2.8	-0.1850	-0.4097
3.0	-0.2601	-0.3391
3.2	-0.3202	-0.2613

Anexo 2. Concentrador solar en construcción.



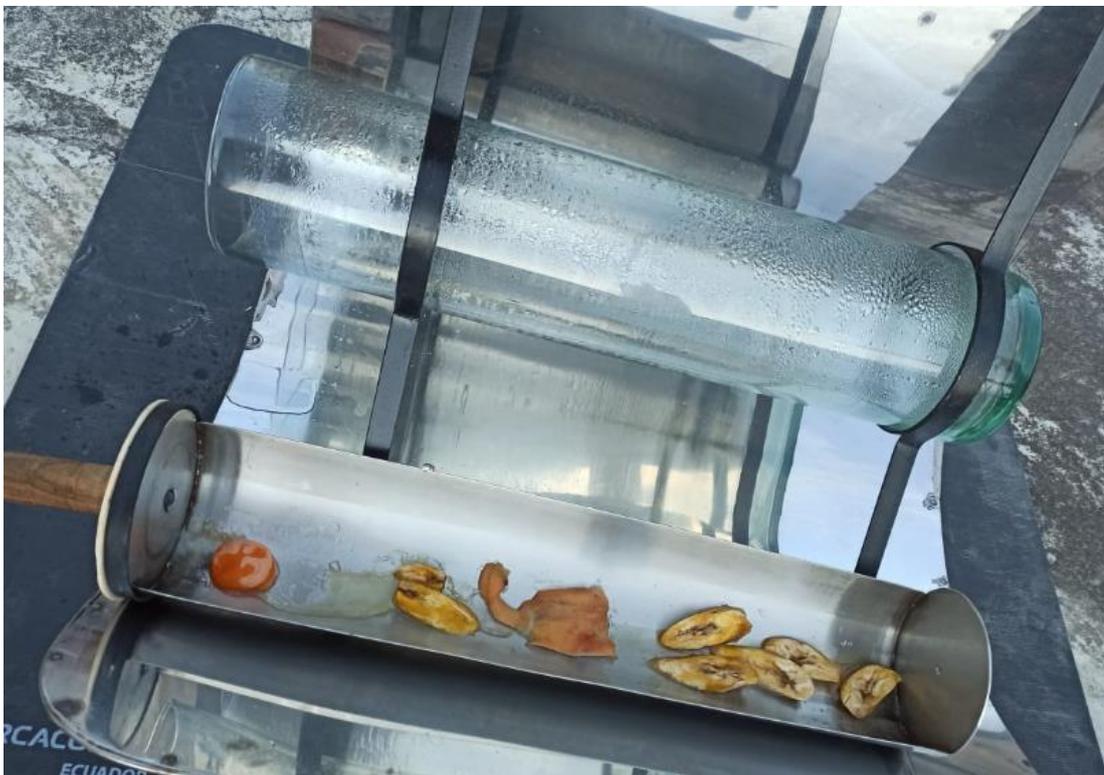
Anexo 3. Recubrimiento de parte externa de colector con pintura mate piedra.



Anexo 4. Estación climatológica y bandeja de cocción.



Anexo 5. Concentrador solar tipo canal cilindro parabólico, en la bandeja se muestra los alimentos a ser cocinados.



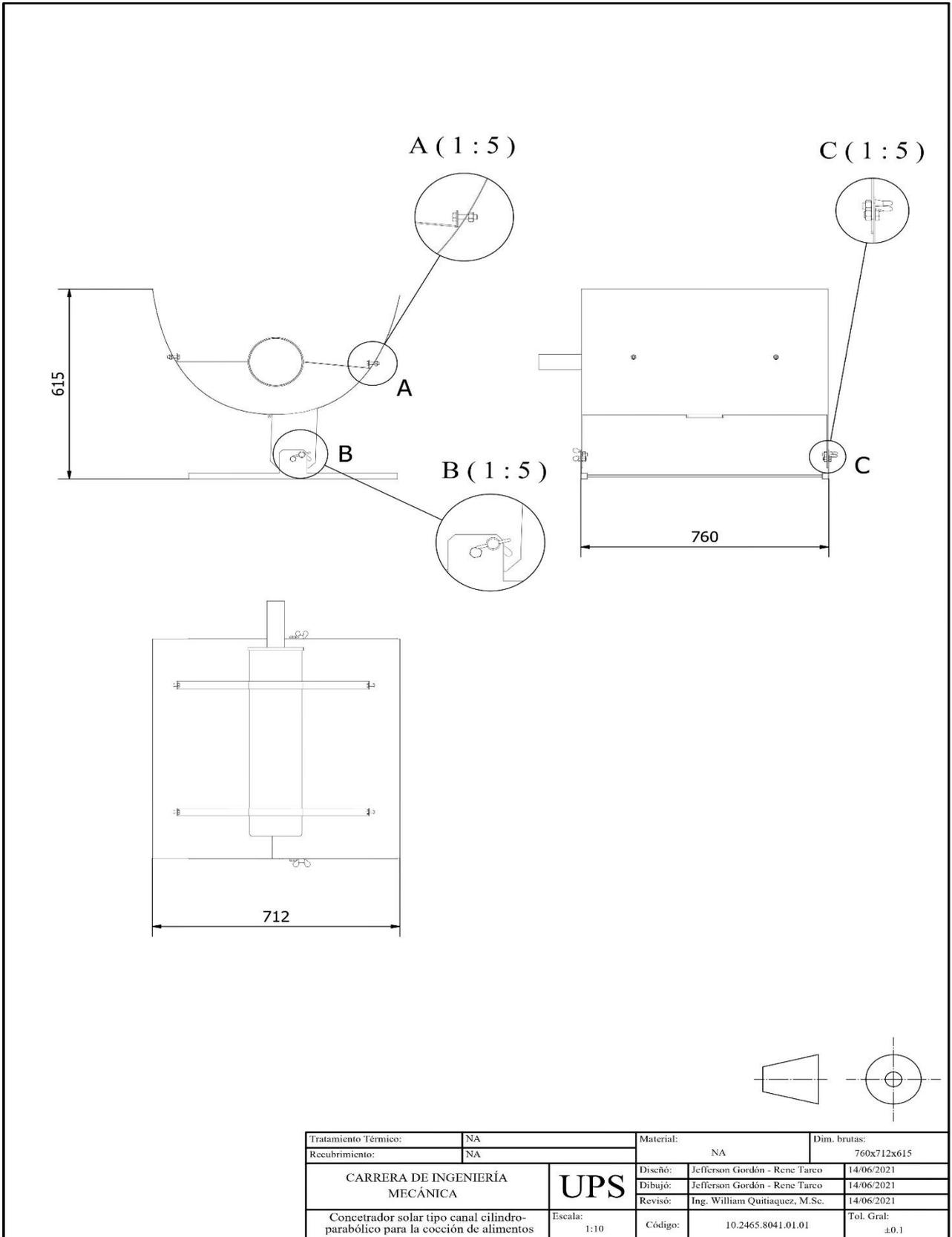
Anexo 6. Termómetro infrarrojo, utilizado para la toma de valores de temperaturas tanto del colector y del alimento junto a la pantalla de valores emitidas por la estación climatológica.



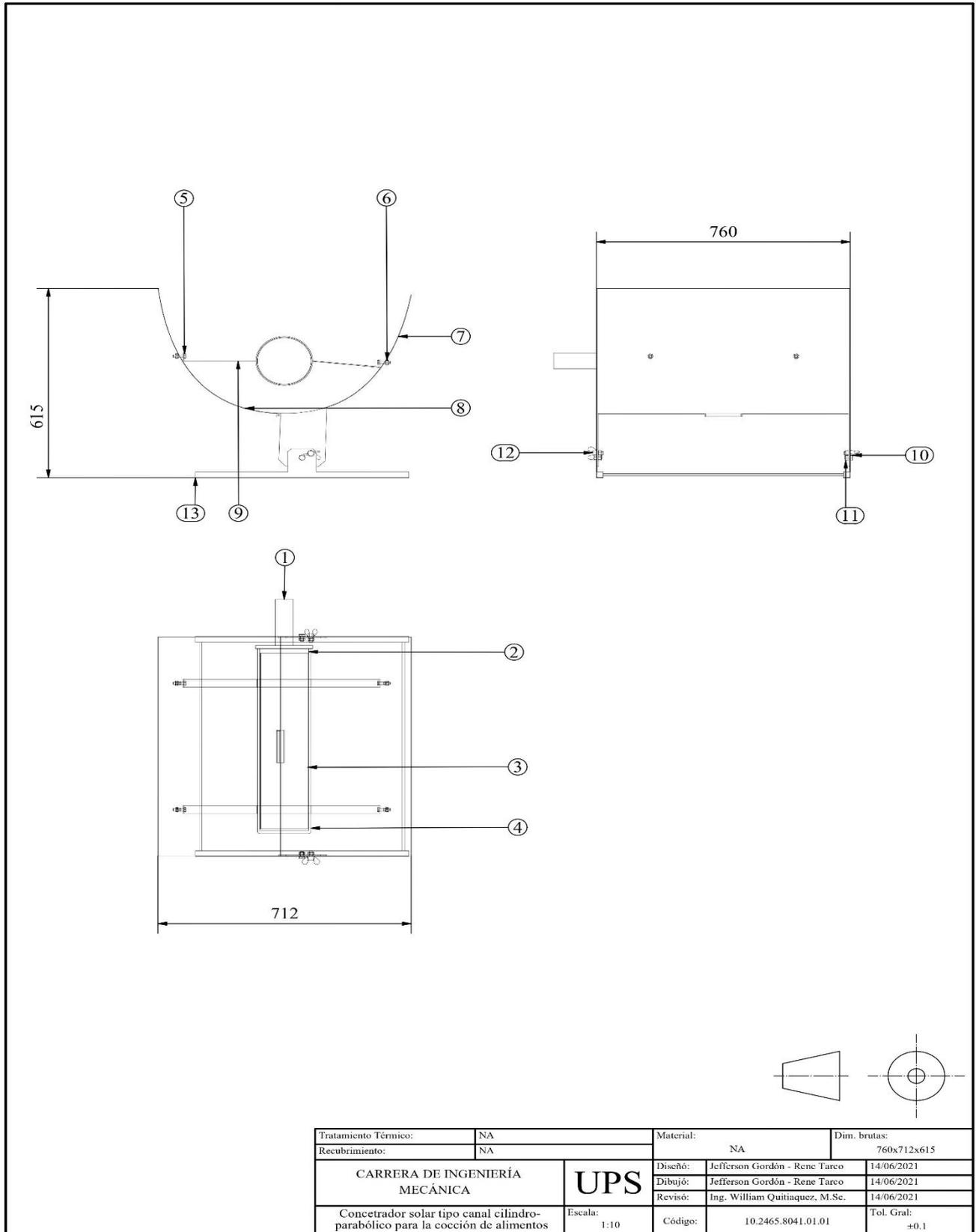
Anexo 7. Concentrador solar junto a estación climatológica.



Anexo 8. Plano de vistas de concentrador solar tipo canal cilindro parabólico para cocción de alimentos.



Anexo 9. Plano de vistas de concentrador solar tipo canal cilindro parabólico para cocción de alimentos



Anexo 10. Plano de conjunto

13	Base	1	N.A		Acero A-36	760x600x90	
12	Perno tipo mariposa - M6 x 16	2	CNS 4488		A-307		Galvanizado
11	Tuerca- M6 tipo 5	4	AS 1112		A-307		Galvanizado
10	Pernos M6 x 16	2	AS 1110		A-307		Galvanizado
9	Soporte	2	N.A		A-36	530x154x3	
8	Parabòla 2	1	N.A		Acero Inox 304	720x210x2	Brillante con revestimiento de pintura batepiedra
7	Parabòla 1	1	N.A		Acero Inox 304	720x300x2	Brillante con revestimiento de pintura batepiedra
6	Tuerca M6	4	AS 1112		A-307		Galvanizado
5	Pernos M6 x 20	4	AS 1110		A-307		Galvanizado
4	Tubo de vidrio	1	N.A		Vidrio Termoformado	595x140x6	
3	Bandeja de cocciòn	1	N.A		Acero Inox 304	550x60x2	Mate
2	Caucho retenedor	1	N.A		Caucho		
1	Mango	1	N.A		Madera		
Ref.	Denominaciòn	Cnt.	Norma	Localiz.	Material	Dim. Brutas	Observaciones
Tratamiento Termico:		NA		Material:		Dim. brutas:	
Recubrimiento:		NA		NA		760x600x900	
CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA				UPS		Diseño: Jefferson Gordon - Rene Tarco 14/06/2021	
						Dibujó: Jefferson Gordon - Rene Tarco 14/06/2021	
						Revisó: Ing. William Quinsiguez, M.Sc. 14/06/2021	
Concentrador solar tipo canal cilindro-parabòlico para la cocciòn de alimentos				Escala: 1:20		Código: 10.2465.8041.01.00 Tot. Gral: NA	

Anexo 11. Equipo de trabajo, Rene Tarco - Jefferson Gordon

