



1859



Universidad
Nacional
de Loja

Universidad Nacional de Loja

Facultad de la Energía, las Industrias y los Recursos

Naturales no Renovables

Carrera de Ingeniería Electromecánica

Evaluación energética de la modernización de un hidroseguidor solar con fines de aplicación térmica en la Facultad de Energía de la Universidad Nacional de Loja

Trabajo de Titulación previo a la obtención del título de Ingeniero en Electromecánica.

AUTOR:

Marcelo Javier Ordóñez Palacios

DIRECTOR:

Ing. Thuesman Estuardo Montaña Peralta. Mg. Sc

Loja – Ecuador

2023

Certificación

Loja, 24 de agosto del 2022

Ing. Thuesman Estuardo Montaña Peralta. Mg. Sc
DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

CERTIFICO:

Que he revisado y orientado todo el proceso de elaboración del Trabajo de Titulación denominado: **Evaluación energética de la modernización de un hidroseguidor solar con fines de aplicación térmica en la Facultad de Energía de la Universidad Nacional de Loja**, previa a la obtención del título de **Ingeniero Electromecánico**, de la autoría del estudiante **Marcelo Javier Ordóñez Palacios**, con **cédula de identidad Nro. 1105639353**, una vez que el trabajo cumple con todos los requisitos exigidos por la Universidad Nacional de Loja, para el efecto, autorizo la presentación del mismo para su respectiva sustentación y defensa.

Ing. Thuesman Estuardo Montaña Peralta. Mg. Sc
DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Autoría

Yo, **Marcelo Javier Ordóñez Palacios**, declaro ser autor del presente Trabajo de Titulación y eximo expresamente a la Universidad Nacional de Loja y a sus Jurídicos de posibles reclamos y acciones legales, por el contenido del mismo. Adicionalmente acepto y autorizo a la Universidad Nacional de Loja, la publicación de mi Trabajo de Titulación en el Repositorio Institucional-Biblioteca Virtual.

Firma:



Cédula de identidad: 1105639353

Fecha:06/04/2023

Correo electrónico: marcelo.ordonez@unl.edu.ec

Teléfono: 0981984824

Carta de autorización por parte del autor, para consulta, reproducción parcial o total y/o publicación electrónica del texto completo, del Trabajo de Titulación.

Yo, **Marcelo Javier Ordóñez Palacios**, declaro ser autor del Trabajo de Titulación denominado: **Evaluación energética de la modernización de un hidroseguidor solar con fines de aplicación térmica en la Facultad de Energía de la Universidad Nacional de Loja**, como requisito para optar por el título de **Ingeniero electromecánico**; autorizo al sistema Bibliotecario de la Universidad Nacional de Loja para que, con fines académicos, muestre al mundo la producción intelectual de la Universidad, a través de la visibilidad de su contenido de la siguiente manera en el Repositorio Institucional:

Los usuarios pueden consultar el contenido de este trabajo en el Repositorio Institucional, en las redes de información del país y del exterior, con los cuales tenga convenio la Universidad.

La Universidad Nacional de Loja, no se responsabiliza por el plagio o copia del Trabajo de Titulación que realice un tercero.

Para constancia de esta autorización en la ciudad de Loja, a los seis días del mes de abril del dos mil veintitrés, firma el autor:

Firma:



Autor: Marcelo Javier Ordóñez Palacios

Cédula de identidad: 1105639353

Dirección: Manuel Zambrano y Abraham Lincoln

Correo electrónico: marcelo.ordonez@unl.edu.ec

Teléfono: 0981984824

DATOS COMPLEMENTARIOS:

Director del Trabajo de Titulación: Ing. Thuesman Estuardo Montaña Peralta, Mg. Sc.

Dedicatoria

El presente trabajo de investigación se lo dedico a mis seres queridos; mis padres, mis hermanas, mi abuela y abuelo paternos, mi familia materna y, mis amigos, que siempre han sido partícipes de mis logros y motivantes de seguir adelante.

Marcelo Javier Ordóñez Palacios

Agradecimiento

Agradezco a todas las personas que me apoyaron en la presente labor al culminar un arduo periodo académico llevado a cabo en los últimos años. De manera especial, a mis padres, hermanas y abuelos, que son mi principal fuente de apoyo para cualquier actividad que llevo a cabo.

Marcelo Javier Ordóñez Palacios

Índice de contenidos

Portada.....	i
Certificación	ii
Autoría	iii
Carta de autorización	iv
Dedicatoria.....	v
Agradecimiento	vi
Índice de contenidos.....	vii
Índice de figuras:.....	x
Índice de tablas:.....	xii
Índice de gráficas:	xiii
Índice de anexos:	xvi
Simbología:	xiv
1. Título.....	1
2. Resumen	2
2.1. Abstract	3
3. Introducción.....	4
4. Marco Teórico.....	7
4.1. Energía solar.....	7
4.1.1. Energía solar térmica	7
4.1.2. Radiación solar.....	7
4.1.3. Irradiación solar	7
4.2. Aprovechamiento del recurso solar.....	8
4.2.1. Cocina solar parabólica.....	8
4.2.2. Cocina Parvati.....	8
4.2.3. Hornos solares.....	9
4.2.3.1. Componentes.....	10
4.2.3.2. Funcionamiento.....	11

4.2.3.3.	Aplicaciones.....	12
4.2.3.4.	Norma estandarizada que regirá la evaluación del horno solar.....	12
4.2.3.5.	Parámetros de evaluación.....	15
4.3.	Eficiencia.....	17
4.3.1.	Aporte de sistema de seguimiento solar.....	17
4.3.2.	Rendimiento.....	18
4.3.2.1.	Cálculo de rendimiento.....	18
4.3.2.2.	Método de Simpson.....	20
4.4.	Sistemas de seguimiento solar.....	20
4.4.1.	Hidroseguidores.....	21
4.4.1.1.	Componentes.....	22
4.4.1.2.	Funcionamiento.....	23
4.5.	Mantenimiento, conceptos básicos.....	24
4.5.1.	Definición.....	24
4.5.2.	Tipos.....	24
4.6.	Fenómenos ópticos.....	24
4.6.1.	Reflexión.....	24
4.6.2.	Materiales reflectores.....	25
4.6.3.	Concentradores solares de gran flujo.....	25
4.7.	Centro de gravedad y centroide de un cuerpo.....	27
4.8.	Conceptos de geometría.....	29
4.8.1.	Ecuación de la recta.....	29
5.	Metodología.....	30
5.1.	Materiales.....	30
5.2.	Métodos.....	31
6.	Resultados.....	33
6.1.	Actividades previas a la primera recolección de datos.....	33
6.1.1.	Mantenimiento del equipo.....	33

6.2.	Primera recolección de datos.....	34
6.3.	Actividades previas a la segunda recolección de datos.....	38
6.3.1.	Mantenimiento previo.....	38
6.3.2.	Adaptación de mejoras.....	39
6.3.2.1.	Mejora #1: Sistema de contrapeso.	39
	➤ Primer volumen de revolución (interior).....	41
	➤ Segundo volumen de revolución (exterior).....	43
	➤ Adición de sólidos.....	44
	➤ Mejora #1: Adición del contrapeso.	46
6.3.2.2.	Mejora #2: Implementación de material reflector Mylar.....	48
6.3.2.3.	Mejora #3: Uso de tapa de vidrio.....	54
6.3.2.4.	Mejoras incluidas.....	57
6.4.	Segunda recolección de datos.	58
6.5.	Cálculo de rendimiento.....	60
6.5.1.	Valor de rendimiento en la primera recolección de datos.....	61
6.5.2.	Cálculo de rendimiento en la segunda recolección de datos.....	63
7.	Discusión.....	66
8.	Conclusiones.....	68
9.	Recomendaciones.....	69
10.	Bibliografía.....	70
11.	Anexos.....	73

Índice de figuras:

Figura 1: Cocina solar parabólica Dieter Seifert.	8
Figura 2. Disposición de rayos solares. en cocina solar Parvati.	9
Figura 4. Horno solar Suntaste Large.	10
Figura 5. Componentes de un horno solar.	10
Figura 6. Rayos solares reflejados hacia el interior del horno.	11
Figura 7. Efecto invernadero producido dentro del horno.	11
Figura 8. Aislamiento en paredes interiores del horno.	12
Figura 9. Aparato para cocina de Adams.	16
Figura 10. Horno solar de cubierta horizontal.	17
Figura 11. Comparación entre un sistema fijo y sistema con seguidor solar.	18
Figura 12. Cambio de disposición de los rayos solares en temporadas.	21
Figura 13. Tipos de seguidores solares según su movilidad.	21
Figura 14. Hidroseguidor: funcionamiento.	23
Figura 15. Punto focal de la parábola.	27
Figura 16. Variación de parábola desde ángulo de borde.	27
Figura 17. Representación de centroide.	28
Figura 18. Centroides de un cuerpo de revolución.	29
Figura 19. Estado de componentes.	33
Figura 20. Suelda en frío (fisura en tanque).	33
Figura 21. Limpieza de tanque.	33
Figura 22. Limpieza de interior de horno.	33
Figura 23. Mediciones.	34
Figura 24. Recolección de datos.	34
Figura 25. Reemplazo de tanque de carga.	38
Figura 26. Adecuación del nuevo tanque.	38
Figura 27. Válvula tipo bola reguladora para descarga.	39
Figura 28. Aplicación de EPOXI (tanque de descarga).	39
Figura 29. Contrapesos en cocina parabólica.	40
Figura 30. Sistema de contrapeso en la base del horno solar.	40
Figura 31. Sólido de revolución interior con medidas (SOLIDWORKS).	42
Figura 32. Horno solar (SOLIDWORKS).	44

Figura 33. Fórmulas de cilindro.....	44
Figura 34. Vista lateral del dispositivo (SOLIDWORKS).	45
Figura 35. Sistema de contrapeso en el eje exterior del horno solar.	48
Figura 36. Mylar (manta térmica).	49
Figura 37. Vista previa de los concentradores en el horno (SOLIDWORKS).	50
Figura 38. Concentrador solar tipo plato.	50
Figura 39. Prueba de continuidad en Mylar.....	52
Figura 40. Pieza base de concentrador.....	52
Figura 41. Elaboración de concentrador parabólico.	53
Figura 42. Concentradores ubicados en el horno solar.	54
Figura 43. Circuito del flujo de calor (sin tapa de vidrio).	55
Figura 44. Circuito del flujo de calor (con tapa de vidrio).	55
Figura 45. Dispositivo solar con tapa de vidrio.	55
Figura 46. Mejoras instaladas en el equipo.....	58
Figura 47. Compilación de imágenes del primer mantenimiento del equipo	80
Figura 48. Compilación de imágenes de segundo mantenimiento del equipo.....	84
Figura 49. Elaboración de concentrador parabólico	92

Índice de tablas:

Tabla 1. Datos de medición para ejemplo de cálculo.	35
Tabla 2. Datos de diferencia de temperatura y potencia estandarizada.	36
Tabla 3. Datos de volumen y producto.	45
Tabla 4. Valores a evaluar de centroide.	47
Tabla 5. Valores de centroide.	47
Tabla 6. Valores de diámetro con respecto al ángulo de borde.	51
Tabla 7. Resistencias térmicas presentes.	56
Tabla 8. Mediciones con mejoras aplicadas.....	59
Tabla 9. Valores de variación de temperatura y radiación.....	61
Tabla 10. Valores de variación de temperatura y radiación.....	63
Tabla 11. Primer día de mediciones (1 de noviembre de 2022)	81
Tabla 12. Segundo día de mediciones (16 de noviembre de 2022)	82
Tabla 13. Tercer día de mediciones (23 de noviembre de 2022).....	83
Tabla 14. Primer día de mediciones (1 de diciembre de 2022).....	93
Tabla 15. Segundo día de mediciones (5 de diciembre de 2022)	94
Tabla 16. Tercer día de mediciones (26 de diciembre de 2021).....	95

Índice de gráficas:

Gráfica 1. Regresión lineal de primeras mediciones	37
Gráfica 2. Regresión lineal de segundas mediciones.....	60
Gráfica 3. Variación de temperatura.....	96
Gráfica 4. Radiación.	97
Gráfica 5. Variación de temperatura.....	98
Gráfica 6. Radiación	99

Simbología:

P_i: Poder de cocción para intervalo (i). [W]

T₂: Temperatura final del agua. [°C]

T₁: Temperatura inicial del agua. [°C]

M: Masa de agua. [kg]

C_v: Capacidad calorífica del agua. [4186 J/kg °C]

P_s: Poder de cocción solar estandarizado. [W]

I_i: Insolación solar promedio en el intervalo i. [W/m²]

T_d: Diferencia de temperaturas. [°C]

T_w: Temperatura de agua. [°C]

T_a: Temperatura del aire/ambiente. [°C]

P_s: potencia de cocción estandariza [W]

a, b: constantes.

η: rendimiento

P_e: potencia de entrada [W].

R_{media}: valor medio de radiación [W/ m²].

A_{hs}: área del horno solar [m²].

P_p: Potencia de salida [W].

m_{agua}: masa de agua [kg].

C_{H20}: Capacidad calorífica del agua. [4186 J/kg °C]

ΔT_{media}: Variación de temperatura media. [°C]

t: Intervalo de medición. [s]

b: límite superior.

a: límite inferior.

n: número total de (datos) mediciones.

f₀: valor inicial de radiación/incremento de temperatura [W] / [°C].

f_n: valor final de radiación/incremento de temperatura [W] / [°C].

f_{n-2}: valor par de radiación/incremento de temperatura [W] / [°C].

f_{n-1}: valor impar de radiación/incremento de temperatura [W] / [°C].

y: coordenada vertical de la parábola.

x: coordenada horizontal de la parábola.

f: Distancia hacia el punto focal [cm].

d: Diámetro del concentrador. [cm]

θ_{rim} : ángulo de borde. [°/rad]

x: coordenada del centro de gravedad G.

x': coordenada de cada partícula en el sistema.

dV: diferencial de volumen.

Índice de Anexos:

Anexo 1. Reporte de estación meteorológica UNL.	73
Anexo 2. Restricciones de norma estandarizada ASAE S580	79
Anexo 3. Imágenes del primer mantenimiento en el sistema horno – hidroseguidor.	80
Anexo 4. Primeras mediciones en el horno solar.	81
Anexo 5. Imágenes del segundo mantenimiento en el sistema horno – hidroseguidor.	84
Anexo 6. Croquis de figuras de horno.	85
Anexo 7. Hojas de cálculo en PTC Mathcad.	87
Anexo 8. Fórmulas de volumen y centroide de sólidos comunes.	89
Anexo 9. Imágenes de la elaboración de concentradores parabólicos.	92
Anexo 10. Segundas mediciones en el horno solar.	93
Anexo 11. Método de Simpson (tablas y gráficas).	96
Anexo 12. Certificación de traducción del resumen.	100

1. Título

Evaluación energética de la modernización de un hidroseguidor solar con fines de aplicación térmica en la Facultad de Energía de la Universidad Nacional de Loja.

2. Resumen

Este trabajo de investigación describe el proceso que se llevó a cabo en la evaluación de un hidroseguidor solar ubicado en la Universidad Nacional de Loja, que servirá como punto de comparación para posteriores aplicaciones en hornos solares. Como el nombre lo describe, este dispositivo de seguimiento solar tiene como objetivo el cambio de dirección automática para mantener un alineamiento directo con el sol. Este dispositivo será activado en la segunda recolección de datos para probar su aporte junto con el efecto de las mejoras en el hidroseguidor y el horno solar.

Mediante la evaluación energética del hidroseguidor y su acción en fines térmicos, se propone evaluar la potencia y eficiencia que ofrece al activarlo. De manera similar, se obtiene el rendimiento de este proyecto de tesis para ser comparado con el valor de rendimiento obtenido anteriormente. Este proceso fue realizado mediante la norma ASAE S580.

Palabras clave:

Evaluación energética, hidroseguidor, horno solar, energía térmica

2.1. Abstract

This research project describes the process which took place in the solar hidrofollower evaluation located in the National University of Loja, that'll serve as a comparison point for later applications regarding solar ovens. As its name implies, the solar following device has as an objective the change in the automatic direction change to maintain the direct alignment with the sun. This device will be activated in the second data recollection to approve its input along with the effects of the improvements in the hidrofollower and solar oven.

Through the energetic evaluation of the hidrofollower and its action in thermal purposes, it is proposed to evaluate the power and efficiency when activated. Similarly, this thesis project performance is obtained to be compared with the previously obtained performance value in the university. This process was done through the ASAE S580 norm.

Key words:

Energy evaluation, water tracker, solar oven, thermal energy

3. Introducción

Actualmente, la energía solar es un concepto llamativo al momento de hablar de energías renovables. Ofrece una opción popular ante la utilización de combustibles fósiles y una serie de ventajas con respecto a estos. Su aprovechamiento se ve limitado al considerar que solo durante ciertas horas del día, se podrá obtener energía a partir de la acción del sol. Sin embargo, esto no ha sido motivo para evitar el crecimiento de las instalaciones solares fotovoltaicas en el mundo. Según la empresa de información global masiva Markit, 2020, los beneficios de la energía solar han incrementado la atención hacia esta energía limpia desde el 2010 hasta el año presente. Al mismo tiempo, la cantidad de usuarios que deciden optar por esta alternativa ha ido creciendo en la última década, aportando al mercado de instalaciones fotovoltaicas alrededor del mundo.

Existen varias maneras en que los rayos solares son aprovechados por el ser humano para cumplir con necesidades particulares. Se puede decir que, con el paso de los años, la sociedad ha ido adoptando progresivamente la idea de buscar múltiples maneras de aprovechar este valioso recurso para actividades en el aspecto energético. A pesar de que las aplicaciones energéticas a partir del sol son principalmente representadas por sistemas de paneles fotovoltaicos, el aprovechamiento del recurso solar también se puede ver involucrado en aplicaciones del aspecto doméstico.

En la facultad de la Energía, las Industrias y los Recursos Naturales no Renovables (FEIRNNR) de la Universidad Nacional de Loja se han realizado algunos estudios y proyectos de grado con respecto a la aplicación del recurso solar. En el campus universitario se encuentran algunos dispositivos que tienen en común su relación con la radiación proveniente del sol. Se puede observar algunas cocinas solares de varios tipos y tamaños, e incluso un sistema de seguimiento solar basado en principios de mecánica de fluidos.

En el año 2010 se presenta la tesis de grado titulada “DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN HIDROSEGUIDOR PARA EL CONTROL DEL SEGUIMIENTO DE UNA COCINA SOLAR PARABÓLICA”, cuya autoría corresponde al Ing. Julio Cuenca Lima y al Ing. Ángel Quinde Quille. Este proyecto se basó en la construcción de un dispositivo de seguimiento solar para una cocina solar parabólica. La evaluación se realizó con respecto a la eficiencia óptica de la cocina y el movimiento continuo de la misma por acción del hidroseguidor, instrumento a considerar en la presente investigación.

En el año 2014 se presenta la tesis de grado titulada “DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y ANÁLISIS FUNCIONAL-EXPERIMENTAL DE UNA COCINA SOLAR COMBINADA (PARVATI – TIPO CAJA) PARA EL LABORATORIO DE ENERGÍAS RENOVABLES DE LA CIEM – UNL.”, cuya autoría corresponde al Ing. César Uyaguari Carrión. A partir de los resultados de esta tesis y del desempeño del instrumento de captación solar, se pretende aumentar la eficiencia a obtener en el horno solar mediante ciertas mejoras.

La primera mejora constaría de una tapa de vidrio en el horno solar, la segunda mejora sería la modernización de su sistema de contrapeso con respecto a la nueva función a cumplir y, la tercera mejora constaría de la actualización del material reflector empleado. Al conseguir otro material con mejores características reflectoras, se estaría aumentando la capacidad de reflexión de radiación solar dentro del horno solar.

Algunas ventajas del horno solar son:

- Dejar de lado la dependencia al gas o la electricidad.
- Mantener una mejor calidad del aire interior.
- Reducir la cantidad de emisiones de monóxido de carbono.

Esta información invita a desarrollar un interés sobre el funcionamiento de un horno solar y la manera en que se aprovecha la radiación proveniente del sol. Existen múltiples aspectos y detalles con respecto al funcionamiento de este artefacto. Entre estos, la dirección de la cara de mayor tamaño en el transcurso del día es directamente proporcional a la efectividad del proceso de horneado. El monitoreo de la modernización del sistema de alineamiento solar, el sistema de contrapeso y, la adición de algún material de mejores características reflectoras en el horno solar, son procesos necesarios para comprobar, mantener y elevar la efectividad del horno solar.

Aquí se plantea las actividades para cumplir con el presente trabajo de investigación.

Objetivo General:

- Monitorear el funcionamiento del dispositivo de fines térmicos al modernizarlo con la adición del hidroseguidor y el material de mejor capacidad reflectora.

Objetivos Específicos:

- Analizar energéticamente el estado actual del equipo ubicado en la Facultad de Energía de la UNL.

- Implementar las mejoras al hidroseguidor y horno solar.
- Evaluar al equipo una vez repotenciado, tanto el hidroseguidor y horno solar en el aspecto energético y térmico.

4. Marco Teórico

4.1. Energía solar

Es una fuente inagotable de energía renovable obtenida a partir del Sol y la radiación que este infringe sobre el planeta. Tanto el calor como la luz pueden ser aprovechados por diversos captadores como paneles solares (células fotovoltaicas), heliostatos (conjunto móvil de espejos) o colectores térmicos. Mediante estos dispositivos, se puede obtener energía eléctrica o térmica (Peláez y Espinoza, 2015).

4.1.1. Energía solar térmica

Como concepción general de la energía solar térmica es que se basa en transformar los rayos solares en calor. Esta conversión de energía luminosa en energía calorífica sucede todos los días sin la intervención del hombre. Desde el calor aparente de una baldosa expuesta al Sol hasta experimentos caseros como la concentración de los rayos solares mediante una lupa para quemar un pedazo de papel (IDAE, 2018).

4.1.2. Radiación solar

Según Lorente, 2018, la radiación solar es el conjunto de ondas electromagnéticas producidas por reacciones nucleares en el Sol. Mediante la magnitud conocida como “irradiancia solar” se conoce el valor de la radiación incidente en una superficie. La radiación solar varía su valor por los siguientes factores:

- Ubicación.
- Hora del día.
- Época del año.
- Estado del cielo.

4.1.3. Irradiación solar

Una parte de la irradiancia solar llega directamente del Sol sin atravesar ningún obstáculo (irradiancia solar directa). Otra irradiancia atraviesa nubes o gases atmosféricos varios (irradiancia solar difusa). La irradiancia solar directa predomina en días despejados en las horas centrales de estos. Esta varía constantemente con el coseno del ángulo cenital del Sol. Y, por el contrario, cuando es un día nublado, casi toda la irradiancia es difusa (Lorente, 2018).

4.2. Aprovechamiento del recurso solar

Existen varias maneras de aprovechar la radiación solar que el Sol brinda; mediante la energía solar térmica se encuentra el agua caliente sanitaria, la calefacción, la climatización de piscinas o producción de calor en procesos industriales. Existen otras aplicaciones para aprovechar el recurso solar mediante este tipo de instrumentos. Estos artefactos han demostrado su practicidad en varias aplicaciones con fines térmicos. Por ejemplo, mediante estos artefactos solares permiten la pasteurización de agua para su consumo seguro e higiénico (IDAE, 2018).

Un artefacto solar que actúe en condiciones de alta radiación solar aprovechará al máximo el recurso solar existente en el área de estudio. En el presente proyecto de investigación, la provincia de Loja cuenta con el mayor potencial solar del Ecuador (Vaca & Ordóñez, 2019) y, por lo tanto, se presumen resultados favorables.

4.2.1. Cocina solar parabólica.

Es un artefacto de cocción (**Figura 1**) de alimentos que utiliza una superficie reflectora de un paraboloides concentradora de energía solar incidente.

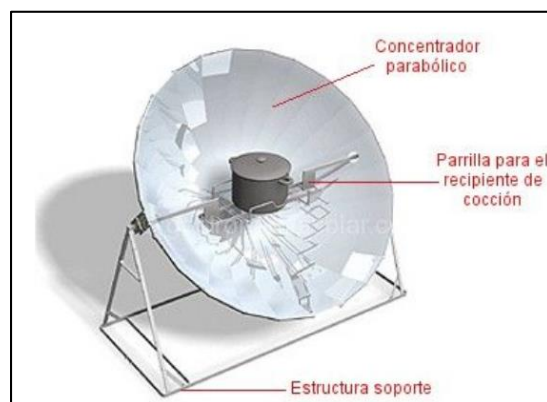


Figura 1: Cocina solar parabólica Dieter Seifert.

Fuente. (GastronomiaSolar, 2012)

Mediante la geometría de la parábola y la reflexión de los rayos solares en dirección al foco, se logra concentrar estos rayos solares en un punto donde iría el recipiente con los alimentos a cocinar.

4.2.2. Cocina Parvati.

La cocina Parvati fue basada en la “Cocina de embudo solar”, la cual es un híbrido

entre dos populares tipos de cocinas solares. La cocina tipo caja y la cocina tipo parábola, ambas pioneras en el aprovechamiento de energía solar para cocción de alimentos. La cocina Parvati es similar a la cocina de embudo solar en términos de funcionamiento. La diferencia radica en que la cocina Parvati tiene una base más amplia, permitiendo apilar varias ollas y aumentando la eficiencia al cocinar alimentos. Este dispositivo permitiría combinar las mejores características de las cocinas antes mencionadas, promoviendo una cocción de alimentos libre de impacto ambiental y en la salud de quienes aspiran los gases de combustión al cocinar mediante medidas más convencionales (SCI, 2018).

El éxito de la cocina Parvati se basa en la reflexión de los rayos solares mediante las paredes de la estructura principal del dispositivo. La concentración de luz solar que llegase a los lados, es reflejada hacia la olla que se utiliza para la cocción. La olla a utilizarse tiene que ser pintada de color negro mate para incrementar la absorción de las ondas electromagnéticas provenientes del sol y aumentar el calor que se produce en la misma. De esta manera, la cocina Parvati asegura que los rayos solares incidan sobre la olla con un ángulo doble (SCI, 2018). En la **Figura 2** se observa como sucede esta acción angular doble.

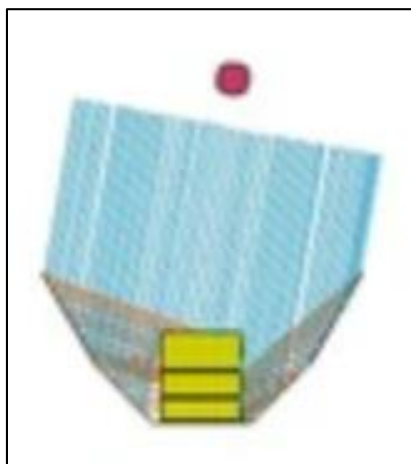


Figura 2. Disposición de rayos solares. en cocina solar Parvati.

Fuente. (GastronomiaSolar, 2012).

4.2.3. Hornos solares

Son dispositivos usados en la cocción de alimentos con la radiación solar como principal y única fuente de energía. Se denomina “horno solar” por la similitud en apariencia a los hornos convencionales (GastronomiaSolar, 2012). En la **Figura 3** se puede apreciar un ejemplo de estos dispositivos.



Figura 3. Horno solar Suntaste Large.

Fuente. (GastronomiaSolar, 2012)

4.2.3.1. Componentes.

Al existir varias versiones de este tipo de instrumento solar, las partes que conforman este dispositivo varían.

Los componentes básicos de este artefacto se pueden observar en la Figura 4. Estos son:

- Zona de cocción: Espacio de paredes recubiertas de aislante térmico donde se acumula el calor y se cocinan los alimentos.
- Cubierta transparente: Tapa que permite el paso de la radiación solar.
- Placa de absorción: Elemento que transforma la luz solar en calor. Hecha de materiales con coeficientes de absorción y emisión térmica notables.
- Reflectores: Medios para captar más luz solar y aumentar la capacidad de generar calor.

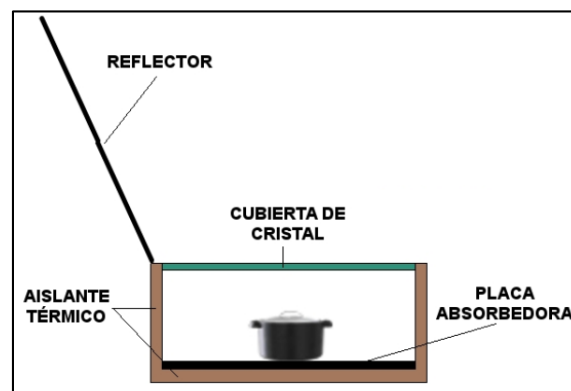


Figura 4. Componentes de un horno solar.

Fuente. (GastronomiaSolar, 2012)

4.2.3.2. Funcionamiento.

La función de un horno solar es transformar la luz solar en calor útil para ser almacenado en un espacio interior (**Figura 5**) y, de esta manera, elevar la temperatura hasta alcanzar la cocción de alimentos. Estas temperaturas no llegan a ser tan altas como aquellas necesarias en métodos convencionales, incidiendo positivamente en el sabor de los alimentos y el valor nutricional de los mismos. Para explicar el funcionamiento de este dispositivo, se ve involucrado al efecto invernadero y el aislamiento térmico dentro del horno.

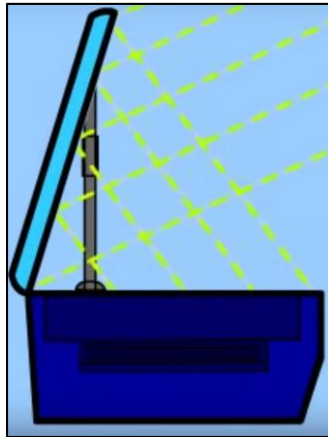


Figura 5. Rayos solares reflejados hacia el interior del horno.

Fuente. (BMLINDOW, 2012)

- Efecto invernadero: Dentro del horno, los rayos solares son absorbidos por la placa para ser transformados en energía calórica. Debido a que este calor no regresa al exterior, se dice que el efecto invernadero que se produce dentro del horno (**Figura 6**) hace de este dispositivo una trampa de energía.



Figura 6. Efecto invernadero producido dentro del horno.

Fuente. (BMLINDOW, 2012)

- Aislamiento térmico: El calor producido dentro del horno no debe disiparse por las paredes. Para llegar a la temperatura deseada de cocción, se debe asegurar un buen aislamiento (**Figura 7**) dentro del horno.

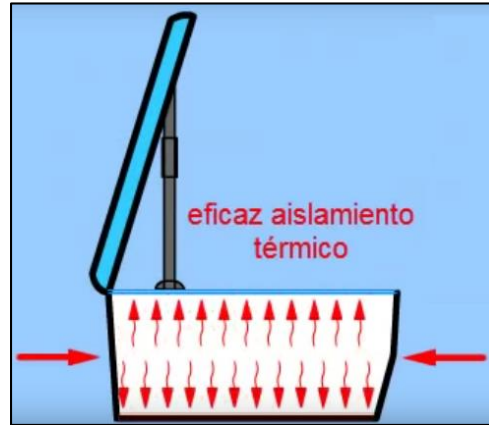


Figura 7. Aislamiento en paredes interiores del horno.

Fuente. (BMLINDOW, 2012)

4.2.3.3. Aplicaciones.

A continuación, se mencionan algunas aplicaciones del horno solar en el aspecto térmico:

- Múltiples tratamientos de agua (pasteurización, destilación, calentamiento).
- Tratamiento de materiales.
- Cocción solar.

4.2.3.4. Norma estandarizada que regirá la evaluación del horno solar.

La norma que se escogió para regir el estudio del horno solar fue la ASAE S580 sobre el testeo y reporte de desempeño de cocinas solares. De acuerdo con Funk, 2013, se evaluarán dos potencias en este estudio. La **Ecuación 1** nos permitirá obtener la potencia de cocción real del horno en un intervalo de 10 minutos (600 segundos).

$$P_i = \frac{(T_2 - T_1)MC_v}{600} \quad (1)$$

Donde:

P_i: Poder de cocción para intervalo (i). [W]

T₂: Temperatura final del agua. [°C]

T_1 : Temperatura inicial del agua. [$^{\circ}\text{C}$]

M : Masa de agua. [kg]

C_v : Capacidad calorífica del agua. [4186 J/kg $^{\circ}\text{C}$]

Y, mediante la **Ecuación 2**, se corrige el poder de cocción solar real para una insolación estándar de 700W/m² considerando el intervalo.

$$P_s = P_i \left(\frac{700}{I_i} \right) \quad (2)$$

Donde:

P_s : Poder de cocción solar estandarizado. [W]

P_i : Poder de cocción para intervalo (i). [W]

I_i : Insolación solar promedio en el intervalo i. [W/m²]

Luego de obtener el valor de P_s , se obtiene la diferencia de temperatura con la ecuación 3.

$$T_d = T_w - T_a \quad (3)$$

Donde:

T_d : Diferencia de temperaturas. [$^{\circ}\text{C}$]

T_w : Temperatura de agua. [$^{\circ}\text{C}$]

T_a : Temperatura del aire/ambiente. [$^{\circ}\text{C}$]

Una vez obtenidos los valores de P_s y T_d , se realiza una regresión lineal y, el gráfico resultante, mostrará la relación entre el poder de cocción estandarizado y la diferencia de temperatura. La norma establece que la ecuación 4 debe ser evaluada para una diferencia de temperaturas de 50 $^{\circ}\text{C}$, estableciendo un punto de comparación en torno a la potencia de cocción estandarizada. La **Ecuación 4** corresponde a la siguiente expresión:

$$P_s = a + b * T_d \quad (4)$$

Donde:

Ps: potencia de cocción estandariza [W]

Td: diferencia de temperatura [$^{\circ}\text{C}$].

a, b: constantes.

Se usarán datos obtenidos de la estación meteorológica ubicada en la facultad, esta información se encuentra en el **Anexo 1**. En esta norma se consideran las variables controladas y aquellas que no. Entre las no controlables se tiene la velocidad del viento, las temperaturas del ambiente, las temperaturas en el horno solar y de la masa de agua a calentar para pruebas. También se tiene en cuenta la insolación y el ángulo que el equipo forma con respecto a los rayos solares. Entre las variables controladas se tiene la carga de agua por metro cuadrado, el seguimiento solar y la medición de temperatura. Para encontrar más información sobre las restricciones de esta norma, ver **Anexo 2**.

En la norma existen algunas restricciones con respecto a la influencia del clima. Para el estudio de estas limitaciones, se utilizarán algunos dispositivos.

- Los instrumentos meteorológicos evaluarán parámetros pertinentes al funcionamiento del equipo y su estandarización. De acuerdo con EDU, 2014, un anemómetro es un instrumento que se utiliza en la medición de la velocidad y dirección del viento. Un piranómetro es un instrumento para medir la radiación solar directa y difusa por unidad de área. Ambos equipos son necesarios en el presente proyecto de investigación.

De manera similar, la temperatura en el ambiente también es parte fundamental en el estudio del funcionamiento del equipo. Los dispositivos para medir temperaturas a utilizar serán la cámara termográfica y termocuplas.

- Una cámara termográfica permite la obtención de valores de temperatura a partir de la energía infrarroja que proviene de los objetos. Mediante la óptica, detector de infrarrojo y el conjunto de sensor electrónico, se crea la imagen infrarroja en el visor (FLIR, 2014).
- Según Arian, 2013, una termocupla es un sensor de temperatura simple que consta de dos alambre unido en un punto. Al detectar temperatura en el punto de unión de los alambres, se genera un voltaje entre las puntas de los alambres, el cual es directamente

proporcional a la temperatura.

4.2.3.5. Parámetros de evaluación.

Bajo el concepto de utilizar las mejoras para incrementar la eficiencia del horno solar, se va a tomar como referencia los resultados obtenidos en la tesis “DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y ANÁLISIS FUNCIONAL-EXPERIMENTAL DE UNA COCINA SOLAR COMBINADA (PARVATI – TIPO CAJA) PARA EL LABORATORIO DE ENERGÍAS RENOVABLES DE LA CIEM – UNL.”. El autor de este proyecto de tesis, el Ing. César Uyaguari Carrión, logró obtener un aprovechamiento de la energía solar incidente de 7.1% en una cocina solar combinada.

Este proceso de evaluación con respecto a un valor de eficiencia previo se registrará mediante la norma ASAE S580; esto se realiza con el objetivo de establecer un estándar para estos dispositivos de fines térmicos, ya que la norma no emite un criterio calificativo con respecto a la funcionalidad de estos artefactos. Mediante un análisis de intervalo de tiempo, diferencia de temperatura y potencia generada por el horno solar en cuestión, se establecerá un criterio base para hablar de la validez de estos dispositivos de aprovechamiento solar.

Además, con el seguimiento de la norma y, la aplicación exitosa de las mejoras en el horno solar, se pretende elevar la eficiencia en un 10%. Para alcanzar la meta propuesta, se considerará algunos detalles alrededor de este dispositivo y su disposición. Según el resumen de (Passamai et al., 2017) con respecto a una gran cantidad de instrumentos de captación solar que detalla en su trabajo, se emite algunos comentarios con respecto a este trabajo de evaluación energética. Estos son:

- La cocina solar que se usó como punto de comparación inicial (Cocina de Adams) es muy similar al dispositivo de cocción solar ubicada en la Universidad Nacional de Loja. La **Figura 8** muestra la Cocina de Adams.

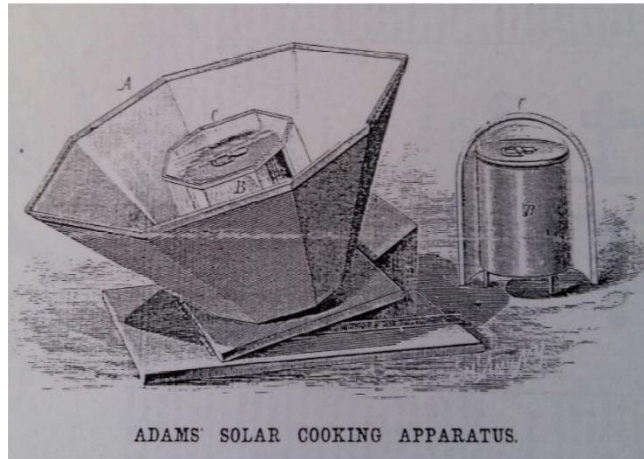


Figura 8. Aparato para cocina de Adams.

Fuente. (Passamai et al., 2017)

- Existía un re-posicionamiento de la cocina solar cada 30 minutos que debía hacerse manualmente.
- El tamaño del reflector cónico es directamente proporcional a la intensidad del calor.
- Una cubierta de vidrio doble (DVH) permite la obtención de temperaturas mayores. En el estudio sobre materiales de cubierta en cocinas solares realizado por (Lema et al., 2006) también se menciona la superioridad en el desempeño de las cocinas con cubiertas de vidrio doble y policarbonato sobre aquellas normales de vidrio simple y acrílico.
- El uso de tapas oscuras es más adecuado que tapas transparentes. De manera similar, el artículo “EXPERIENCIAS CONTROLADAS REALIZADAS CON DISTINTAS COCINAS SOLARES” de (Stoll et al., 2008) demuestra que, al pintar una olla de aluminio, de negro, se obtuvo mayores temperaturas en el agua dentro del recipiente. Cabe recalcar que el dato anterior se obtuvo en una cocina de tipo caja de policarbonato en un ambiente controlado donde la radiación era alrededor de 800 W/m^2 . Las cocinas de tipo caja prevalecen en ser consideradas como punto de comparación en el artículo “EXPERIENCIAS CON COCINAS SOLARES TIPO COOKIT DE COSTO MÍNIMO” de (Passamai & Passamai, 2013) al ser contrastado su funcionamiento con una alternativa de cocina de tipo “Cook it”.
- De la revista ASADES, el artículo “HORNO SOLAR DE CUBIERTA VIDRIADA HORIZONTAL PARA ALTAS LATITUDES” se puede observar un horno de cubierta horizontal (**Figura 9**) con adaptaciones interesantes para un lugar de altas

altitudes. Estas adaptaciones consisten en una de las caras (Norte) con vidrio y un reflector adicional; se realizaron con el objetivo de mejorar el rendimiento de este dispositivo de aprovechamiento solar.



Figura 9. Horno solar de cubierta horizontal.

Fuente. (Esteves, 2003)

- El artículo titulado “State of the art of solar cooking: An overview” de (Panwar et al., 2012) menciona varios estudios que hablan de la función de estos instrumentos térmicos. Estos dispositivos no están limitados a la cocción de alimentos; pueden cumplir una función muy importante para sectores áridos mediante la pasteurización del agua.

4.3. Eficiencia

De acuerdo con Rojas, (2018), eficiencia es la relación entre el resultado real alcanzado y los recursos utilizados; entre estos recursos, el aporte de un sistema de seguimiento solar se estudia en este proyecto.

4.3.1. Aporte de sistema de seguimiento solar

Según Valldoreix GreenPower, (2014), la intensidad de la radiación solar recibida por la Tierra depende de los ciclos diarios y anuales de la misma y, las condiciones climatológicas del lugar. En base a esto, cualquier sistema de aprovechamiento de energía solar, requiere una configuración adecuada en la dirección en que se encuentra para mantener cierto ángulo con respecto al Sol. Para cumplir con esta condición, varios de estos instrumentos de captación solar cuentan con un sistema de seguimiento solar. Con respecto

a la **Figura 10**, se puede apreciar un aumento significativo de la ganancia de captación de radiación solar; la instalación de un dispositivo de seguimiento solar puede llegar a aumentar un 40 % el rendimiento con respecto a una instalación fija.

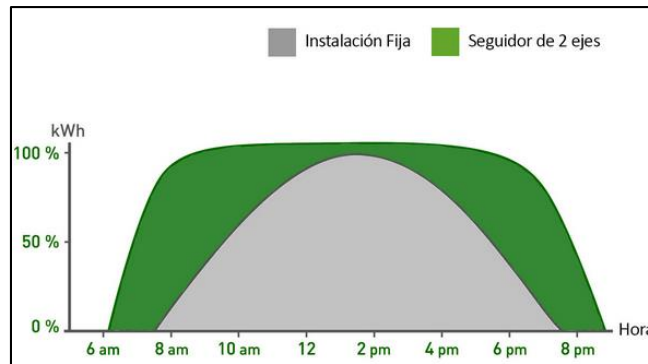


Figura 10. Comparación entre un sistema fijo y sistema con seguidor solar.

Fuente: (Valldoreix GreenPower, 2014)

Se puede observar que adicional a aumentar el porcentaje de kilovatios-hora producidos en el día, la instalación con un seguidor solar (dos ejes) empieza a funcionar más temprano en el día (6 a.m. aprox.) que la instalación fija (7:30 a.m. aprox.). De manera similar, trabaja hasta más tarde que la instalación fija.

4.3.2. Rendimiento

De acuerdo a Rodríguez Pozueta, (2011), rendimiento se define como el cociente entre potencia útil y potencia total. Este concepto se puede aplicar a la investigación de la siguiente manera.

4.3.2.1. Cálculo de rendimiento.

Debido a que dentro del horno solar ingresa radiación solar y se obtiene una elevación de temperatura del agua dentro del recipiente, se obtiene el rendimiento con la relación de estos valores. El porcentaje de rendimiento será la potencia de salida sobre la de entrada. De esta forma, la **Ecuación 5** a utilizar sería:

$$\eta = \frac{P_s}{P_e} \quad (5)$$

Donde:

η : rendimiento

P_e : potencia de entrada [W].

P_s : potencia de salida [W].

La potencia que ingresa al horno solar se calcula al evaluar una radiación promedio incidente en el área con capacidad reflectora hacia el recipiente. La **Ecuación 6** quedaría de la siguiente manera:

$$P_e = R_{media} \cdot A_{hs} \quad (6)$$

Donde:

P_e : potencia de entrada [W].

R_{media} : valor medio de radiación [W].

A_{hs} : área del horno solar [W].

La potencia que sale del horno solar se obtiene con la **Ecuación 7** que involucra la masa de agua que hay en el recipiente, el calor específico del agua y, el incremento de temperatura promedio de esta en un intervalo de tiempo.

$$P_p = \frac{m_{agua} \cdot C_{H2O} \cdot \Delta T_{media}}{t} \quad (7)$$

Donde:

P_p : Potencia de salida [W].

m_{agua} : masa de agua en recipiente [kg].

C_{H2O} : Capacidad calorífica del agua. [4186 J/kg °C]

ΔT_{media} : Variación de temperatura media. [°C]

t : Intervalo de medición. [s]

Cabe recalcar que, para obtener estos valores de potencia, se necesita una radiación e incremento de temperatura promedios; estos valores corresponden a funciones complejas y, de manera similar al trabajo de investigación de (Uyaguari, 2014), se analiza el método de Simpson para calcular el área debajo de la curva que proyecta el rendimiento e incremento de temperatura.

4.3.2.2. Método de Simpson.

De acuerdo a Chapra & Canale, (2015), para calcular el área bajo una curva de una función relativamente compleja, existen varios métodos de mayor exactitud con respecto a los métodos tradicionales que no se pudiesen aplicar.

La regla de Simpson 1/3 para segmentos múltiples muestra características apropiadas en la aplicación de este recurso para, más adelante, obtener el valor medio de radiación solar e incremento de temperatura al dividirlo por n (número de mediciones). La **Ecuación 8** sería:

$$\int_a^b f(x) \cdot dx = \left(\frac{b-a}{3 \cdot n}\right) \cdot (f_0 + 4 \cdot f_1 + 2 \cdot f_2 + 4 \cdot f_3 + 2 \cdot f_4 \dots + 2 \cdot f_{n-2} + 4 \cdot f_{n-1} + f_n) \quad (8)$$

Donde:

b: límite superior.

a: límite inferior.

n: número total de (datos) mediciones.

f₀: valor inicial de radiación/incremento de temperatura [W] / [°C].

f_n: valor final de radiación/incremento de temperatura [W] / [°C].

f_{n-2}: valor par de radiación/incremento de temperatura [W] / [°C].

f_{n-1}: valor impar de radiación/incremento de temperatura [W] / [°C].

Aquí se muestra la ecuación 9 evaluada con respecto al número de mediciones (n).

$$f = \frac{1}{n} \int_a^b f(x) \cdot dx \quad (9)$$

4.4. Sistemas de seguimiento solar

Los seguidores solares se componen de una parte fija y de otra móvil. Su objetivo es seguir el movimiento del Sol y de orientar el área de los módulos de forma perpendicular a los rayos solares. En la **Figura 11** se puede observar la diferencia en la disposición que tienen los rayos solares entre invierno y verano (Valldoreix GreenPower, 2014).

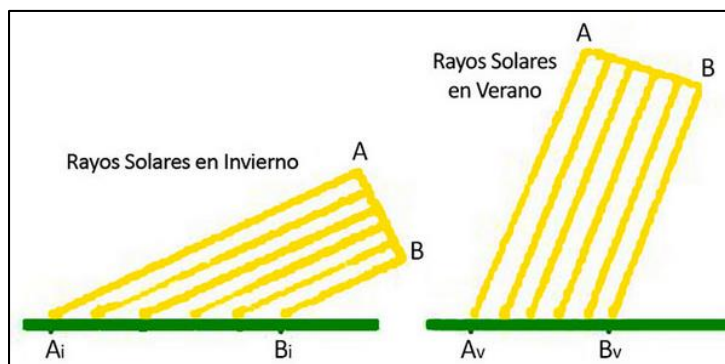


Figura 11. Cambio de disposición de los rayos solares en temporadas.

Fuente. (Valldoreix GreenPower, 2014)

Una clasificación de estos es según la movilidad que ofrecen. Los seguidores de 1 eje se mueven de este a oeste durante el día variando su ángulo de azimut. Los seguidores de 2 ejes adicional al movimiento anterior, tienen la capacidad de seguir el ángulo de elevación del sol. Esta información se ilustra de mejor manera en la **Figura 12.**

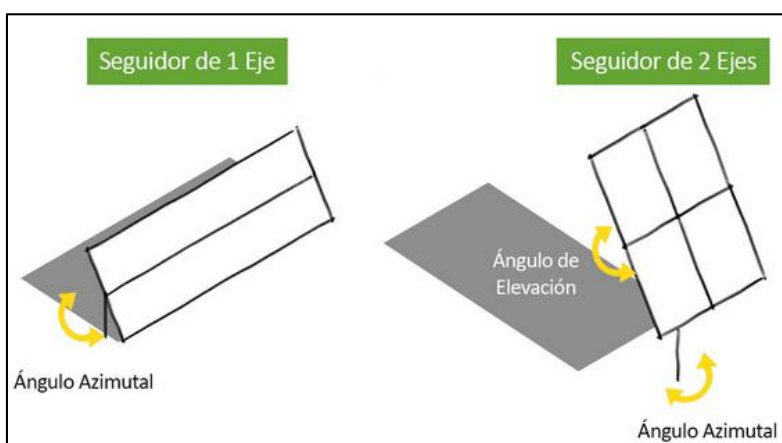


Figura 12. Tipos de seguidores solares según su movilidad.

Fuente. (Valldoreix GreenPower, 2014).

Hay múltiples fuentes de información que aseguran el aporte positivo que tienen los sistemas de seguimiento solar. La implementación de este tipo de sistemas aumentó en un 15 y 20% los Kwh generados a través del campo fotovoltaico estático, siendo clave en la máxima captación de energía durante todo el día. (Valldoreix GreenPower, 2014).

4.4.1. Hidroseguidores

De acuerdo con la RAE, 2019, el prefijo “hidro” significa agua. Por lo tanto, los hidroseguidores, bajo el concepto de sistemas de seguimiento solar, serán aquellos dispositivos que cumplan con la misión de seguir el movimiento del Sol para mantener cierta

perpendicularidad con los rayos solares; todo esto, mediante la aplicación del agua y algún fenómeno o ley que permita este objetivo. El hidroseguidor resulta como una alternativa a los sistemas de seguimiento solar comunes previamente vistos.

Actualmente, existe un mecanismo de seguimiento solar ubicado en la FEIRNNR. Este artefacto, cuya autoría corresponde a Cuenca y Quinde, 2010, fue diseñado para trabajar con una cocina solar parabólica. Es decir, el hidroseguidor no está diseñado a funcionar con el horno solar. De esta manera, se tendría que modernizar el artefacto actual adaptándolo a la nueva necesidad generada por las diferencias constructivas entre ambos artefactos de captación solar. El monitoreo de la modernización del hidroseguidor para su posterior adición al horno solar puede resultar en una mejoría al desempeño del mismo en los múltiples fines térmicos, incidiendo directamente en su alineación constante con el Sol.

4.4.1.1. Componentes.

De acuerdo a información extraída de Cuenca y Quinde, (2010), se observa un esquema demostrativo (**Figura 13**) de la función de un hidroseguidor (acción dirigida a una estación fotovoltaica de régimen autónomo) y sus componentes.

- Hidroseguidor de descarga libre: Es un tanque previamente dimensionado para la descarga libre de agua y el accionamiento del flotador de peso constante I para mover el eje de la caldera.
- Hidroseguidor de carga libre: Es un tanque previamente dimensionado para la carga libre de agua y el accionamiento del flotador de peso constante al mover el eje de la caldera.
- Flotadores de peso constante: Son flotadores que permiten la subida y bajada de agua para dar una movilidad controlada al eje de la caldera.
- Motobomba para recirculación de agua: Se encarga de trasladar el agua del tanque secundario al tanque primario al finalizar el día.
- Sensores de nivel: Permiten el control de nivel de ambos tanques mediante un accionamiento inteligente.
- Medidor de nivel para llenado de tanque: Permite una apreciación visual del nivel de los tanques.
- Válvula check (retención): Dispositivo hidráulico que condiciona al fluido a moverse

en una sola dirección.

- Tuberías: Permiten la recirculación del agua entre tanques.
- Contrapesos: Masas debidamente calculadas que contrarrestan las fuerzas contrarias al giro del hidroseguidor para que este cumpla su función.
- Manguera flexible: Conducto para abastecimiento de agua entre tanques.
- Polea: sistema mecánico para comunicar el direccionamiento constante de los flotadores al eje de caldera.

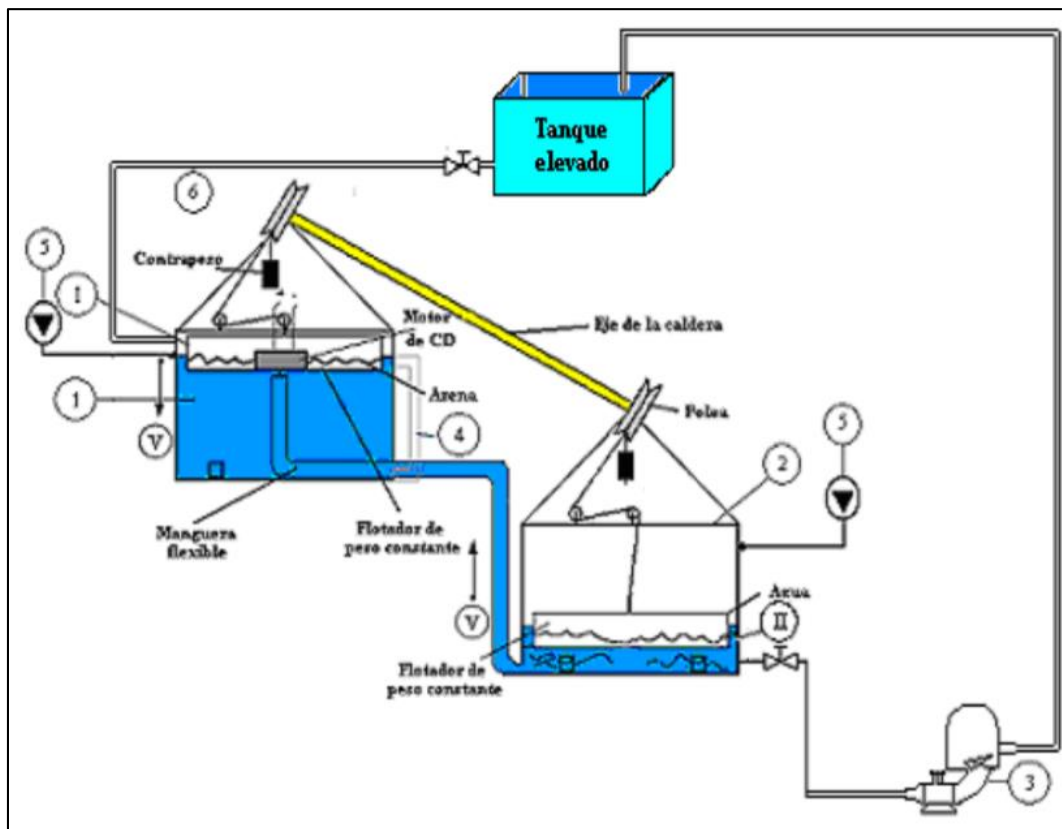


Figura 13. Hidroseguidor: funcionamiento.

Fuente. (Cuenca y Quinde, 2010)

4.4.1.2. Funcionamiento.

El hidroseguidor es un amplificador hidráulico programado que basa su acción en la energía de la gravedad durante la descarga y carga libre de agua. Mediante la acción de sus dos tanques hidroseguidores, se mantendrá el dispositivo captador de energía solar perpendicular hacia los rayos del sol (Cuenca y Quinde, 2010).

El tanque primario se encuentra lleno de agua con su flotador en la posición más alta.

El tanque secundario se encuentra vacío con su flotador en la posición más baja. El proceso empezaría al fluir el agua del tanque primario por la manguera flexible haciendo que el flotador descienda a velocidad constante. Esta velocidad tendrá relación con la velocidad media de rotación de la Tierra alrededor de su eje imaginario con el radio de la polea que conecta con el eje de la caldera.

4.5. Mantenimiento, conceptos básicos

4.5.1. Definición

De acuerdo con Lewandowski, 2015, el mantenimiento es la disciplina que mantiene a las máquinas y equipos en estado de operación. Esto lo hace mediante las actividades de servicio, testeo, inspección, ajuste, reemplazo, reinstalación, calibrado, reparación y reconstrucción.

4.5.2. Tipos

Principalmente, el mantenimiento tiene 3 variantes.

- **Mantenimiento correctivo:** No requiere de un plan de actividades. Además, corrige defectos observados en el equipo.
- **Mantenimiento preventivo:** Actividades que mantienen un elemento en condiciones operativas mediante inspección sistemática, detección y prevención de la falla inminente.
- **Mantenimiento predictivo:** Mediante gráficas de comportamiento, este tipo de mantenimiento permite realizar una predicción acerca de los cambios y actividades necesarias a desarrollar en el equipo (Lewandowski, 2015).

4.6. Fenómenos ópticos

Dentro de la atmósfera de nuestro planeta ocurren algunos fenómenos ópticos llamativos en relación a los componentes de la tierra. Uno de estos, la reflexión (Casado y Serra, 2013).

4.6.1. Reflexión

Según Casado y Serra, (2013), la materia reenvía la luz que llega a la superficie. De esto se comenta que no existe ningún reflector perfecto al 100%. Existen 3 tipos de reflexión. Especular: se produce cuando la luz incide en sustancias con superficies lisas, como el agua

en calma, vidrio, etc. Difusa: cuando la superficie de incidencia es irregular se produce una reflexión en todas las direcciones. Selectiva: Hay superficies que además tienen la propiedad de reflejar ciertas longitudes de onda y absorber las restantes.

4.6.2. Materiales reflectores

Según CS, 2009, al tratarse de materiales con capacidades reflectoras, se tiene los siguientes:

- **Papel aluminio:** Conocido y económico. Con una capacidad reflectora de aproximadamente 90%. Soporta altas temperaturas, haciéndolo apto para hornos solares.
- **Mylar:** Poco conocido. Alto poder reflectante de aproximadamente 99%. No se arruga con facilidad, haciéndolo ideal para aplicarlo en cocinas solares.
- **Aluminio:** De características similares al papel de aluminio. Necesita de un tratamiento químico para hacerlo ideal en la cocción de alimentos mediante el Sol.
- **Metacrilato espejo:** Muy costoso. Reflector total. Más flexible que el aluminio y difícil de abollar.
- **Cristal:** Espejo común. Rígido, pesado, frágil y duro. Ideal para el interior de un horno solar.
- **Acero:** Costoso y muy pesado. Resistente y buen reflector.

En la tesis de Guerrero, (2014) se demuestran ciertos beneficios de la aplicación de un concentrador solar cuyo material reflector constaba en mylar aluminizado para la cocción de alimentos. No se menciona problema alguno con respecto al gran poder reflectante y la aplicación térmica previamente mencionada; esto puede ser explicado por la distancia entre el vértice del instrumento y el punto de concentración.

4.6.3. Concentradores solares de gran flujo

De acuerdo con Levêque et al., (2017); dentro del aspecto de concentración solar, esta se obtiene mediante el cambio de dirección de los rayos de luz por reflexión. Este artículo estudia las aplicaciones de la concentración de rayos solares para obtener altas temperaturas (1000 K) en aplicaciones solares. Un sistema que produzca tales temperaturas es llamativo con respecto a los objetivos del presente proyecto. Existe una pérdida de energía transmitida que depende de la calidad óptica intrínseca de los materiales, la calidad de superficie y las

impurezas que alteran la dirección de los rayos. De considerarse la aplicación de concentradores solares de alto flujo, es necesario un sistema de seguimiento solar a lo largo del día. El sistema más simple de concentración solar consta de un plato de seguimiento solar, que permite la concentración de los rayos de luz y el seguimiento del sol con una dirección de reflexión. El arreglo de mayor practicidad es dentro del horno solar debido a la ubicación del recipiente y su sistema de seguimiento solar, dando lugar al análisis de un concentrador de forma paraboloide. Por definición, una parábola concentra un rayo paralelo en el punto focal, de ahí la preferencia en construcción de este tipo de concentrador. El perfil de la parábola está definido por la **Ecuación 10**.

$$y = \frac{x^2}{4f} \quad (10)$$

Donde:

y: coordenada vertical de la parábola.

x: coordenada horizontal de la parábola.

f: Distancia focal [cm].

Una parábola puede definirse como el conjunto de puntos equidistantes al punto focal y una directriz. Está definida por la distancia focal y diámetro, condicionando el ángulo de borde. Comúnmente, un concentrador está diseñado por el ángulo de borde requerido, siendo condicionante del uso, del porcentaje de concentración y del poder en el plano focal, teniendo un impacto directo en su diámetro. La relación entre la distancia focal y el diámetro del concentrador depende del ángulo de borde y está dado por la **Ecuación 11**.

$$\frac{f}{d} = \frac{1}{4 \tan(\theta_{rim}/2)} \quad (11)$$

Donde:

d: Diámetro del concentrador. [cm]

θ_{rim} : ángulo de borde. [°/rad]

Debido a la irregularidad de paralelismo entre los rayos solares, la imagen en el foco de la parábola concentradora no será un punto perfecto, sino una zona cuyo tamaño depende del plano focal. En la **Figura 14** se puede observar la disposición de la parábola y la presencia

del punto focal para esa parábola. El artículo tiene la **Figura 15** que muestra en términos generales los diferentes resultados de parábolas con respecto a ángulos de borde desde 120° hasta 30° . En la **Figura 15** se observa múltiples valores de relación de distancia focal para un diámetro dado.

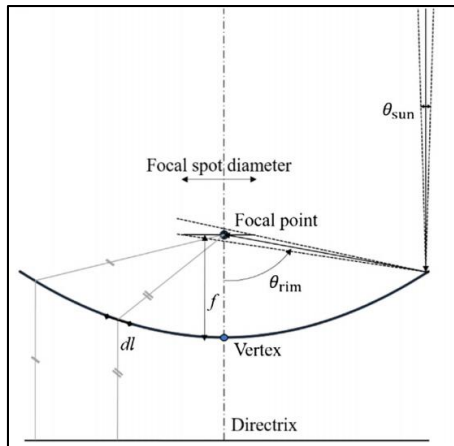


Figura 14. Punto focal de la parábola.
Fuente. (Levêque et al., 2017).

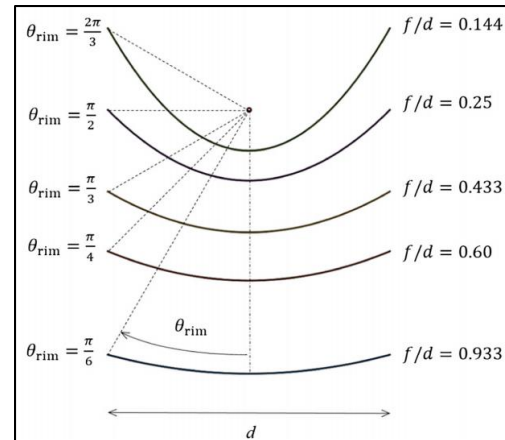


Figura 15. Variación de parábola desde ángulo de borde.
Fuente. (Levêque et al., 2017).

4.7. Centro de gravedad y centroide de un cuerpo.

Según la información de Hibbeler, (2004), el centro de gravedad de un sistema de partículas corresponde al punto donde se encuentra el peso resultante. El centro de gravedad, al estar compuesto de un número infinito de partículas, resulta necesario integrar para su obtención.

El centroide del volumen (**Figura 16**) es un punto que define el centro geométrico de un sólido; este punto coincide con el centro de masa o el centro de gravedad solo si el material que compone al cuerpo es uniforme.

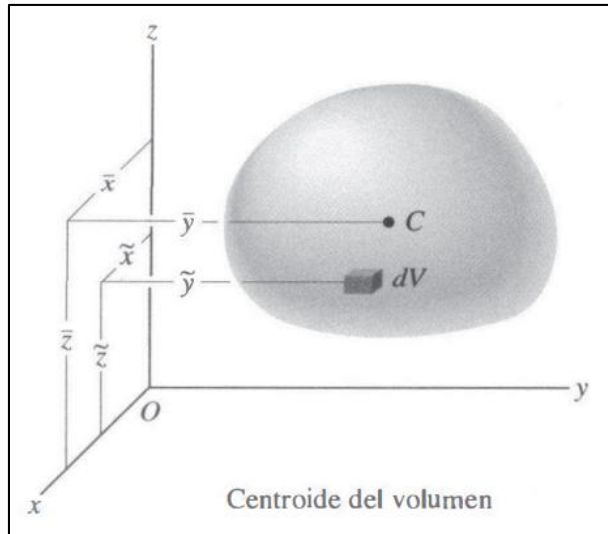


Figura 16. Representación de centroide.

Fuente. (Hibbeler, 2004).

La siguiente **Ecuación 12** corresponde a la obtención de las coordenadas del centro de gravedad G (expresado en el eje X).

$$x = \frac{\int x' dV}{\int dV} \quad (12)$$

Donde:

x: coordenada del centro de gravedad G.

x': coordenada de cada partícula en el sistema.

dV: diferencial de volumen.

De acuerdo con Beer, E. Russell Johnston, David F. Mazurek, (2013), se puede determinar el centroide de un cuerpo de revolución mediante la evaluación de discos a lo largo del volumen (MÉTODO DE DISCOS). En la **Figura 17** se observa una ilustración de este proceso.

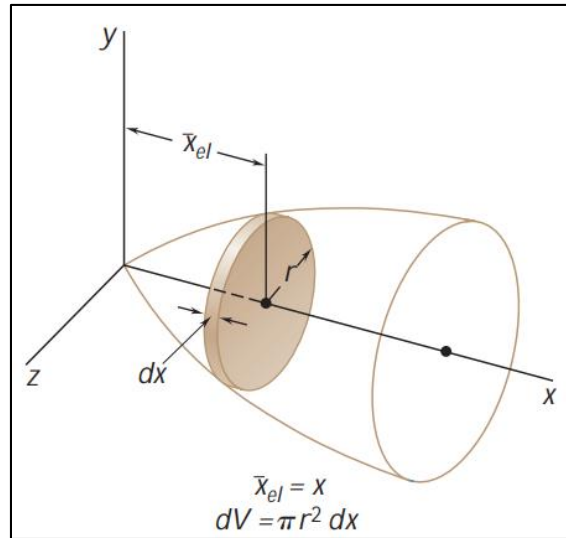


Figura 17. Centroide de un cuerpo de revolución.
Fuente. (Beer, E. Russell Johnston, David F. Mazurek, 2013)

4.8. Conceptos de geometría.

4.8.1. Ecuación de la recta.

El siguiente resumen fue obtenido a partir del libro de (Aguilar et al., 2009).

Para obtener una ecuación $f(x)$ que represente una recta, se necesita un punto y el valor de la pendiente.

$$y - y_1 = m(x - x_1) \quad (13)$$

La pendiente se obtiene con la ecuación.

$$m = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1} \quad (14)$$

5. Metodología

5.1. Materiales

Los materiales utilizados en la evaluación energética del hidroseguidor son los siguientes:

Materiales de oficina:

- Computador.
- Lápiz, papel, cinta, etc.

Este proyecto, al basar su estudio en la evaluación de un dispositivo, necesitará de algunos materiales en las siguientes actividades.

Limpieza general del dispositivo.

- Elementos básicos de limpieza (agua, jabón, etc).

Mantenimiento y repotenciación del dispositivo.

- Herramientas básicas (llave de tubo, pinza, llave inglesa, alicate, destornilladores, entre otras).

Adquisición de datos.

Aparatos de medición:

- Termocuplas.
- Termómetro.
- Piranómetro.
- Anemómetro.
- Cámara termográfica.

Software:

- Paquete OFFICE.
- SolidWorks.
- Página web con información de la estación meteorológica.
- PTC Mathcad.

Aplicación de material reflector.

- Cinta de doble lado.
- Pegamento epóxico PEGATANKE.

- Válvula de bola de plástico.
- Base grande macetero.
- Material reflector (manta térmica Mylar).

5.2. Métodos

El presente proyecto de tesis se basó principalmente en la obtención de un aglomerado de datos mediante mediciones en el equipo previamente mencionado y, el análisis de los mismos mediante la norma ASAE S580. Para empezar el análisis del equipo ubicado en las inmediaciones de la universidad, se obtuvo la información sobre la construcción, funcionamiento y estado del dispositivo.

Se remontará a una tesis anterior que contiene el estudio de rendimiento de este artefacto solar; este mismo procedimiento de evaluación servirá como punto clave en la propuesta de mejoría en los resultados a obtener. Una vez constatada la información del dispositivo de cocción solar (cocina combinada Parvati – tipo caja) y el hidroseguidor, se escogió el documento bibliográfico (norma ASAE S580) que registrará la evaluación del rendimiento del horno solar y, por consiguiente, el aporte propuesto con las mejoras a plantear. De manera adicional, para la obtención de eficiencia se recurrió a un estudio anterior sobre el hidroseguidor. Al mencionar el término “modernización” en el presente proyecto de tesis con respecto al hidroseguidor, se pretende realizar la demostración del aporte que tiene este dispositivo de seguimiento solar en comparación a una instalación del tipo fija.

En la primera obtención de datos realizada en este proyecto, el hidroseguidor no se encontraba habilitado. Esto se llevó a cabo con el objetivo de demostrar la mejoría que otorga la aplicación de un sistema de seguimiento solar con fines térmicos; es decir, la obtención de datos posterior a esta fue con el hidroseguidor funcionando normalmente y con las mejoras aplicadas.

Culminada la primera etapa, se investigó sobre las posibles mejoras que se pueden adicionar en el hidroseguidor y horno solar, respectivamente. Se revisaron las mejoras que se dan en cocinas solares Parvati y de tipo caja, las posibles mejoras en el funcionamiento del hidroseguidor y, documentos bibliográficos que describían los resultados de múltiples comparaciones entre dispositivos de aprovechamiento solar. Se tomó en cuenta las posibles áreas de mejoría donde el equipo lo necesitaba. La dirección y capacidad de movimiento del

horno solar sobre el hidroseguidor, la pérdida de calor por corrientes de aire y, poder de reflexión de la cocina hacia el recipiente. Estas oportunidades no fueron desaprovechadas al evaluar el sistema de contrapeso, incluir una tapa de vidrio sobre el horno solar y la implementación del material reflectivo Mylar (manta térmica) con concentradores parabólicos, criterios que fueron sustentados con la respectiva investigación del caso.

El sistema de seguimiento solar mediante tanques de descarga y carga fue diseñado para soportar una cocina parabólica de dimensiones y características diferentes al horno solar. Al pretender instalar un nuevo dispositivo solar, el movimiento del hidroseguidor se vería afectado indudablemente. Sin embargo, con la adición de un disco de acero en el eje exterior del horno solar, se obtuvo una variación correcta del centro de gravedad, lo cual permitió trabajar con el horno solar bajo un seguimiento solar adecuado.

Anteriormente, se han realizado estudios sobre el aporte que tiene una tapa de vidrio encima del dispositivo de aprovechamiento solar; al actuar como aislante térmico en la parte superior del horno solar, se la incluyó en este proyecto de investigación debido a los beneficios que esta mejora incluiría en el proyecto debido al aporte de encerrar el calor en el sistema y disminuir la posible pérdida de calor.

La última mejora realizada sería el aporte del nuevo material reflectivo en el horno solar. Después de investigar sobre este tema, se optó por la concentración de rayos solares hacia el recipiente. Un sistema de concentradores parabólicos resultó adecuado al hablar de aprovechamiento solar para la concentración de rayos solares. Debido al tamaño del horno solar, este método es compatible con el objetivo de aumentar el poder de reflexión dirigido hacia el recipiente en mayor concentración, tomando en cuenta que el horno solar se basa únicamente en el aprovechamiento de los rayos solares mediante una disposición de paneles reflectivos de acero inoxidable. Adicional a esto, la implementación de dos concentradores parabólicos mantuvo al menos la reflexión constante de uno de los concentradores hacia la olla durante el tiempo en que se realizaron las mediciones.

6. Resultados

6.1. Actividades previas a la primera recolección de datos

6.1.1. Mantenimiento del equipo

Aquí se muestra un estado preliminar del equipo ubicado en la Facultad. Se puede notar un desgaste evidente en algunas partes del equipo (**Figura 18**). Se llevaron a cabo algunas actividades de mantenimiento, se aplicó pegamento epóxico para cubrir fisuras (Fig. 19).



Figura 18. Estado de componentes.
Fuente. El autor.



Figura 19. Suelda en frío (fisura en tanque).
Fuente. el autor.

Se realizó una limpieza necesaria del tanque de carga debido al estado del agua que se encontraba en el mismo; asimismo, se reincidió en una limpieza de la superficie reflectora del horno solar (**Figura 20 y 21**). En el **Anexo 3** se puede observar un proceso más detallado de esta fase de mantenimiento.



Figura 20. Limpieza de tanque.
Fuente. El autor.



Figura 21. Limpieza de interior de horno.
Fuente. El autor.

6.2. Primera recolección de datos

Para llevar a cabo la evaluación energética del dispositivo, se empieza por la aplicación del protocolo que regirá dicha evaluación. Después de realizado el mantenimiento del dispositivo se pretende empezar con las mediciones descritas en la norma ASAE S580, la cual desarrolla el análisis de las cocinas solares en torno a una masa de agua y su elevación de temperatura.

Según la norma, el estudio debe realizarse en un periodo de 3 días con un mínimo de 30 mediciones. Estas mediciones fueron realizadas en intervalos de 10 minutos, recopilando los valores de temperatura del agua dentro del recipiente, el nivel de radiación solar, la velocidad del viento y la temperatura ambiente. En las **Figuras 22 y 23** se ilustra la recolección de datos.



Figura 22. Recolección de datos.

Fuente: El autor.



Figura 23. Mediciones.

Fuente: El autor.

Cabe recalcar que, en este proyecto, la obtención de algunos valores fue posible gracias a la estación meteorológica de la casa renovable ubicada en el campus universitario y, de los instrumentos aplicados por el autor. La temperatura del agua dentro del recipiente se obtuvo mediante una termocupla y el termómetro para su recopilación.

Los días involucrados en la obtención de datos son los días 1, 16 y 23 de noviembre de 2022; los cuales contaron con un nivel de radiación solar apropiado. Durante un periodo de 3 días, el horno solar fue evaluado con los parámetros descritos en la norma ASAE S580.

Tras haber realizado las primeras mediciones en intervalos de 10 minutos, se disponía

un total de 69 datos; posterior a esta obtención, se debía aplicar las respectivas limitaciones impuestas por la norma con respecto a:

- La variabilidad de la radiación solar ($\pm 100 \text{ W/m}^2$).
- Valores elevados de corrientes de aire.
- Valores máximos y mínimos de radiación solar ($450 \text{ W/m}^2 - 1100 \text{ W/m}^2$).
- Intervalo en temperatura ambiente y de ebullición local para mediciones.

En el **Anexo 4** se puede encontrar la tabla con las mediciones en el horno solar de los 3 días y, subrayado, los valores descartados por las limitaciones antes mencionadas.

Después de aplicar las limitaciones del caso, un total de 31 mediciones (**Tabla 2**) quedaron para ser evaluadas; siendo esto aceptable debido al requerimiento de parte de la norma que se cuente con un mínimo de 30 mediciones realizadas en 3 días diferentes. Posterior a la obtención de datos, se procedió a realizar los cálculos de las variables necesarias y descritas en la norma ASAE S580. Se utilizaron las ecuaciones descritas en la norma para obtener la potencia de cocción en intervalo (P_i), potencia de cocción estandarizada (P_s) y la diferencia de temperatura (T_d). Aquí se muestra el cálculo realizado con los datos de un intervalo correspondiente al día 16 de noviembre del 2022 (**Tabla 1**) y los valores a obtener:

Tabla 1. Datos de medición para ejemplo de cálculo.

Hora	TW	ΔT	Rad.	TA	Pi	Ps	Td
12H00	48,7 °C	1,8 °C	1021 W/m ²	19,5 °C	12,558 W	8,6098 W	29,2 °C

Fuente. El autor.

El primer cálculo se lo realiza mediante la **Ecuación 1** para obtener el poder de cocción P_i :

$$P_i = \frac{(48,7 \text{ °C} - 46,9 \text{ °C}) \cdot 1\text{kg} \cdot 4186 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{°C}}}{600 \text{ s}}$$

$$P_i = 12,558 \text{ W}$$

Se continúa con la **Ecuación 2** para obtener el poder de cocción solar estandarizado P_s :

$$P_s = 12,558 \text{ W} \cdot \left(\frac{700 \text{ W}}{1021 \text{ W}}\right)$$

$$P_s = 8,6098 \text{ W}$$

Con la ecuación 3 se obtiene la diferencia de temperatura T_d , se culmina la obtención de datos.

$$T_d = 48,7 \text{ }^\circ\text{C} - 19,5 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$T_d = 29,2 \text{ }^\circ\text{C}$$

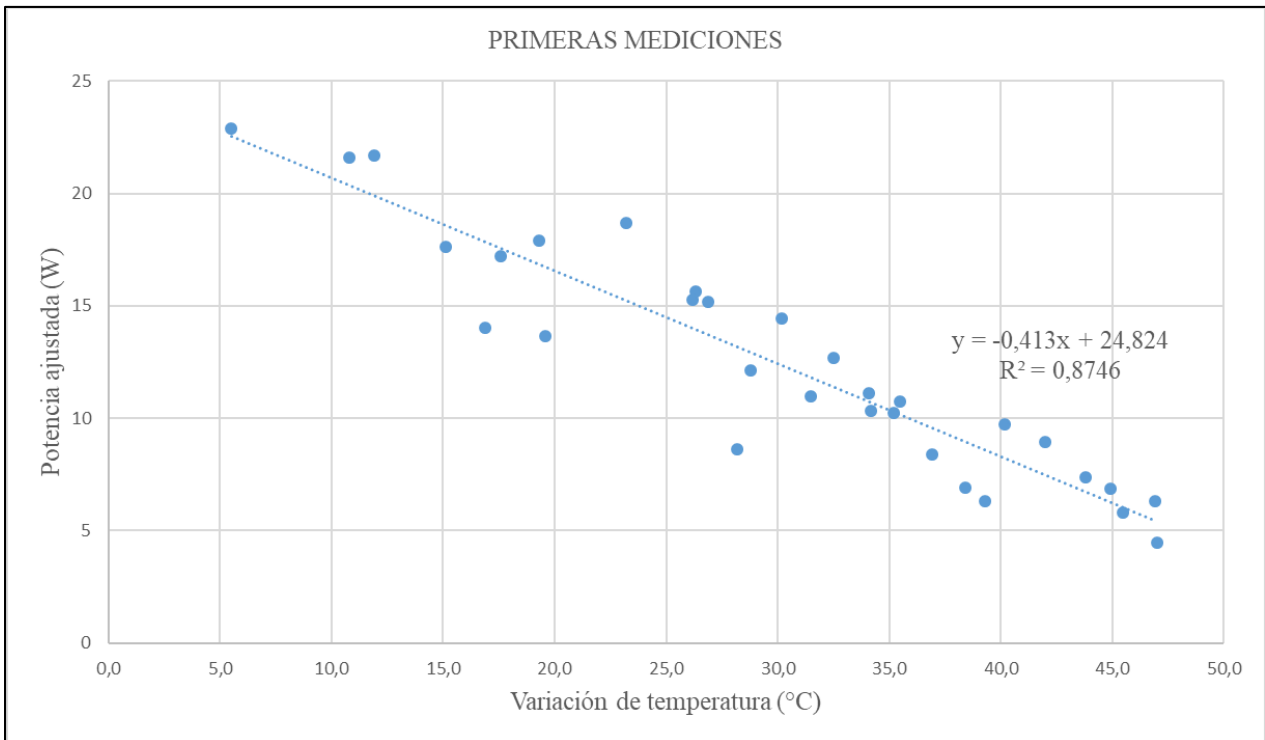
Este cálculo se realiza con todas las mediciones de los 3 días para continuar con la obtención de la regresión lineal, la gráfica, el valor estandarizado de potencia y el coeficiente de determinación r^2 . En la **Tabla 2** se presentan los valores a utilizar:

Tabla 2. Datos de diferencia de temperatura y potencia estandarizada.

Primeras Mediciones								
Nro	Td (°C)	Ps (W)	Nro	Td (°C)	Ps (W)	Nro	Td (°C)	Ps (W)
1	10,8	21,60	12	44,9	6,85	23	35,2	10,25
2	15,1	17,61	13	45,5	5,82	24	36,9	8,38
3	17,6	17,20	14	46,9	6,30	25	38,4	6,89
4	26,3	15,65	15	47,0	4,49	26	39,3	6,30
5	30,2	14,43	16	5,5	22,88	27	19,3	17,89
6	32,5	12,68	17	11,9	21,69	28	23,2	18,68
7	34,1	11,12	18	16,9	14,02	29	26,2	15,29
8	35,5	10,76	19	19,6	13,64	30	28,8	12,12
9	40,2	9,71	20	28,2	8,61	31	26,9	15,19
10	42,0	8,94	21	31,5	10,96			
11	43,8	7,38	22	34,2	10,32			

Fuente. El autor.

A continuación, se ubica los datos de potencia de cocción estandarizada y la diferencia de temperaturas en una tabla de Excel para aplicar la operación de regresión lineal y obtener la **Gráfica 1** con la ecuación de la recta. Este proceso finalizó con la obtención de un punto de comparación sobre el poder del horno solar cuando se evaluó la ecuación para una diferencia de temperatura de 50°C.



Gráfica 1. Regresión lineal de primeras mediciones.

Fuente. El autor.

La norma establece que la **Ecuación 4** debe ser aplicada para una diferencia de temperaturas de 50°C. Aquí se evalúa la potencia del horno solar en su estado actual:

$$P_s = 24,824 - 0,413 * T_d$$

$$P_s = 4,174 \text{ W}$$

Y el valor del coeficiente de determinación (r^2) es de 0,8746. Con este último valor, culmina la primera recolección de datos.

6.3. Actividades previas a la segunda recolección de datos

Previo a continuar con la segunda recolección de datos, se llevaron a cabo dos operaciones importantes, una fase adicional de mantenimiento y, la adaptación de mejoras.

6.3.1. *Mantenimiento previo*

Cabe mencionar algunas actividades del segundo mantenimiento en el equipo. El tanque de carga presentaba numerosas fugas en la segunda recolección de datos; a diferencia de las primeras mediciones, el tanque de carga perdía una cantidad considerable de agua, siendo necesaria la adecuación de un nuevo tanque que cumpla las mismas funciones (**Figura 24**).



Figura 24. Reemplazo de tanque de carga.

Fuente. El autor.

Para adecuar el nuevo tanque al hidroseguidor, se instaló una brida roscable para conectar con la tubería que va a la bomba, una boquilla para conectar con la manguera de descarga y se perforó la tapa del nuevo tanque para dar paso al cable conectado con el flotador. En la **Figura 25** se observa paso a paso la adecuación del nuevo tanque.



Figura 25. Adecuación del nuevo tanque.

Fuente. El autor.

La válvula de bola en la manguera que conecta ambos tanques, por donde se realiza la descarga, presentó un gran desgaste por el óxido acumulado, forzando su reemplazo con una nueva válvula del mismo tipo mostrado en la **Figura 26**. Adicional a estas acciones de mantenimiento, se suman la aplicación de nuevas abrazaderas, cinta de teflón, entre otros. También se realizó la aplicación de pegamento epóxico y silicón en el tanque de descarga por fugas de agua (**Figura 27**).



Figura 26. Válvula tipo bola reguladora para descarga.
Fuente. El autor.



Figura 27. Aplicación de EPOXI (tanque de descarga).
Fuente. El autor.

Un proceso más detallado de este mantenimiento se muestra en el **Anexo 5**. Al haber completado con el mantenimiento del equipo, se procede a aplicar las mejoras al dispositivo.

6.3.2. Adaptación de mejoras

Una vez preparado el equipo para realizar mediciones, se propone las mejoras a instalar en el hidroseguidor y en el horno solar con el objetivo de obtener mejores resultados con respecto a estudios anteriores similares a este.

6.3.2.1. Mejora #1: Sistema de contrapeso.

En un inicio el instrumento de captación solar para el cual fue diseñado el hidroseguidor era una cocina solar parabólica en la tesis de Cuenca y Quinde, 2010; contaba con dos contrapesos (**Figura 28**), los cuales fueron diseñados con el objetivo de compensar la acción del peso del flotador y la acción del viento.



Figura 28. Contrapesos en cocina parabólica.

Fuente. (Cuenca y Quinde, 2010)

El horno solar es de diferentes características constructivas a la cocina solar parabólica. Tiene un diseño más robusto con respecto al instrumento de captación solar antecesor. Esto debido a la notable estructura de recubrimiento del horno solar. Por lo tanto, el actual instrumento de captación solar será difícilmente afectado por la acción del viento debido a la forma y el peso que posee. En la **Figura 29** se observa la disposición primitiva del contrapeso en el dispositivo de captación solar.



Figura 29. Sistema de contrapeso en la base del horno solar.

Fuente. El autor.

Se requirió de la corrección del sistema de contrapeso para obtener un movimiento de orientación adecuado del horno solar con respecto al movimiento del hidroseguidor.

Al evaluar el actual sistema de contrapeso en la base del horno solar, no se obtuvo una acción ideal del hidroseguidor en el artefacto solar al considerar el nuevo estado de este

conjunto. Al hacer las pruebas de movimiento en el hidroseguidor sobre el horno solar, este accionaba de manera irregular el movimiento inicial del dispositivo durante las horas de trabajo y, al momento de activar la bomba para regresar el sistema a la posición inicial, el horno solar permanecía estático; estas acciones indican un funcionamiento incorrecto.

Adicionalmente, se consideró la siguiente información:

- Los nuevos implementos: tapa de vidrio y concentradores (a pesar del poco peso de estos últimos en el horno solar).
- Las operaciones de mantenimiento en los tanques y cañerías de carga y descarga.
- El constante cambio en la disposición de las poleas unidas a los flotadores durante las etapas de mantenimiento.

La influencia de todo lo mencionado anteriormente resulta en un movimiento inadecuado del horno solar con el aporte del hidroseguidor en este estado primitivo; posteriormente, se observó un equilibrio aceptable utilizando un disco de acero de 2.7 kg a 20 cm de la base del horno solar en el eje exterior. La ubicación de este contrapeso en el eje resulta importante en el movimiento oscilatorio del horno solar al ser accionado por el hidroseguidor; esto mediante la modificación de centro de gravedad de todo el conjunto. Con fines de demostración, se desarrolla este concepto de cambio del centro de gravedad en el horno solar mediante los cálculos respectivos y la ilustración en el software SOLIDWORKS.

Para empezar el cálculo del centro de gravedad, se necesita establecer el método que será utilizado en la creación de un sólido que tenga cierta similitud con respecto al horno solar real, considerando los principales volúmenes que lo conforman. Se escoge el MÉTODO DE DISCOS descrito en (Beer, E. Russell Johnston, David F. Mazurek, 2013; Hibbeler, 2004) para calcular el volumen y centroide de un sólido de revolución. El cálculo a desarrollar se compone de varias etapas. Al sólido de revolución del horno solar se le retirará el volumen interior (medidas obtenidas); luego se le añadirá los volúmenes principales que lo conforman; por último, se añade el contrapeso para observar la modificación de la ubicación del centro de gravedad. Estas etapas y sus cálculos son detallados a continuación:

➤ **Primer volumen de revolución (interior).**

Se obtienen las medidas para formar el sólido aproximado al horno solar. Debido a la naturaleza demostrativa de este proceso, se creyó conveniente establecer una sola línea entre

la base y parte superior del horno solar, agilizando el cálculo e ilustración de toda esta sección. De acuerdo con la **Figura 30**, se observan los datos de la base y de la parte superior.

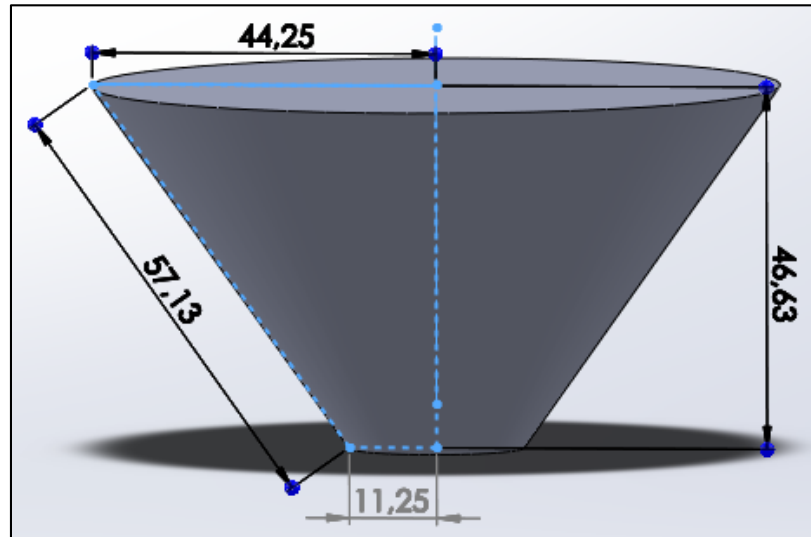


Figura 30. Sólido de revolución interior con medidas (SOLIDWORKS).

Fuente. El autor.

En el **Anexo 6** se puede observar la línea correspondiente a este cálculo en un croquis elaborado en SOLIDWORKS. El radio R corresponde a la función $f(x)$ que relaciona el valor de x con respecto a y para proceder con el MÉTODO DE DISCOS para un sólido de revolución. El siguiente cálculo corresponde a la obtención de la función $f(x)$ que regirá el primer sólido de revolución junto con el eje Z y el límite de integración correspondiente a la altura del horno solar. Mediante las mediciones y la aplicación del concepto de **Ecuación 13** punto pendiente, se obtiene la función $f(x)$. En este cálculo también se utiliza la **Ecuación 14** y se muestra a continuación:

$$x_1 = 0 \text{ cm} \quad x_2 = 46,63 \text{ cm}$$

$$y_1 = 11,25 \text{ cm} \quad y_2 = 44,25 \text{ cm} \quad m = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1} = 0,708 \quad B = x_2$$

Cabe recalcar que se utilizó el software PTC Mathcad Prime para llevar a cabo los cálculos, debido a que el procedimiento en la obtención de estos es el mismo en algunos casos. Las hojas de cálculo realizadas se observan en el **Anexo 7**. Con el valor de pendiente y un punto de referencia, la ecuación punto pendiente es la siguiente:

$$y - y_1 = m * (x - x_1)$$

$$y = mx + y_1$$

$$y = 0.708x + 11.25$$

Ahora se procede a obtener el volumen, el centro de gravedad y el producto entre este valor con la **Ecuación 12**.

$$V_1 = \pi * \left(m^2 * \frac{B^3}{3} \right) + \left(\frac{(2 * m * y_1) * B^2}{2} \right) + (y_1^2 * B) = 0,126 \text{ m}^3$$

$$xV_1 = \pi * \left(m^2 * \frac{B^4}{4} \right) + \left(\frac{(2 * m * y_1) * B^3}{2} \right) + \left(y_1^2 * \frac{B^2}{2} \right) = 0,04 \text{ m}^4$$

$$X_1 = \frac{xV}{V_1} = 31.583 \text{ cm.}$$

➤ **Segundo volumen de revolución (exterior).**

Con la parte interior del primer sólido de revolución totalmente definida, se procede con el cálculo para obtener el segundo volumen de revolución, la parte exterior. Aquí se considera que en la función f(x) corresponden valores diferentes a los anteriores (**Anexo 7**). Con los siguientes parámetros se procede con el cálculo del volumen y centroide del sólido correspondiente a la parte exterior.

$$x_1 = 0 \text{ cm} \quad x_2 = 46,63 \text{ cm}$$

$$y_1 = 15,25 \text{ cm} \quad y_2 = 48,25 \text{ cm} \quad m = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1} = 0,708 \quad B = x_2$$

La ecuación punto pendiente con respecto al segundo volumen, correspondiente a la parte exterior del horno solar, es la siguiente:

$$y = 0.708x + 15.25$$

$$V_1 = \pi * \left(m^2 * \frac{B^3}{3} \right) + \left(\frac{(2 * m * y_1) * B^2}{2} \right) + (y_1^2 * B) = 0,161 \text{ m}^3$$

$$xV_1 = \pi * \left(m^2 * \frac{B^4}{4} \right) + \left(\frac{(2 * m * y_1) * B^3}{2} \right) + \left(y_1^2 * \frac{B^2}{2} \right) = 0,049 \text{ m}^4$$

$$X_1 = \frac{xV}{V_1} = 30.726 \text{ cm.}$$

Una vez definidos los sólidos principales para darle forma al horno solar, se procede con el cálculo e ilustración del corte al segundo realizado por el volumen interior, mostrando la similitud que va tomando el sólido con el horno solar (**Figura 31**).

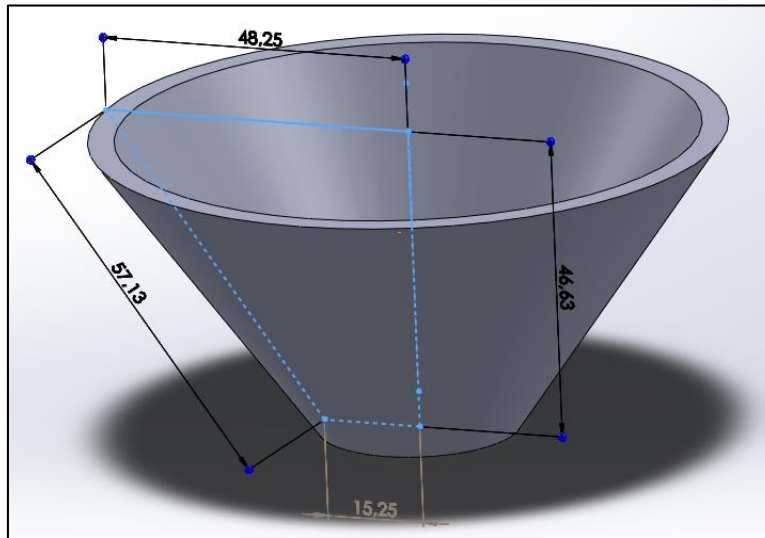


Figura 31. Horno solar (SOLIDWORKS).

Fuente. El autor.

➤ **Adición de sólidos.**

Se continúa con la adición de los sólidos más notables en el dispositivo. Entre ellos, tenemos la tapa de vidrio, el eje del recipiente y la olla. Mediante las ecuaciones de la **Figura 32**, se puede obtener los datos de algunos de estos sólidos. En el **Anexo 8** se puede observar las fórmulas comunes que se utilizan en el análisis de estos sólidos.

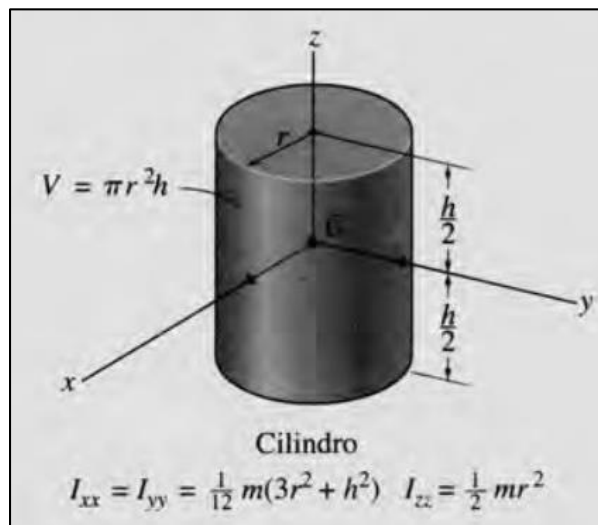


Figura 32. Fórmulas de cilindro.

Fuente. (Hibbeler, 2004).

El dispositivo actual consta de algunos sólidos para el análisis del centro de gravedad; cabe mencionar que el punto de referencia es la base de la cocina. En la **Figura 33** se observa el horno solar con los volúmenes adicionados.

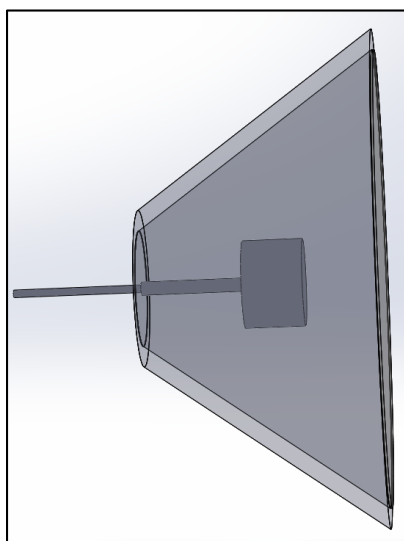


Figura 33. Vista lateral del dispositivo (SOLIDWORKS).

Fuente. El autor.

A continuación, se procede a ubicar los datos en la **Tabla 3** que permitirá obtener el centro de gravedad actual del dispositivo, considerando los valores negativos con respecto al volumen a sustraer y la ubicación del centroide de cada sólido con respecto a la base del horno solar, punto de referencia del sistema.

Tabla 3. Datos de volumen y producto.

Sólido	Volumen (m ³)	Centroide (m)	Producto de xv (m ⁴)
Cocina exterior	0.161	0.307	0.049
Cocina interior	-0.126	0.316	-0.04
Eje de cocina ext.	4.418*10 ⁻⁵	-0.125	-5.522*10 ⁻⁶
Eje de cocina int.	9.822*10 ⁻⁵	0.0925	9.086*10 ⁻⁶
Olla	2.837*10 ⁻³	0.0625	7.022*10 ⁻⁴
Tapa de vidrio	2.488*10 ⁻³	0.002	1.165*10 ⁻³
Total	$\Sigma V = 0.0405 \text{ m}^3$		$\Sigma xv = 0.0109 \text{ m}^4$

Fuente. El autor.

Una vez obtenidos la sumatoria de volumen y del producto de este valor con la coordenada del centroide, se procede con la obtención del centro de gravedad de todo el conjunto.

$$X\Sigma V = \Sigma xV$$

$$X \cdot (0.0405 \text{ m}^3) = 0.0109 \text{ m}^4$$

$$X = 0.2684 \text{ m}$$

El centro de gravedad del conjunto se encuentra a 26.84 cm de la base de la cocina. Con el siguiente paso se comprobará el cambio en la ubicación del centro de gravedad en el sólido al adicionar la acción del contrapeso.

➤ **Mejora #1: Adición del contrapeso.**

Con fines de demostración, se evalúa la ubicación del centro de gravedad del dispositivo con el disco de contrapeso en la posición original, aquella que no permitía un movimiento correcto del hidroseguidor. Este último valor será contrastado con los valores correspondientes a los dos posibles escenarios del horno solar (sin contrapeso, contrapeso a 20 cm de la base), esperando que el centroide del conjunto con el contrapeso ubicado correctamente corresponda al valor de centroide más bajo.

La evaluación del disco de acero a adicionar al dispositivo demostrará la acción que tendrá en el centro de gravedad del equipo. Las fórmulas utilizadas para obtener algunas propiedades de dichos sólidos se encuentran en el **Anexo 8**.

El contrapeso es un disco de cierto grosor y un agujero en la mitad, por lo tanto, se procede con cálculo del volumen y centroide mediante las fórmulas correspondiente a una arandela.

$$V = A * e$$

$$V = [(\pi * R^2) - (\pi * r^2)] * e$$

$$V = [\pi(R^2 - r^2)] * e$$

$$V = [\pi((0.07\text{m})^2 - (0.0075\text{m})^2)] * 0.023\text{m}$$

$$V = 3.5 \times 10^{-4} \text{ m}^3$$

Al ser un disco, el centro de gravedad estará en la mitad del sólido, el cual corresponde al centro de la circunferencia (eje) y en la mitad del grosor (1.15 cm). En la **Tabla 4** se tienen los datos necesarios para hacer la diferenciación de los tres casos.

Tabla 4.Valores a evaluar de centroide.

Descripción	Volumen (m ³)	Centroide (m)	Producto (m ⁴)
Dispositivo actual	0.0405	0.2684	0.0109
Contrapeso (en la base)	3.5*10-4	-0.0115	4.025*10-6
Contrapeso (20 cm de la base)	3.5*10-4	-0.2115	7.402*10-5
Total (en la base)	$\Sigma V = 0.0409$		$\Sigma xV = 0.0109$
Total (20 cm de la base)	$\Sigma V = 0.0409$		$\Sigma xV = 0.0108$

Fuente. El autor.

Con estos datos, se obtiene el centro de gravedad de cuando tiene el contrapeso se encuentra junto a la base y a 20 cm de esta.

- Contrapeso en la base.

$$X\Sigma V = \Sigma xV$$

$$X \cdot (0.0409 \text{ m}^3) = 0.0109 \text{ m}^4$$

$$X = 0.266 \text{ m}$$

- Contrapeso a 20 cm de la base.

$$X\Sigma V = \Sigma xV$$

$$X \cdot (0.0409 \text{ m}^3) = 0.0108 \text{ m}^4$$

$$X = 0.2643 \text{ m}$$

En la **Tabla 5** se observan los 3 valores de centroide correspondientes a cada caso.

Tabla 5.Valores de centroide.

Caso	Centroide (cm)
Sin contrapeso.	26.84 cm
Contrapeso en base de horno.	26.60 cm
Contrapeso a 20 cm de la base de horno.	26.43 cm

Fuente. El autor.

Mediante un simple análisis de los resultados anteriores se corrobora que, al ubicar el contrapeso a 20 cm de la base del horno solar, se obtiene el valor más bajo de centro de gravedad. Esta demostración, junto con las múltiples observaciones de practicidad (in situ) del sistema de seguimiento, permite establecer que el movimiento del horno solar se mantiene oscilante sobre el hidroseguidor cuando este se activa, dando lugar a la capacidad de ser dirigido por la acción de las poleas de los tanques de descarga y carga (flotadores) y, la acción de retorno al activar la bomba; todo esto influenciado por el peso de las nuevas mejoras (tapa de vidrio, concentradores parabólicos) y el aporte del disco de acero aplicado como contrapeso en el eje exterior de la cocina.

En la **Figura 34** (SOLIDWORKS) se observa el contrapeso ubicado a 20 cm de la base de la cocina, caso donde el movimiento del horno solar es adecuado.

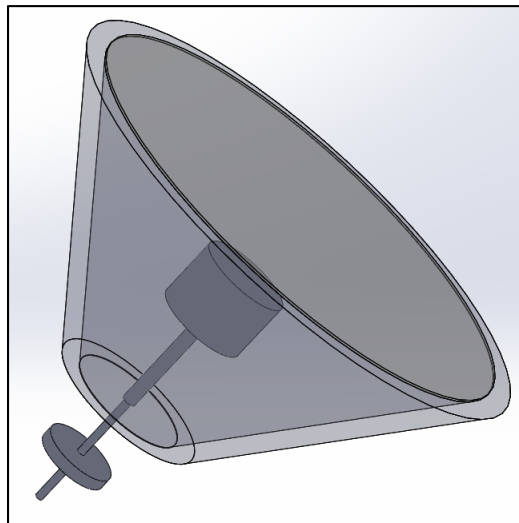


Figura 34. Sistema de contrapeso en el eje exterior del horno solar.
Fuente. El autor.

6.3.2.2. Mejora #2: Implementación de material reflector Mylar.

El material reflector conocido como “Mylar” será utilizado para mejorar la reflexión de los rayos solares hacia el recipiente contenedor de agua. Se recurrió a varios recursos novedosos que mencionaban algunas maneras de aprovechar la radiación solar y se tenía en cuenta que se debía aplicar este material reflector. De acuerdo con (Levêque et al., 2017), la investigación centrada en sistemas de concentradores parabólicos resulta una alternativa interesante al buscar un sistema que sea capaz de concentrar los rayos solares en una zona

específica (punto focal). En la **Figura 35** se puede observar el material en forma de manta térmica.



Figura 35. Mylar (manta térmica).

Fuente: El autor.

En el caso del horno solar en cuestión, la implementación de concentradores parabólicos resultó adecuada considerando que el recipiente contenedor se encuentra en el centro, similar a un horno solar. El diseño de estos concentradores solares comienza por el ángulo de borde requerido [θ_{rim}], lo que condiciona algunos aspectos importantes de este concentrador, teniendo un efecto en el plano focal y el diámetro. Este último factor es crucial en el diseño del concentrador debido a que el espacio dentro del horno solar es limitado. Esta relación entre la distancia focal y el diámetro del concentrador depende del valor de ángulo de borde y dado por la **Ecuación 11**.

$$\frac{f}{d} = \frac{1}{4 \tan(\theta_{rim}/2)}$$

Con la información antes mencionada y con el objetivo de implementar un sistema de concentración parabólica que se ajuste a las condiciones constructivas del horno solar, se toman en cuenta las siguientes consideraciones.

- El tamaño del concentrador debe estar limitado por el espacio en el horno solar, considerando que se debe respetar estrictamente el diámetro del mismo y la distancia a la olla que, por razones de diseño, será la distancia focal.
- Al pensar en un soporte para sostener el concentrador, este deberá fijarse en el tubo principal donde reposa la olla. Sin embargo, por razones de espacio, se descartó la

idea de los soportes. Estos no vendrían a ser necesarios debido al poco peso que estos representan y podrían ser reemplazados por simples cordeles que aseguren la ubicación de los concentradores livianos dentro del horno solar.

- Con el motivo de incrementar la posibilidad de obtener resultados favorables en esta segunda recolección de datos, se implementará dos concentradores parabólicos.

La última consideración es clave en el presente proyecto de modernización; a lo largo del día el hidroseguidor continuará con su función de alinear el horno con el sol, por lo tanto, mediante una correcta disposición de ambos concentradores asegurará una acción de continua reflexión en la olla. En la **Figura 36** se puede observar un modelado 3D del horno solar realizado en SOLIDWORKS con una disposición de como estarían ubicados los concentradores parabólicos.

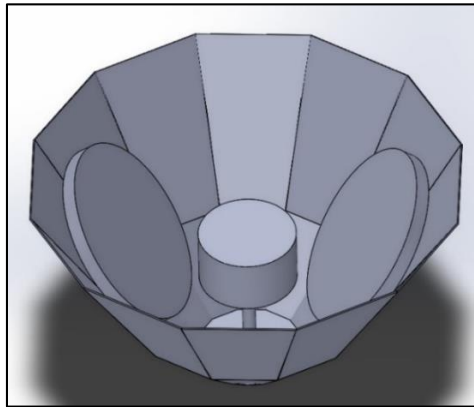


Figura 36. Vista previa de los concentradores en el horno (SOLIDWORKS).

Fuente. El autor.

En la **Figura 37** se observa un diagrama del tipo de concentrador solar que se pretende obtener con el proceso planteado y su funcionamiento con respecto a la reflexión de los rayos solares.

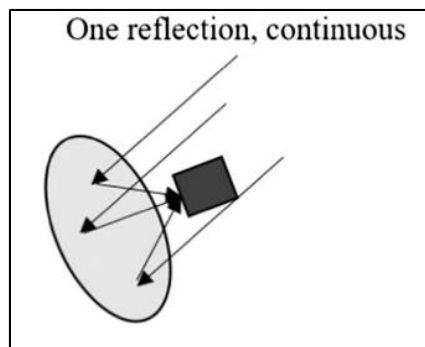


Figura 37. Concentrador solar tipo plato.

Fuente. (Levêque et al., 2017)

Se tomará en cuenta los tres valores intermedios de ángulo de borde para evaluar algunas propuestas de diseño; al tener una distancia focal aproximada obtenida de mediciones realizadas en el horno solar, se aplicará la fórmula para obtener el diámetro que tendría que tener el concentrador parabólico y de esta manera, comprobar su correcta elección con respecto al límite constructivo del horno solar. La **Ecuación 11** despejada para el diámetro es la siguiente:

$$d = 4 \tan\left(\frac{\theta_{rim}}{2}\right) * f$$

El valor de ángulo de borde se encuentra en radianes, pero en el cálculo de los siguientes valores se lo menciona en grados. Con una distancia focal de 17 cm aproximadamente y, los valores de ángulo de borde mencionados, se obtienen los resultados en la **Tabla 6**:

Tabla 6. Valores de diámetro con respecto al ángulo de borde.

$d = 4 \tan\left(\frac{\theta_{rim}}{2}\right) * f$	$\theta_{rim} = \frac{\pi}{2}$	$\theta_{rim} = \frac{\pi}{3}$	$\theta_{rim} = \frac{\pi}{4}$
F = 17 cm	68 cm	39.3 cm	28.2 cm

Fuente. El autor.

Con un ángulo de borde igual a 90° y una distancia focal de 17 cm, el diámetro del concentrador será de 68 cm y, como es de imaginarse, un concentrador de este diámetro será de tamaño inadecuado al considerar las dimensiones del horno solar. Los diámetros de 39.3 cm y 28.2 cm aproximadamente son las propuestas a revisar para la construcción de este concentrador. Para escoger un diámetro se considera que mientras más grande el concentrador, mayor el poder de concentración de los rayos solares; entre estos dos se escogió el concentrador de mayor diámetro para comprobar su validez. Previo a optar por este diseño, se evaluó el valor de fondo que tendría el concentrador y de la compatibilidad con las dimensiones del horno solar. Para cumplir con lo anterior, se utilizó la ecuación 10 que rige la parábola, forma que tendría el concentrador;

$$y = \frac{x^2}{4f}$$

Considerando que el punto de mayor altura que tendría el concentrador sería en los bordes, se toma el valor de la mitad del diámetro, el radio; con este valor y la fórmula anterior

se obtuvo el valor del fondo. Con un valor de 19.65 cm y una distancia focal de 17 cm, el valor de alto que debe tener esta pieza es de 5.68 cm, por lo cual la pieza base del concentrador tendría que tener estas medidas. El diámetro de 39.3 cm se acerca a una pieza de plástico que funcionaría como base de concentrador. En la **Figura 38** se muestra la base para macetero PIKA de 40 cm de diámetro y 6cm de fondo. También se menciona el concepto de capas dieléctricas para mejorar la reflectividad en el material; en la **Figura 39** se observa la aplicación de este último concepto en la manta térmica Mylar, al comprobar la continuidad en uno de los lados del material a ser utilizado. Este lado quedaría en dirección hacia afuera para aumentar la reflectividad.

Con el nuevo diámetro el fondo tendrá un valor igual a 5.45 cm, demostrando que esta pieza de plástico sería ideal en la construcción del concentrador parabólico. También se investigó la posibilidad de una base de macetero de menor diámetro, pero se optó por la base de mayor tamaño bajo el criterio de mayor concentración de rayos solares, siendo un aporte positivo en los resultados de este proyecto.

Una vez con la base escogida, se procedió con la construcción de los concentradores utilizando la base mencionada anteriormente y el material Mylar en forma de manta térmica. Para obtener la forma parabólica en el material reflector se utilizó el proceso de succión de aire en un espacio delimitado por la manta térmica y la base circular. Cabe recalcar que el documento bibliográfico de Levêque et al., (2017) menciona este proceso de succión de aire para crear la forma paraboloide entre materiales tipo film y la base en la sección 4.1. llamada “Materiales reflectores”.



Figura 38. Pieza base de concentrador.
Fuente. El autor.

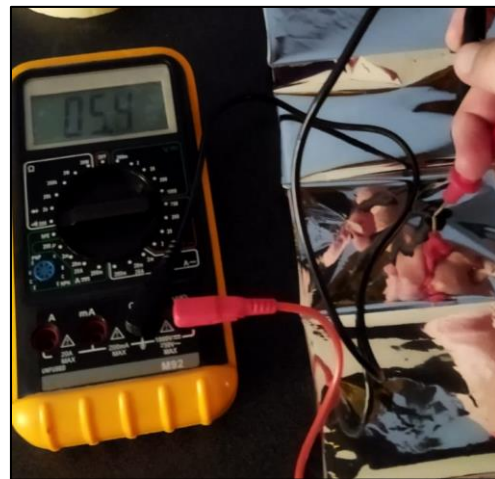


Figura 39. Prueba de continuidad en Mylar.
Fuente. El autor.

Antes de ubicar el material reflectivo en la base, se instaló una válvula tipo bola en uno de los lados para extraer el aire posteriormente y mantener la succión entre la manta y la base del concentrador. El proceso de succión se logró con una aspiradora, comprobando que el concentrador vaya tomando la forma parabólica. Luego de colocar la válvula tipo bola para la extracción de aire, se aseguró la manta térmica a la base con cinta de doble lado y pegamento epóxico, pretendiendo estirar el material lo mejor posible y así evitar pliegues en el concentrador (este proceso aparece completo en el **Anexo 9**). Después de haber esperado la acción completa del pegamento epóxico, se extrae el aire del concentrador para formar el aspecto parabólico del mismo. En este caso, se utilizó la ayuda de un pedazo pequeño de cinta doble lado en el centro de la base para apoyar en la permanencia de la forma parabólica; en la Figura 40 se observa un concentrador parabólico terminado.



Figura 40. Elaboración de concentrador parabólico.

Fuente. El autor.

Se comprobó la acción del concentrador parabólico al ubicarlo en dirección a los rayos solares y medir la temperatura de alguna superficie donde se encuentra el punto focal. Se procedió con la colocación de los concentradores parabólicos a los costados del horno solar mediante un cordel, método conveniente para evitar perforaciones o sujeciones en el

artefacto solar o concentrador; ambos concentradores se encuentran en dirección opuesta y hacia el recipiente (**Figura 41**).



Figura 41. Concentradores ubicados en el horno solar.

Fuente. El autor.

6.3.2.3.Mejora #3: Uso de tapa de vidrio.

Se ha optado por usar una tapa de vidrio en la parte superior del dispositivo, esta actúa como un aislante en la salida de calor más notable del horno solar. Consecuentemente, disminuirá la posible transferencia de calor desde el recipiente hacia el exterior, inconveniente presenciado en las primeras mediciones que provocaba una disminución en los valores de temperatura de la masa de agua.

En una de las tesis predecesoras correspondiente a Uyaguari, (2014), se observa el circuito simplificado de flujo de calor al utilizar la tapa de vidrio (**Figura 43 y 44**). Haciendo el respectivo análisis del estado primitivo del horno solar sin la tapa de vidrio (**Figura 42**), se tiene el siguiente contraste entre estos circuitos térmicos de flujo de calor y el número total de resistencias en cada uno:

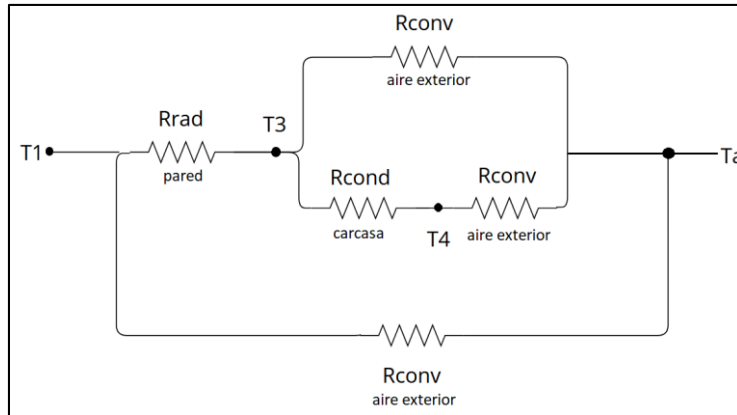


Figura 42. Circuito del flujo de calor (sin tapa de vidrio).

Fuente. El autor.

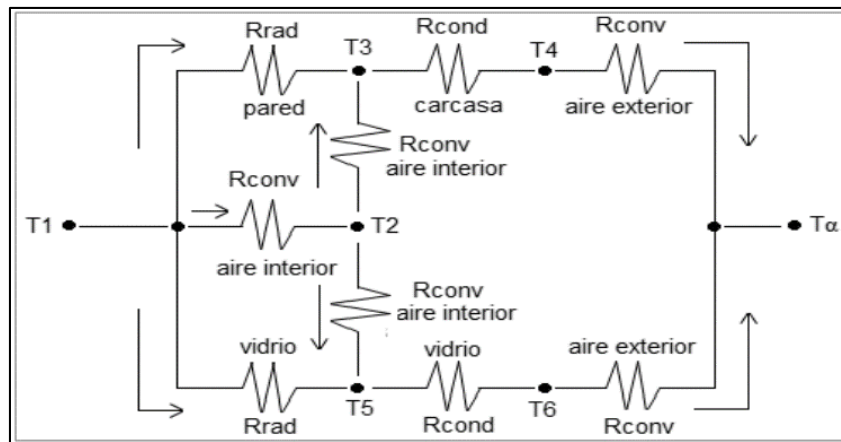


Figura 43. Circuito del flujo de calor (con tapa de vidrio).

Fuente. (Uyaguari, 2014).

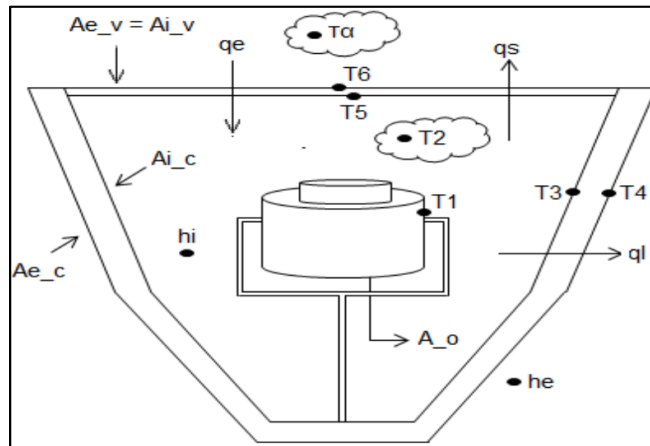


Figura 44. Dispositivo solar con tapa de vidrio.

Fuente. (Uyaguari, 2014).

A continuación, en la **Tabla 7** se muestran las resistencias existentes en cada circuito correspondiente a cada versión del horno solar (con tapa y sin tapa):

Tabla 7. Resistencias térmicas presentes.

Resistencias Térmicas en Circuito de Flujo	
Sin Tapa	Con Tapa
	Resistencia de radiación desde el recipiente hacia pared del horno solar.
	Resistencia de convección desde recipiente hacia el ambiente.
Resistencia de radiación desde el recipiente hacia pared del horno solar.	Resistencia de convección desde pared interior del horno solar hacia el ambiente.
Resistencia de convección desde recipiente hacia el ambiente.	Resistencia de conducción desde la pared interior hasta la pared exterior del horno solar (aislante).
Resistencia de convección desde pared interior del horno solar hacia el ambiente.	Resistencia de convección desde la pared exterior del horno solar hacia el ambiente.
Resistencia de conducción desde la pared interior hasta la pared exterior del horno solar (aislante).	Resistencia de radiación desde el recipiente hasta la pared interior del vidrio.
Resistencia de convección desde la pared exterior del horno solar hacia el ambiente.	Resistencia de convección desde el ambiente interior hasta la pared interior del vidrio.
	Resistencia de conducción entre las paredes del vidrio.
	Resistencia de convección desde la pared exterior hasta el ambiente exterior.

Fuente. El autor.

En la **Tabla 7** se observa, el circuito que presenta el mayor número de resistencias térmicas corresponde al circuito con la tapa de vidrio. Con el objetivo de impedir la transferencia de calor desde el interior del horno solar hacia el ambiente, resulta conveniente crear el efecto invernadero con la tapa, la reflexión de rayos solares mediante los concentradores y la estructura de acero inoxidable brillante. Es notable la resistencia de conducción entre la pared interior (plancha de acero inoxidable) y exterior (cubierta de mdf) del horno solar debido al aislante (lana de vidrio).

Cabe mencionar que, mediante la tapa de vidrio y la propia estructura del horno solar, el viento que pueda verse involucrado durante la segunda recolección de datos no tendrá un efecto notable en la posible disminución de temperatura a diferencia de las primeras mediciones, que no contaban con esta tapa de vidrio y el viento influenciaba directamente en el recipiente donde reposa el agua. Este criterio permite considerar que la restricción con respecto a corrientes de aire en la norma ASAE S580 pueda ser excluida de la segunda recolección de datos.

6.3.2.4. Mejoras incluidas.

A continuación, se mencionan las mejoras que se implementaron en el hidroseguidor y horno solar para la segunda evaluación y la función que cumplen. En la **Figura 45** se observan las mejoras incluidas en el hidroseguidor y el horno solar.

- **Tapa de vidrio:** mantener la temperatura dentro del instrumento solar disminuyendo las pérdidas por convección y, mitigar la acción del viento sobre el dispositivo.
- **Sistema de contrapeso:** permitir un movimiento adecuado del horno solar, compensando las notables diferencias del funcionamiento original del hidroseguidor con respecto al nuevo dispositivo de fines térmicos (horno solar) al notar en la práctica la efectividad de un solo disco de acero en el eje a 20 cm de la base.
- **Concentradores parabólicos de Mylar:** aumentar la efectividad del horno solar mediante la concentración de rayos solares incidentes hacia el punto focal, el recipiente colector (olla).



Figura 45. Mejoras instaladas en el equipo.
Fuente. El autor.

6.4. Segunda recolección de datos.

De manera similar a la primera recolección de datos, esta será regida por la norma ASAE S580. Con las mejoras aplicadas al hidroseguidor se espera mejores resultados en la potencia del horno solar y la eficiencia del equipo. Se procede con las nuevas mediciones del equipo, procurando que el desarrollo de estas sea en condiciones similares a aquellas de las mediciones iniciales. Es de esperarse que el análisis de estas mediciones dé lugar a mejores resultados que las mediciones iniciales, en donde el hidroseguidor no se encontraba funcional y no había mejoras de ningún tipo. En la **Tabla 8** están las mediciones realizadas en la segunda ocasión.

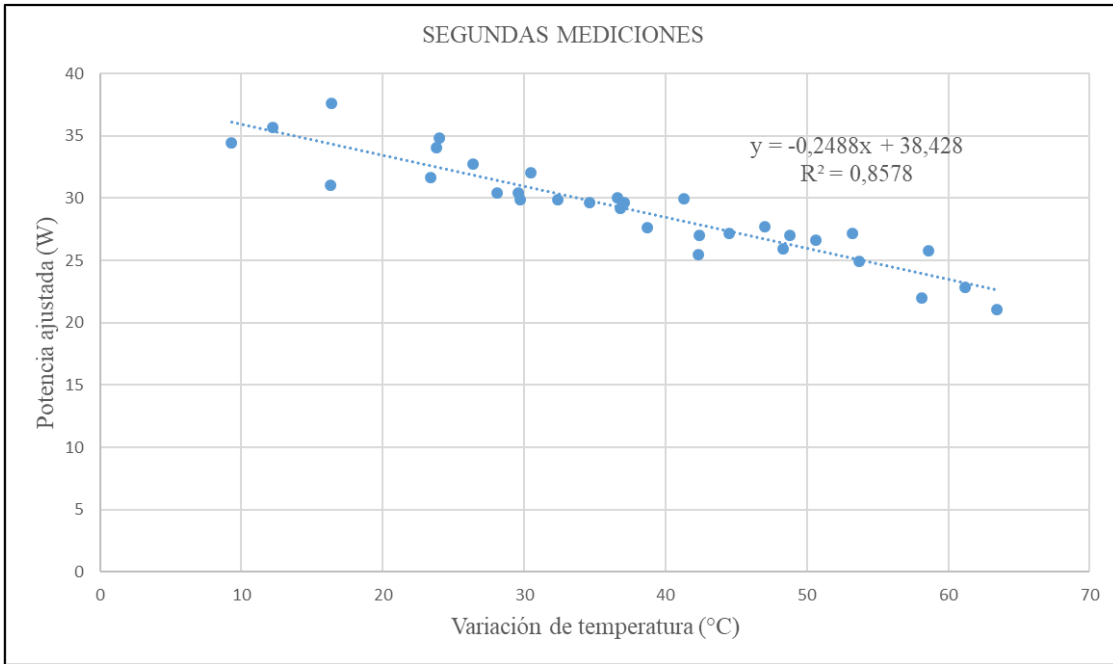
Tabla 8. Mediciones con mejoras aplicadas.

Segundas Mediciones								
Nro	Td (°C)	Ps (W)	Nro	Td (°C)	Ps (W)	Nro	Td (°C)	Ps (W)
1	9,3	34,46	12	34,6	29,63	23	26,4	32,74
2	16,3	31,03	13	41,3	29,94	24	32,4	29,91
3	23,4	31,64	14	47,0	27,71	25	38,7	27,63
4	30,5	32,05	15	53,2	27,13	26	44,5	27,16
5	36,6	30,02	16	58,1	21,97	27	50,6	26,63
6	42,4	27,03	17	16,4	37,60	28	61,2	22,81
7	48,3	25,92	18	23,8	34,07	29	24	34,79
8	53,7	24,91	19	29,7	29,85	30	29,6	30,38
9	58,6	25,78	20	36,8	29,14	31	37,1	29,68
10	63,4	21,10	21	48,8	27,05	32	42,3	25,49
11	28,1	30,41	22	12,2	35,66			

Fuente. El autor.

Los días escogidos para la segunda recolección de datos fueron el 1, 5 y 7 de diciembre del año 2022; días que destacaron por su radiación solar, prometiéndole así resultados favorables en la segunda evaluación realizada en este proyecto. Cabe recalcar que hubo mediciones que quedaron descartadas por el criterio de variación de 100 W/m² en radiación solar, los límites superiores e inferiores de radiación permitida y, por la temperatura del agua al acercarse al límite de 5 °C por debajo de la temperatura de ebullición local (92,74 °C). En total, se contaron con 32 mediciones hábiles para esta segunda recolección de datos. En el **Anexo 10** se encuentran estas mediciones en su totalidad.

Después de haber realizado las operaciones correspondientes con la variación de temperatura del agua en el recipiente y con la potencia estándar explicadas anteriormente en la primera recolección de datos, se procede con la segunda operación de regresión lineal (**Gráfica 2**) en Excel para obtener la ecuación de la recta, la potencia para una temperatura de 50 °C y el coeficiente de determinación (r^2).



Gráfica 2. Regresión lineal de segundas mediciones.

Fuente: El autor.

Al evaluar la potencia del horno solar en las nuevas condiciones en la **Ecuación 4**, se obtuvo el siguiente valor con respecto a la temperatura de evaluación estándar de la norma (50 °C).

$$P_s = 38,428 - 0,2488 * T_d$$

$$P_s = 25,988 \text{ W}$$

Y el valor del coeficiente de determinación (r^2) es de 0,8578. Con este último valor, culmina la segunda recolección de datos posterior a la aplicación de mejoras.

6.5. Cálculo de rendimiento.

Primeramente, para realizar el cálculo del rendimiento en el presente trabajo de investigación, se remite al proyecto de tesis realizado anteriormente en la facultad con respecto a la evaluación de la cocina involucrada, la cual corresponde al horno solar (cocina combinada Parvati - caja). Esto debido a que se evaluará el aprovechamiento de la energía solar con los nuevos cambios y mejoras, esperando un rendimiento mayor en esta ocasión. Para el cálculo del rendimiento, se utiliza el método de Simpson para encontrar el área bajo una curva con respecto a las funciones complejas, mismo método utilizado en el análisis funcional del horno solar. La **Ecuación 8** corresponde al método de Simpson.

$$\int_a^b f(x) \cdot dx = \left(\frac{b-a}{3 \cdot n}\right) \cdot (f_0 + 4 \cdot f_1 + 2 \cdot f_2 + 4 \cdot f_3 + 2 \cdot f_4 \dots + 2 \cdot f_{n-2} + 4 \cdot f_{n-1} + f_n)$$

Con la **Ecuación 9** se determina el valor medio al evaluarla por n, el número de mediciones.

$$f = \frac{1}{n} \int_a^b f(x) \cdot dx$$

6.5.1. Valor de rendimiento en la primera recolección de datos.

Para obtener el rendimiento del horno solar accionado por el hidroseguidor se evaluará la potencia de entrada y de salida; para esto, se necesitan valores de temperatura y radiación media. En la **Tabla 9** se presentan los valores necesarios de la primera recolección de datos.

Tabla 9. Valores de variación de temperatura y radiación.

Primeras Mediciones								
Nro	ΔT (°C)	Rad (W/m ²)	Nro	ΔT (°C)	Rad (W/m ²)	Nro	ΔT (°C)	Rad (W/m ²)
1	4,3	972	12	1,5	1069	23	2,2	1048
2	3,8	1054	13	1,3	1091	24	1,8	1049
3	3,8	1079	14	1,4	1086	25	1,5	1063
4	3,5	1092	15	1	1088	26	1,4	1086
5	3,2	1083	16	4,6	982	27	4	1092
6	2,8	1078	17	4,8	1081	28	4,1	1072
7	2,5	1098	18	3,1	1080	29	3,4	1086
8	2,4	1089	19	3	1074	30	2,5	1007
9	2,1	1056	20	1,8	1021	31	3,3	1061
10	1,8	983	21	2,3	1025			
11	1,6	1059	22	2,1	994			

Fuente. El autor.

Aquí se presenta el cálculo para obtener el valor medio incremento de temperatura media y radiación media mediante el método de Simpson (**Ecuación 9**):

Incremento de temperatura media.

$$f = \frac{1}{n} \int_0^{31} f(x) \cdot dx$$

$$f = \left[\frac{b-a}{3 \cdot n^2} \right] \cdot (f_0 + 4 \cdot f_1 + 2 \cdot f_2 + 4 \cdot f_3 + 2 \cdot f_4 \dots + 2 \cdot f_{n-2} + 4 \cdot f_{n-1} + f_n)$$

Se agrupan los valores mediante sumatoria de los valores extremos, pares e impares.

$$\Delta T_{media} = \left[\frac{31-0}{3 \cdot (31)^2} \right] \cdot (\Sigma f_{(extremos)} + 4 \cdot \Sigma f_{(impares)} + 2 \cdot \Sigma f_{(pares)})$$

$$\Delta T_{media} = \frac{(7,6 + 4 \cdot (36,7) + 2 \cdot (38,6))}{3 \cdot 31}$$

$$\Delta T_{media} = \frac{7,6 + 146,8 + 77,2}{93}$$

$$\Delta T_{media} = 2,49 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Radiación media.

$$f = \frac{1}{n} \int_0^{31} f(x) \cdot dx$$

$$f = \left[\frac{b-a}{3 \cdot n^2} \right] \cdot (f_0 + 4 \cdot f_1 + 2 \cdot f_2 + 4 \cdot f_3 + 2 \cdot f_4 \dots + 2 \cdot f_{n-2} + 4 \cdot f_{n-1} + f_n)$$

$$R_{media} = \left[\frac{31-0}{3 \cdot (31)^2} \right] \cdot (\Sigma f_{(extremos)} + 4 \cdot \Sigma f_{(impares)} + 2 \cdot \Sigma f_{(pares)})$$

$$R_{media} = \frac{(2033 + 4 \cdot (15023) + 2 \cdot (15742))}{3 \cdot 31}$$

$$R_{media} = \frac{2033 + 60092 + 31484}{93}$$

$$R_{media} = 1006,55 \frac{\text{W}}{\text{m}^2}$$

En el **Anexo 11** se puede observar una representación gráfica de los valores de variación de temperatura y radiación. Con respecto al cálculo de potencia de entrada, esta dependerá del área en el horno solar (0,59 m²) y se obtiene mediante la **Ecuación 6**.

$$P_e = R_{media} \cdot A_{hs}$$

$$P_e = 1006,55 \frac{W}{m^2} \cdot 0,59 m^2$$

$$P_e = 593,86 W$$

Para obtener la potencia promedio con respecto a la masa de agua, incremento medio de temperatura y el intervalo de tiempo, se utiliza la **Ecuación 7**:

$$P_p = \frac{m_{agua} \cdot C_{H2O} \cdot \Delta T_{media}}{t}$$

$$P_p = \frac{1 \text{ kg} \cdot 4186 \frac{J}{\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}} \cdot 2,49 ^\circ\text{C}}{600 \text{ s}}$$

$$P_p = 6,98 W$$

Para finalizar, la potencia promedio es evaluada con respecto a la potencia de entrada para obtener el rendimiento mediante la **Ecuación 5**.

$$\eta_{hs} = \frac{P_p}{P_e}$$

$$\eta_{hs} = \frac{6,98 W}{593,86 W}$$

$$\eta_{hs} = 0,0118$$

6.5.2. Cálculo de rendimiento en la segunda recolección de datos.

Debido a que el proceso aplicado en la primera recolección de datos es el mismo, solo se detallará los cambios y operaciones notables.

Se realiza el cálculo de los valores necesarios para la obtención de potencia de entrada y potencia promedio mediante la **Ecuación 8**. Ahora se considera una posible mejora de estos resultados con las mejoras aplicadas y el hidroseguidor habilitado. Cabe recalcar que ahora el límite superior corresponde al número total de 32 mediciones realizadas en esta segunda recolección de datos. Aquí la **Tabla 10** de valores de la segunda medición:

Tabla 10. Valores de variación de temperatura y radiación.

Segundas Mediciones

Nro.	ΔT (°C)	Rad (W/m ²)	Nro.	ΔT (°C)	Rad (W/m ²)	Nro.	ΔT (°C)	Rad (W/m ²)
1	7,6	1077	12	6,6	1088	23	7,3	1089
2	6,9	1086	13	6,7	1093	24	6,7	1094
3	7,1	1096	14	6,1	1075	25	6,1	1078
4	7,2	1097	15	5,8	1044	26	6,1	1097
5	6,7	1090	16	4,8	1067	27	5,9	1082
6	6	1084	17	8,1	1052	28	5,1	1092
7	5,7	1074	18	7,2	1032	29	7,7	1081
8	5,6	1098	19	6,4	1047	30	6,8	1093
9	5,3	1004	20	5,8	971,9	31	6,6	1086
10	4,7	1088	21	5,7	1029	32	5,7	1092
11	6,8	1092	22	7,9	1082			

Fuente. El autor.

Incremento de temperatura media.

$$f = \frac{1}{n} \int_0^{32} f(x) \cdot dx$$

$$\Delta T_{media} = \left[\frac{32 - 0}{3 \cdot (32)^2} \right] \cdot (\sum f_{(extremos)} + 4 \cdot \sum f_{(impares)} + 2 \cdot \sum f_{(pares)})$$

$$\Delta T_{media} = \frac{(13,3 + 4 * (97,9) + 2 * (93,5))}{3 * 32}$$

$$\Delta T_{media} = \frac{13,3 + 391,6 + 187}{96}$$

$$\Delta T_{media} = 6,166 \text{ °C}$$

Radiación media.

$$f = \frac{1}{n} \int_0^{32} f(x) \cdot dx$$

$$\Delta R_{media} = \left[\frac{32 - 0}{3 \cdot (32)^2} \right] \cdot (\sum f_{(extremos)} + 4 \cdot \sum f_{(impares)} + 2 \cdot \sum f_{(pares)})$$

$$R_{media} = \frac{(2169 + 4 * (16037) + 2 * (16144,9))}{96}$$

$$R_{media} = 1027,15 \frac{W}{m^2}$$

Potencia de entrada.

$$P_e = R_{media} \cdot A_{hs}$$

$$P_e = 1027,15 \frac{W}{m^2} \cdot 0,59 m^2$$

$$P_e = 606.021 W$$

Se procede con el cálculo de la potencia de salida con los siguientes datos:

$$P_p = \frac{m_{agua} \cdot C_{H2O} \cdot \Delta T_{media}}{t}$$

$$P_p = \frac{1 \text{ kg} \cdot 4186 \frac{J}{\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}} \cdot 6,166 ^\circ\text{C}}{600 \text{ s}}$$

$$P_p = 43,018 W$$

Al evaluar los datos obtenidos sobre potencia, el rendimiento en la segunda recolección ($\eta_{hs'}$) de datos se obtiene con la **Ecuación 5**:

$$\eta_{hs'} = \frac{P_p}{P_e}$$

$$\eta_{hs'} = \frac{43,018 W}{606,02 W}$$

$$\eta_{hs'} = 0,071$$

El rendimiento obtenido después de haber aplicado las mejoras y con el hidroseguidor funcionando corresponde a un 7,1%.

7. Discusión

Con el objetivo de demostrar el aporte que un hidroseguidor tendrá en una instalación basada en captación solar, se analiza el dispositivo ubicado en la Facultad de la Energía de la Universidad Nacional de Loja de autoría de Uyaguari, (2014), el cual acciona una cocina solar combinada (Parvati - caja). El hidroseguidor fue originalmente diseñado para accionar una cocina solar parabólica; en este caso, accionará la cocina combinada. Algunas semejanzas entre la investigación de la cocina combinada de Uyaguari, (2014) y, la investigación actual, sería la norma para evaluar el dispositivo solar, la forma de evaluación de rendimiento y, el objetivo de demostrar mejoría con respecto a aplicación de nuevos conceptos.

Asimismo, los resultados obtenidos en el presente proyecto de investigación muestran la mejoría que puede ofrecer un sistema de seguimiento solar en un dispositivo colector de este tipo y, diferentes aplicaciones de tecnologías novedosas como concentradores parabólicos. Una vez constatados los resultados, se evidencian nuevas tecnologías a investigar en próximos trabajos de investigación en el aspecto de aprovechamiento solar, como el análisis del artículo sobre aplicaciones de sistemas de alto flujo de termoquímica solar perteneciente a Levêque et al., (2017), documento primordial en el desarrollo de los concentradores antes mencionados.

Al tratar de mejorar su funcionamiento; se realiza la investigación y aplicación de varias tecnologías en múltiples aspectos del hidroseguidor y el instrumento de captación solar. Como primera mejora se tiene a la tapa de vidrio que actúa como un aislante en la salida principal de calor del dispositivo de captación solar, evitando posibles pérdidas por convección y mitigando la acción del viento sobre el dispositivo. Como segunda mejora se tiene al sistema de contrapeso; al ubicar un disco de acero en el eje del horno solar a 20 cm de la base, se evidenció un movimiento adecuado del horno solar, compensando las notables diferencias del funcionamiento original del hidroseguidor. Y, como tercera mejora, la aplicación de concentradores parabólicos de Mylar para aumentar la incidencia de rayos solares hacia el punto focal, el recipiente colector (olla).

La norma ASAE S580 rige el proceso de recolección de datos en un intervalo de temperatura cuyos límites corresponden a 5 °C por encima de la temperatura ambiente y, 5 °C por debajo de la temperatura de ebullición local. Dicho esto, se obtuvo el valor de

temperatura de saturación para la ciudad de Loja (92,74 °C) con respecto a su altitud (2160 m.s.n.m.), para posteriormente ser comparado con las altas temperaturas que se presentaron en las segundas mediciones y, proceder con el descarte de aquellas que incumplían con esta limitación.

Este estudio da lugar a un punto de comparación general para otros instrumentos de aprovechamiento solar al realizar el cálculo de potencia estandarizada y la potencia con respecto a un valor de temperatura específica (50°C) en un intervalo de tiempo (10 min).

En las primeras mediciones, se analizaron 31 datos recolectados sobre la potencia del horno solar (regidos por la norma ASAE S580) y el rendimiento que se obtiene al estar inactivo el sistema de captación solar. Aquí se obtuvo un valor de potencia estandarizada de 4,174 W, un coeficiente de determinación (r^2) de 0,8746 y un rendimiento de 1,18%. El rendimiento obtenido del 1,18% es menor con respecto al obtenido en la tesis de Uyaguari, (2014); esto puede ser debido a que las condiciones de medición fueron distintas en este proyecto de investigación, desde el uso de la tapa de vidrio únicamente en las segundas mediciones, aumento del intervalo de tiempo, las condiciones climatológicas durante la primera recolección de datos, entre otras.

En la segunda recolección de datos se observa una mejoría notable en potencia estandarizada y el rendimiento; todo esto debido a la adición de la tapa de vidrio, el sistema de contrapeso para la activación del hidroseguidor y el material reflector (manta térmica Mylar) en forma de dos concentradores parabólicos. En la segunda recolección de datos (32 mediciones), se obtuvo un valor de potencia estandarizada de 25,988 W, un coeficiente de determinación (r^2) de 0,8578 y un rendimiento de 7,1%.

De acuerdo al valor de rendimiento de 1,18 % obtenido en la cocina combinada sin la acción del hidroseguidor ni mejoras, se eleva este valor a 7,1% en la segunda recolección de datos posterior a la aplicación de la tapa de vidrio, sistema de contrapeso y concentradores parabólicos Mylar. La tapa de vidrio tiene un rol importante en esta obtención de rendimiento al mantener un cierto valor de temperatura dentro del artefacto solar, resaltando dos características notables en este proyecto: la similitud a un horno solar por las paredes aisladas y la tapa de vidrio ubicada en la parte superior actuando como aislante de una salida notable de calor y, la ausencia de datos negativos de variación de temperatura en el caso de haber una posible interrupción de radiación solar.

8. Conclusiones

- Se concluye que el análisis del sistema hidroseguidor – horno solar permitió las propuestas de usar una tapa de vidrio, sistema de contrapeso y material reflectivo Mylar, todas encaminadas a la modernización de los posibles aspectos de este sistema; desde el correcto movimiento del hidroseguidor hasta la implementación de concentradores parabólicos en el instrumento dedicado a fines térmicos, el horno solar.
- El valor de rendimiento del artefacto de aprovechamiento solar evaluado inicialmente en la facultad fue de 1,18%. El accionar del hidroseguidor, la aplicación de la tapa de vidrio y, los concentradores parabólicos Mylar, demuestran un beneficio considerable al dar un valor actual de rendimiento igual a 7,1%; revelando la mejoría realizada sobre el valor de rendimiento anterior en el horno solar. Esto debido a un incremento de temperatura de 6,166 °C en una masa de agua (1kg) cada 10 minutos, con un valor promedio de radiación solar de 1027,15 W/m².
- Al haber seguido el protocolo detallado en la norma ASAE S580 sobre la evaluación de este proyecto de tesis, se recolectaron 31 datos en las primeras mediciones al inicio y, 32 datos en las segundas mediciones, para su análisis mediante la norma, obteniendo un punto de comparación estándar con respecto a valores de potencia y un coeficiente de determinación en otros estudios de instrumentos de captación solar; mostrando mejoría en el valor de potencia estandarizada desde 4,174W hasta 25,988W para una temperatura de 50°C y, los respectivos coeficientes de determinación (r^2) de 0,8746 y 0,8578, respectivamente.

9. Recomendaciones

En base a la investigación realizada para la culminación de este proyecto de tesis, se tienen las siguientes recomendaciones:

- Continuar el estudio de las múltiples aplicaciones solares que se pueden desarrollar, implementar y mejorar con respecto a procesos de tratamiento de agua y cocción solar. Todo esto debido al gran potencial para arrojar resultados favorables, sobre todo en zonas donde el recurso solar es evidente y constante.
- Mantener la limpieza y observación de los equipos a evaluar para evitar cualquier contratiempo causado por desgaste de la vida útil de los componentes presentes en cualquier actividad relacionada a fines térmicos.
- Realizar las pruebas necesarias de los equipos a utilizar en la evaluación de los sistemas de aprovechamiento solar y la asistencia de seguimiento al Sol que pudiera verse involucrado en la actividad de recolección de datos.
- Indagar sobre la aplicabilidad de conceptos de grandes sistemas de aprovechamiento solar (termoquímica solar) para temperaturas mayores a 1000 K para su posible adecuación en sistemas de menor tamaño con objetivos de menor alcance y el cumplimiento de los mismos.
- Cumplir con las normas de seguridad necesarias (guantes, gafas de protección) al tratarse de sistemas donde la radiación solar pueda llegar a causar algún tipo de daño severo en la piel, ojos, entre otros.

10. Bibliografía

- Aguilar, Bravo, Gallegos, Cerón, & Reyes. (2009). Geometría analítica (CONAMAT) (p. 280).
- Arian. (2013). Tipos de termocupla. Arian S.A Santiago de Chile, 10. <http://www.arian.cl/downloads/nt-002.pdf>
- Beer, E. Russell Johnston, David F. Mazurek, E. R. E. (2013). Vector Mechanics (Vol. 66).
- BMLINDOW. (2012). Cómo funciona un horno solar Sun Cook. https://www.youtube.com/watch?time_continue=104&v=Q13s_mQBGds&feature=emb_logo
- CÁLCULO. (2008). 09.2 -Metodo de Arandelas - Portafolio Calculo 2. <https://sites.google.com/site/calculo2ingsistemas2016/09--solidos-en-revolucion/09-2--metodo-de-arandelas>
- Chapra, S., & Canale, R. (2015). Métodos numéricos para ingenieros.
- CS. (2009). Materiales reflectantes (para tus cocinas y hornos solares) | Cocina Solar. <https://cocinasolar.wordpress.com/2009/10/07/materiales-reflectantes-para-tus-cocinas-y-hornos-solares/>
- Cuenca y Quinde, Q. y. (2010). Diseño y construcción de un hidroseguidor para el control del seguimiento de una cocina solar parabólica.
- EDU. (2014). Instrumentos meteorologicos 1. 1–39.
- Espinoza, P. y. (2015). Energía solar en el Ecuador. *In ResearchGate (Issue January)*.
- Esteves, A. D. G. (2003). Avances en energías renovables y medio ambiente. *In Asades (Vol. 7, Issue 2)*.
- FLIR. (2014). Cámaras termográficas para aplicaciones industriales. <http://www.alava-ing.es/repositorio/6596/pdf/5370/2/camaras-termograficas-para-aplicaciones-industriales.pdf>
- Funk, P. A. (2013). Testing and Reporting Solar Cooker Performance. ASAE Standard S-580.1, January 1997, 3–8. http://solarcooking.org/asae_test_std.pdf
- GastronomiaSolar. (2012). HORNO SOLAR. <https://gastronomiasolar.com/horno-solar-funcionamiento-temperatura/>
- Guerrero, F. (2014). Estimación de la reducción del consumo de leña, por el uso de

- concentradores solares en el caserío de los coronados del distrito de Mochumí en el período de agosto a diciembre del 2016.
- Hibbeler. (2004). *Mecánica Vectorial para Ingenieros (Estática)*. 10ma.
- IDAE. (2018). *Energía Solar Térmica*.
- Lema, A., Pontin, M., Ghirardotto, M., & Sanmartino, A. (2006). Estudio de diferentes materiales de cubierta para cocinas solares tipo caja. *10*, 83–88.
- Levêque, G., Bader, R., Lipiński, W., & Haussener, S. (2017). High-flux optical systems for solar thermochemistry. *Solar Energy*, *156*(August), 133–148. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2017.07.046>
- Lewandowski, C. M. (2015). El Mantenimiento. *The Effects of Brief Mindfulness Intervention on Acute Pain Experience: An Examination of Individual Difference*, *1*, 39–61. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Lorente. (2018). Radiación solar. <https://solar-energia.net/que-es-energia-solar/radiacion-solar>
- Markit, I. (2020). Solar and energy storage | IHS Markit. <https://ihsmarkit.com/topic/solar-energy-storage.html>
- Panwar, N. L., Kaushik, S. C., & Kothari, S. (2012). State of the art of solar cooking: An overview. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *16*(6), 3776–3785. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2012.03.026>
- Passamai, V., Garmadi, S., & Zamora, S. (2017). Modelo dinámico térmico de una cocina solar de pequeñas dimensiones en condiciones de radiación solar variable. *21*, 95–103.
- Passamai, V., & Passamai, M. (2013). Experiencias con cocinas solares tipo cookit de costo mínimo. *Journal of Chemical Information and Modeling*, *53*(9), 1689–1699.
- RAE. (2019). hidro- | Definición | Diccionario de la lengua española | RAE - ASALE. <https://dle.rae.es/hidro->
- Rodriguez Pozueta, M. A. (2011). Potencias, Calentamiento y Caracterizacion de las Maquinas Electricas. *Aspectos Generales De Las Máquinas Eléctricas Y Electromagnetismo*, *37*.
- Rojas, M. (2018). Efectividad, eficacia y eficiencia en equipos de trabajo Effectiveness, efficacy and efficiency in teamworks (Vol. 39).
- SCI. (2018). Solar Funnel Cooker | Solar Cooking | Fandom.

https://solarcooking.fandom.com/wiki/Solar_Funnel_Cooker

Serra, C. y. (2013). Fenómenos atmosféricos, unidad didáctica.

Stoll, D., Giroux, F., & Passamai, V. (2008). Experiencias controladas realizadas con distintas cocinas solares. 47, 156–161.

Uyaguari, C. (2014). Diseño, construcción y análisis funcional-experimental de una cocina solar combinada (parvati – tipo caja) para el laboratorio de energías renovables de la CIEM – UNL. *Universidad Nacional De Loja*.

Vaca, D., & Ordóñez, F. (2019). Atlas Solar Ecuador. 12–26.
https://www.ingenieriaverde.org/wp-content/uploads/2020/01/Mapa_Solar_del_Ecuador_2019.pdf

Valldoreix GreenPower. (2014). Las Ventajas de los Seguidores Solares - Valldoreix Greenpower. <http://www.valldoreix-gp.com/las-ventajas-de-los-seguidores-solares/>

11. Anexos

Anexo 1. Reporte de estación meteorológica UNL.

1.1. Datos usados en primeras mediciones (01/11/2022).

FECHA	HORA	TEMPERATURA DEL AIRE PROMEDIO °C	RADIACION SOLAR GLOBAL PROMEDIO W/m2	RADIACION SOLAR GLOBAL MAXIMA W/m2	RADIACION SOLAR GLOBAL MINIMA W/m2	RADIACION SOLAR SUMATORIA W/m2
1/11/2022	10:00:02	19.9	188	213	176	56704
1/11/2022	10:10:02	20.5	655	1251	391	196518
1/11/2022	10:20:02	20.9	535	1151	254	160505
1/11/2022	10:30:02	22.1	811	1113	315	243290
1/11/2022	10:40:02	22	316	875	228	94942
1/11/2022	10:50:02	21.1	314	809	262	94346
1/11/2022	11:00:02	22	1014	1236	458	304648
1/11/2022	11:10:02	22,4	287	338	261	86074
1/11/2022	11:20:02	21,6	162	226	134	48562
1/11/2022	11:30:02	21,1	761	1275	258	228386
1/11/2022	11:40:02	22,4	1104	1129	1083	331177
1/11/2022	11:50:02	23	1056	1241	337	316824
1/11/2022	12:00:02	22,6	318	830	217	96113
1/11/2022	12:10:02	22	506	764	332	151814
1/11/2022	12:20:02	21,3	372	1081	252	111587
1/11/2022	12:30:02	21,8	550	709	504	165001
1/11/2022	12:40:02	22,7	980	1383	552	294133
1/11/2022	12:50:02	23,7	958	1266	450	287476
1/11/2022	13:00:02	22,9	941	1259	387	283596
1/11/2022	13:10:02	23,7	432	1076	246	129580
1/11/2022	13:20:02	23,7	994	1039	545	298223
1/11/2022	13:30:02	23,5	951	1059	433	285375
1/11/2022	13:40:02	23,9	802	965	251	240450
1/11/2022	13:50:02	24,6	904	970	464	271236
1/11/2022	14:00:02	24,6	866	983	266	260704

1.2. Datos usados en primeras mediciones (16/11/2022).

FECHA	HORA	TEMPERATURA DEL AIRE PROMEDIO °C	TEMPERATURA DEL AIRE MAXIMA °C	TEMPERATURA DEL AIRE MINIMA °C	RADIACION SOLAR GLOBAL PROMEDIO W/m2	RADIACION SOLAR GLOBAL MAXIMA W/m2	RADIACION SOLAR GLOBAL MINIMA W/m2	RADIACION SOLAR SUMATORIA W/m2
16/11/2022	10:00:02	17,3	18.4	17.1	572	1155	294	172724
16/11/2022	10:10:02	18	19.2	17.9	540	951	319	161943
16/11/2022	10:20:02	17,8	18.9	17.8	342	412	303	102484
16/11/2022	10:30:02	18	19.1	17.8	391	543	253	117341
16/11/2022	10:40:02	17,9	19	17.8	312	362	235	93640
16/11/2022	10:50:02	17,9	19	17.7	343	418	305	102805
16/11/2022	11:00:02	18,1	19.5	17.9	558	1246	342	167851
16/11/2022	11:10:02	18,7	19.9	18.3	785	1405	428	235492
16/11/2022	11:20:02	18,5	19.6	18.3	966	1233	595	289856
16/11/2022	11:30:02	18,6	19.8	18.5	574	852	319	172109
16/11/2022	11:40:02	18,8	19.9	18.6	802	1169	548	240633
16/11/2022	11:50:02	19,5	20.7	19.2	926	1412	574	277673
16/11/2022	12:00:02	19,5	20.6	19.4	760	1391	446	229391
16/11/2022	12:10:02	20,1	21.3	19.9	1138	1352	540	341392
16/11/2022	12:20:02	20,9	22.1	20.5	963	1432	498	288857
16/11/2022	12:30:02	20,3	21.6	19.7	1035	1162	912	310516
16/11/2022	12:40:02	19,7	20.9	19.5	882	1192	673	264534
16/11/2022	12:50:02	19,5	20.6	19.3	450	506	355	134906
16/11/2022	13:00:02	19,5	20.8	19.2	749	1349	278	225473
16/11/2022	13:10:02	20	21.1	19.8	623	1337	382	186828
16/11/2022	13:20:02	20,2	21.4	19.9	627	1113	417	187962
16/11/2022	13:30:02	20,3	21.6	20.1	651	944	531	195219
16/11/2022	13:40:02	20,3	21.4	20.1	873	1316	552	261966
16/11/2022	13:50:03	20,8	22	20.6	569	1284	381	170564
16/11/2022	14:00:03	21	22.1	20.9	591	1240	439	177896

1.3. Datos usados en primeras mediciones (23/11/2022).

FECHA	HORA	TEMPERATURA DEL AIRE PROMEDIO °C	RADIACION SOLAR GLOBAL PROMEDIO W/m2	RADIACION SOLAR GLOBAL MAXIMA W/m2	RADIACION SOLAR GLOBAL MINIMA W/m2	RADIACION SOLAR SUMATORIA W/m2
23/11/2022	10:00:02	23.4	927	932	919	278886
23/11/2022	10:10:02	23.6	961	977	867	288194
23/11/2022	10:20:02	24.2	864	1164	399	259266
23/11/2022	10:30:02	23.3	681	853	357	204287
23/11/2022	10:40:02	22.8	586	1101	418	175878
23/11/2022	10:50:02	24.3	1020	1247	482	306117
23/11/2022	11:00:02	24.3	567	1271	403	170808
23/11/2022	11:10:02	23.8	505	1063	339	151606
23/11/2022	11:20:02	23.1	681	1168	317	204383
23/11/2022	11:30:02	23.3	652	1010	352	195522
23/11/2022	11:40:02	23.8	958	1027	913	287284
23/11/2022	11:50:02	24.6	867	906	841	260067
23/11/2022	12:00:02	24.6	959	977	934	288549
23/11/2022	12:10:02	25.1	1086	1113	1056	325679
23/11/2022	12:20:02	24.7	470	656	398	140934
23/11/2022	12:30:02	24.1	567	651	505	170178
23/11/2022	12:40:02	24	726	864	414	217915
23/11/2022	12:50:02	24.5	704	780	466	211119
23/11/2022	13:00:02	24.5	714	995	454	215282
23/11/2022	13:10:02	25.3	962	986	947	288545
23/11/2022	13:20:02	25.3	909	921	886	272666
23/11/2022	13:30:02	25.3	855	873	764	256540
23/11/2022	13:40:02	25.2	853	884	805	255848
23/11/2022	13:50:02	25.4	815	860	771	244444
23/11/2022	14:00:02	25.4	680	696	671	204815

1.4. Datos usados en segundas mediciones (01/12/2022).

FECHA	HORA	TEMPERATURA DEL AIRE PROMEDIO °C	RADIACION SOLAR GLOBAL PROMEDIO W/m2	RADIACION SOLAR GLOBAL MAXIMA W/m2	RADIACION SOLAR GLOBAL MINIMA W/m2	RADIACION SOLAR SUMATORIA W/m2
1/12/2022	10:00:02	22,5	898	906	885	270210
1/12/2022	10:10:02	22,9	887	917	806	266157
1/12/2022	10:20:02	22,9	940	954	929	281930
1/12/2022	10:30:03	22,8	970	979	962	291082
1/12/2022	10:40:03	22,8	995	1001	984	298531
1/12/2022	10:50:03	22,9	969	980	959	290608
1/12/2022	11:00:03	23,5	1018	1033	1009	306570
1/12/2022	11:10:03	23,7	998	1006	990	299362
1/12/2022	11:20:03	23,5	1014	1019	1009	304326
1/12/2022	11:30:03	23,7	1040	1052	1028	312069
1/12/2022	11:40:03	24,1	1030	1039	1017	309029
1/12/2022	11:50:03	24	1009	1033	992	302624
1/12/2022	12:00:03	23,9	1030	1036	1019	309881
1/12/2022	12:10:03	25	1038	1051	1025	311416
1/12/2022	12:20:03	24,5	1009	1026	994	302647
1/12/2022	12:30:03	24,4	1000	1010	985	299930
1/12/2022	12:40:02	24,5	1045	1081	900	313396
1/12/2022	12:50:02	24,5	1030	1051	1004	309013
1/12/2022	13:00:02	24,9	1027	1044	946	309170
1/12/2022	13:10:02	24,5	618	1025	209	185384
1/12/2022	13:20:02	24,4	960	984	629	287865
1/12/2022	13:30:02	24,2	968	1005	691	290349
1/12/2022	13:40:02	24,5	880	1013	244	263963
1/12/2022	13:50:02	24,4	726	980	178	217915
1/12/2022	14:00:02	24,4	890	987	242	267911

1.5. Datos usados en segundas mediciones (05/12/2022).

FECHA	HORA	TEMPERATURA DEL AIRE PROMEDIO ° C	RADIACION SOLAR GLOBAL PROMEDIO W/m2	RADIACION SOLAR GLOBAL MAXIMA W/m2	RADIACION SOLAR GLOBAL MINIMA W/m2	RADIACION SOLAR SUMATORIA W/m2
5/12/2022	10:00:02	22	920	932	905	276866
5/12/2022	10:10:02	23	981	1026	916	294342
5/12/2022	10:20:02	23.2	1088	1112	1022	326488
5/12/2022	10:30:02	23.6	1090	1148	494	326967
5/12/2022	10:40:02	24.3	1064	1198	698	319246
5/12/2022	10:50:02	23.9	1036	1240	462	310861
5/12/2022	11:00:02	23.7	860	1214	328	259138
5/12/2022	11:10:02	24.2	826	1216	242	247845
5/12/2022	11:20:02	22.9	467	1207	230	139979
5/12/2022	11:30:02	23.7	1120	1172	1095	335975
5/12/2022	11:40:02	24.7	795	1182	282	238400
5/12/2022	11:50:02	23.4	273	330	253	82009
5/12/2022	12:00:02	23.6	575	1137	333	172728
5/12/2022	12:10:02	23	218	244	205	65381
5/12/2022	12:20:02	22.8	310	1005	234	93110
5/12/2022	12:30:02	23.5	625	1283	350	187430
5/12/2022	12:40:02	24.2	338	451	268	101289
5/12/2022	12:50:02	23.7	402	776	297	120578
5/12/2022	13:00:02	23.7	727	1313	376	218467
5/12/2022	13:10:02	23.9	381	525	337	114202
5/12/2022	13:20:02	24.1	331	544	291	99408
5/12/2022	13:30:02	25.2	1021	1097	544	306395
5/12/2022	13:40:02	25.7	743	1130	347	222819
5/12/2022	13:50:02	26.2	1011	1060	975	303386
5/12/2022	14:00:02	26.1	945	1070	410	284249

1.6. Datos usados en segundas mediciones (07/12/2022).

FECHA	HORA	TEMPERATURA DEL AIRE PROMEDIO °C	RADIACION SOLAR GLOBAL PROMEDIO W/m2	RADIACION SOLAR GLOBAL MAXIMA W/m2	RADIACION SOLAR GLOBAL MINIMA W/m2	RADIACION SOLAR SUMATORIA W/m2
7/12/2022	10:00:02	20.5	665	1102	228	200678
7/12/2022	10:10:02	20.8	613	1059	260	183872
7/12/2022	10:20:02	20.9	580	1196	274	173932
7/12/2022	10:30:02	21.6	500	1160	245	150011
7/12/2022	10:40:02	21.5	822	1177	258	246626
7/12/2022	10:50:02	22.2	756	1227	302	226681
7/12/2022	11:00:02	22	1056	1204	424	318139
7/12/2022	11:10:02	22.3	756	1236	330	226749
7/12/2022	11:20:02	22.1	790	1305	323	236953
7/12/2022	11:30:02	22.4	1097	1299	468	328975
7/12/2022	11:40:02	23	393	483	364	117919
7/12/2022	11:50:02	22.3	385	468	361	115464
7/12/2022	12:00:02	22.2	529	1208	405	159614
7/12/2022	12:10:02	22	557	1304	448	166994
7/12/2022	12:20:02	21.7	788	1440	463	236258
7/12/2022	12:30:02	22.5	691	1371	486	207342
7/12/2022	12:40:02	22.3	572	1358	433	171546
7/12/2022	12:50:02	22.1	1090	1337	436	326860
7/12/2022	13:00:02	23.3	857	1427	480	257723
7/12/2022	13:10:02	22.4	492	746	321	147469
7/12/2022	13:20:02	22.9	1017	1196	268	305230
7/12/2022	13:30:02	22.7	383	829	259	115017
7/12/2022	13:40:02	22.6	441	491	383	132269
7/12/2022	13:50:02	22.2	350	592	315	105111
7/12/2022	14:00:02	22	383	545	312	115416

Anexo 2. Restricciones de norma estandarizada ASAE S580.

5 Uncontrolled (Weather) Variables

5.1 Average wind. Tests shall be conducted when average wind during the duration of the test is less than 1.0 m/s, measured at the elevation of the cooker being tested and within ten meters of it.

5.2 Maximum wind. Should the wind exceed 2.5 m/s for more than ten minutes the test data shall be discarded.

5.3 Wind shielding. If a wind shelter is required, 1) it shall be designed so as to not interfere with incoming total radiation and 2) the wind instrumentation shall be co-located with the cooker in the same wind shadow.

5.4 Ambient temperature. Tests should be conducted when ambient temperatures are between 20 and 35 °C.

5.5 Water temperature. Test data shall be recorded while cooking vessel contents (water) are at temperatures between 5 °C above ambient and 5 °C below local boiling temperature.

5.6 Insolation. Available solar energy shall be measured in the plane perpendicular to direct beam radiation (the maximum reading) using a radiation pyranometer. Variation in measured insolation greater than 100 W/m² during a ten-minute interval, or readings below 450 W/m² or above 1100 W/m² during the test shall render the test invalid. For convenience, the pyranometer may be fixed on the cooker at the average beam radiation zenith angle as calculated for the entire test period.

5.7 Solar zenith and azimuth angle. Tests should be conducted between 10:00 and 14:00 solar time. Exceptions necessitated by solar variability or ambient temperature shall be specially noted.

Anexo 3. Imágenes del primer mantenimiento en el sistema horno – hidroseguidor.

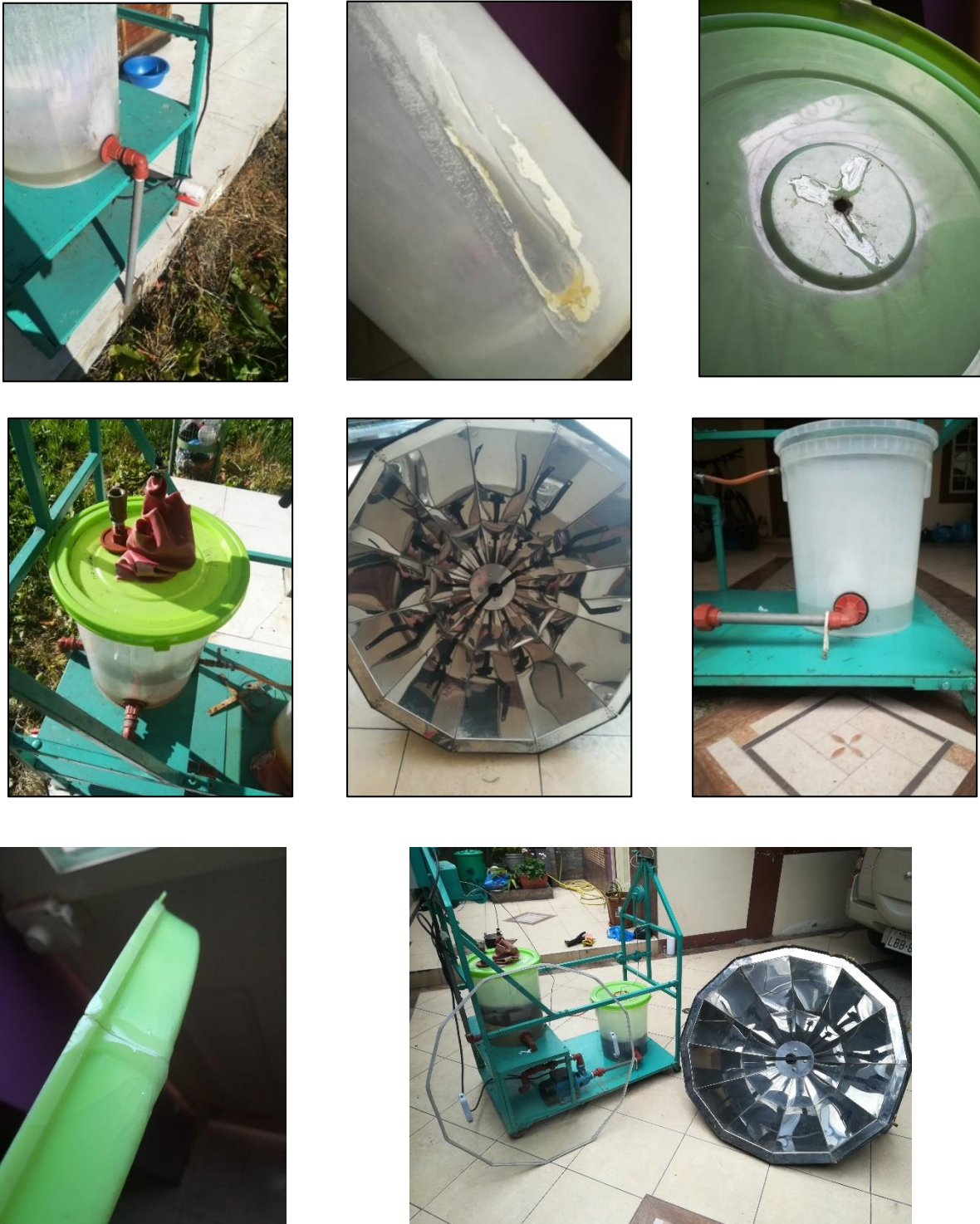


Figura 46. Compilación de imágenes del primer mantenimiento del equipo.
Fuente. El autor.

Anexo 4. Primeras mediciones en el horno solar.

Tabla 11. Primer día de mediciones (1 de noviembre de 2022).

	TW	ΔT	Pi	Ps	TA	Td	Radiación	Δ radiación	Vel. Viento
10H40	25	3	20,93	13,6669776	22	3	1072	0	0,7
10H50	28,1	3,1	21,6276667	15,4168703	22,4	5,7	982	-90	0,2
11h00	32,4	4,3	29,9996667	21,6046982	21,6	10,8	972	-10	0
11H10	36,2	3,8	26,5113333	17,6071474	21,1	15,1	1054	82	0,9
11H20	40	3,8	26,5113333	17,1991968	22,4	17,6	1079	25	0,7
11H30	41,4	1,4	9,76733333	5,98174395	23	18,4	1143	64	0,2
11H40	44,8	3,4	23,7206667	14,3265459	22,6	22,2	1159	16	0,8
11H50	48,3	3,5	24,4183333	15,6527778	22	26,3	1092	-67	0
12H00	51,5	3,2	22,3253333	14,43004	21,3	30,2	1083	-9	0,6
12h10	54,3	2,8	19,5346667	12,6848485	21,8	32,5	1078	-5	0,7
12h20	56,8	2,5	17,4416667	11,1194596	22,7	34,1	1098	20	0,2
12h30	59,2	2,4	16,744	10,7629017	23,7	35,5	1089	-9	0
12h40	61,8	2,6	18,1393333	11,5222626	22,9	38,9	1102	13	0,9
12h50	63,9	2,1	14,651	9,71183712	23,7	40,2	1056	-46	0,7
13h00	65,7	1,8	12,558	8,94262462	23,7	42	983	-73	0,2
13h10	67,3	1,6	11,1626667	7,37853321	23,5	43,8	1059	76	0,8
13h20	68,8	1,5	10,465	6,85266604	23,9	44,9	1069	10	0
13h30	70,1	1,3	9,06966667	5,81921784	24,6	45,5	1091	22	0,6
13h40	71,5	1,4	9,76733333	6,29570289	24,6	46,9	1086	-5	0,7
13h50	72,6	1,1	7,67433333	5,40990265	25,6	47	993	-93	1,7
14h00	73,6	1	6,97666667	4,48866422	26,6	47	1088	95	2,7

Fuente. El autor.

Tabla 12. Segundo día de mediciones (16 de noviembre de 2022).

	TW	ΔT	Pi	Ps	TA	Td	Radiación	Δ radiación	Vel. Viento
10H00	21	21	146,51	96,8432483	19,3	1,7	1059	0	0,2
10H10	25,6	4,6	32,0926667	22,8766463	20,1	5,5	982	77	0,2
10H20	27,2	1,6	11,1626667	6,9829014	20,3	6,9	1119	-137	0
10H30	32	4,8	33,488	21,6851064	20,1	11,9	1081	38	0,9
10H40	34,2	2,2	15,3486667	9,59291667	20,3	13,9	1120	-39	0,7
10H50	37,3	3,1	21,6276667	14,0179321	20,4	16,9	1080	40	0,2
11h00	40,3	3	20,93	13,641527	20,7	19,6	1074	6	0,7
11H10	45,4	5,1	35,581	21,5455882	20,7	24,7	1156	-82	0,2
11H20	45,9	0,5	3,48833333	5,4262963	19,5	26,4	450	706	0
11H30	46,1	0,2	1,39533333	0,78768817	19,6	26,5	1240	-790	0,9
11H40	46,6	0,5	3,48833333	4,80675853	20,1	26,5	508	732	0,7
11H50	46,9	0,3	2,093	1,45059406	20,5	26,4	1010	-502	0,2
12H00	48,7	1,8	12,558	8,60979432	20,5	28,2	1021	-11	0,8
12h10	50,1	1,4	9,76733333	6,18745098	20,1	30	1105	-84	0
12h20	52,4	2,3	16,0463333	10,9584715	20,9	31,5	1025	80	0,6
12h30	54,5	2,1	14,651	10,3176056	20,3	34,2	994	31	0,7
12h40	53,2	-1,3	-9,06966667	-8,48198619	19,7	33,5	748,5	245,5	0,2
12h50	52,7	-0,5	-3,48833333	-2,6166238	19,5	33,2	933,2	-184,7	0
13h00	53,1	0,4	2,79066667	2,22465171	19,5	33,6	878,1	55,1	0,9
13h10	53,2	0,1	0,69766667	0,51277474	20	33,2	952,4	-74,3	0,7
13h20	55,4	2,2	15,3486667	10,251972	20,2	35,2	1048	-95,6	0,2
13h30	57,2	1,8	12,558	8,37998093	20,3	36,9	1049	-1	0,8
13h40	58,7	1,5	10,465	6,89134525	20,3	38,4	1063	-14	0
13h50	60,1	1,4	9,76733333	6,29570289	20,8	39,3	1086	-23	0,6
14h00	62	1,9	13,2556667	8,38208371	21	41	1107	-21	0,7

Fuente. El autor.

Tabla 13. Tercer día de mediciones (23 de noviembre de 2022).

	TW	ΔT	Pi	Ps	TA	Td	Radiación	Δ radiación	Vel. Viento
10H00	21,5	21,5	149,998333	99,14904	23,4	-1,9	1059	0	0,2
10H10	25,3	3,8	26,5113333	14,7519343	23,6	1,7	1258	-199	0,2
10H20	26,6	1,3	9,06966667	9,05027322	24,2	2,4	701,5	556,5	0
10H30	30,6	4	27,9066667	18,0209102	23,3	7,3	1084	-382,5	0,9
10H40	30,9	0,3	2,093	6,3178094	22,8	8,1	231,9	852,1	0,7
10H50	31	0,1	0,69766667	0,94279279	24,3	6,7	518	-286,1	0,2
11h00	31,7	0,7	4,88366667	5,34485095	24,3	7,4	639,6	-121,6	0,7
11H10	38,4	6,7	46,7436667	27,6356137	23,8	14,6	1184	-544,4	0,2
11H20	42,4	4	27,9066667	17,8888889	23,1	19,3	1092	92	0
11H30	46,5	4,1	28,6043333	18,6782027	23,3	23,2	1072	20	0,9
11H40	48	1,5	10,465	5,80927835	23,8	24,2	1261	-189	0,7
11H50	48,5	0,5	3,48833333	4,3752613	24,6	23,9	558,1	702,9	0,2
12H00	47,6	-0,9	-6,279	-10,6397967	24,6	23	413,1	145	0,8
12h10	46,2	-1,4	-9,76733333	-17,6123991	25,1	21,1	388,2	24,9	0
12h20	46,9	0,7	4,88366667	3,12197869	24,7	22,2	1095	-706,8	0,6
12h30	50,3	3,4	23,7206667	15,2895641	24,1	26,2	1086	9	0,7
12h40	52,8	2,5	17,4416667	12,1242966	24	28,8	1007	79	0,2
12h50	51	-1,8	-12,558	-25,3404439	24,5	26,5	346,9	660,1	0
13h00	48,9	-2,1	-14,651	-8,9491274	24,5	24,4	1146	-799,1	0,9
13h10	52,2	3,3	23,023	15,1895382	25,3	26,9	1061	85	0,7
13h20	50,4	-1,8	-12,558	-16,5860377	25,3	25,1	530	531	0,2
13h30	49,2	-1,2	-8,372	-9,56019576	25,3	23,9	613	-83	0,8
13h40	47,8	-1,4	-9,76733333	-18,7267415	25,2	22,6	365,1	247,9	0

Fuente. El autor.

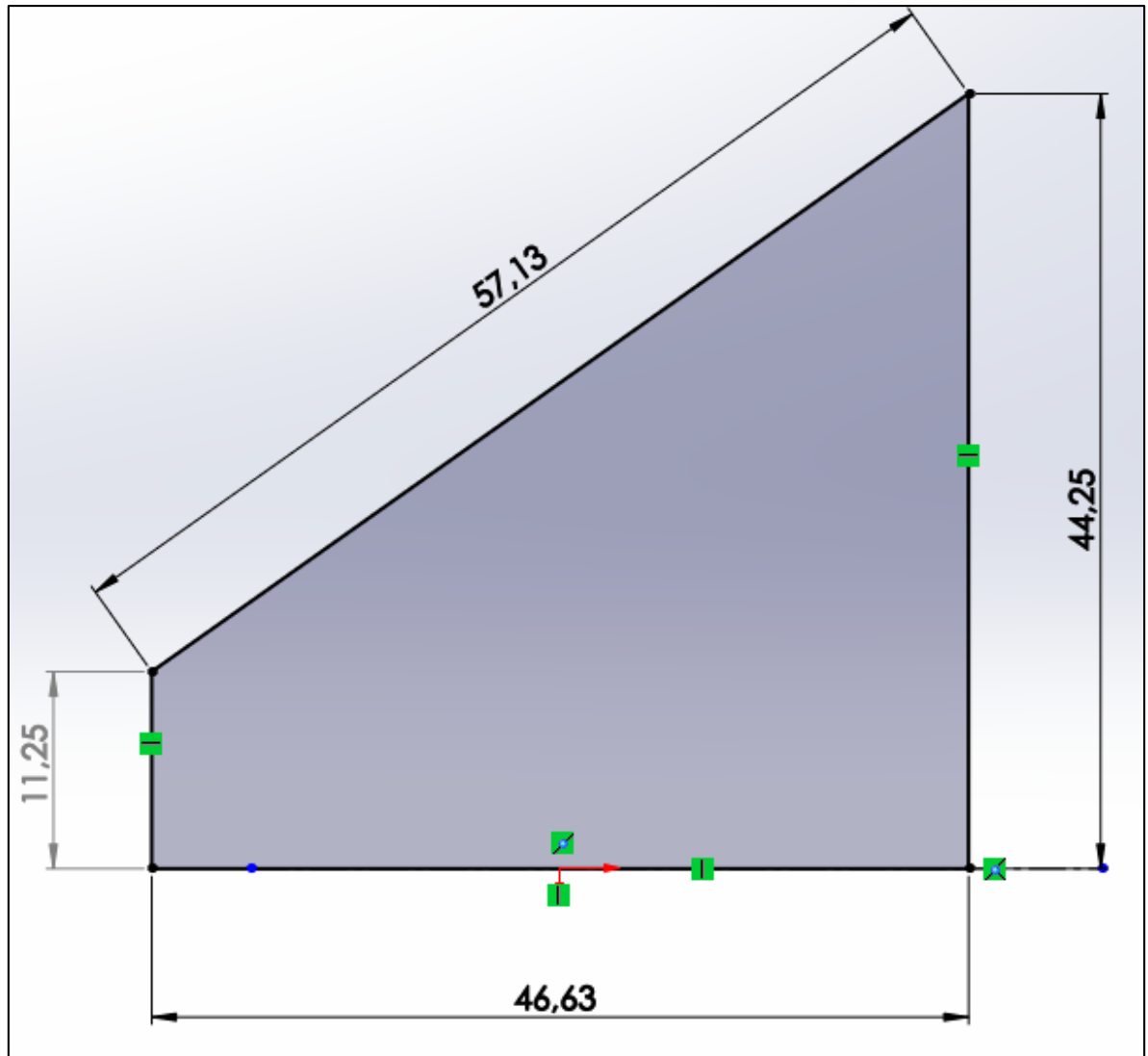
Anexo 5. Imágenes del segundo mantenimiento en el sistema horno – hidroseguidor.



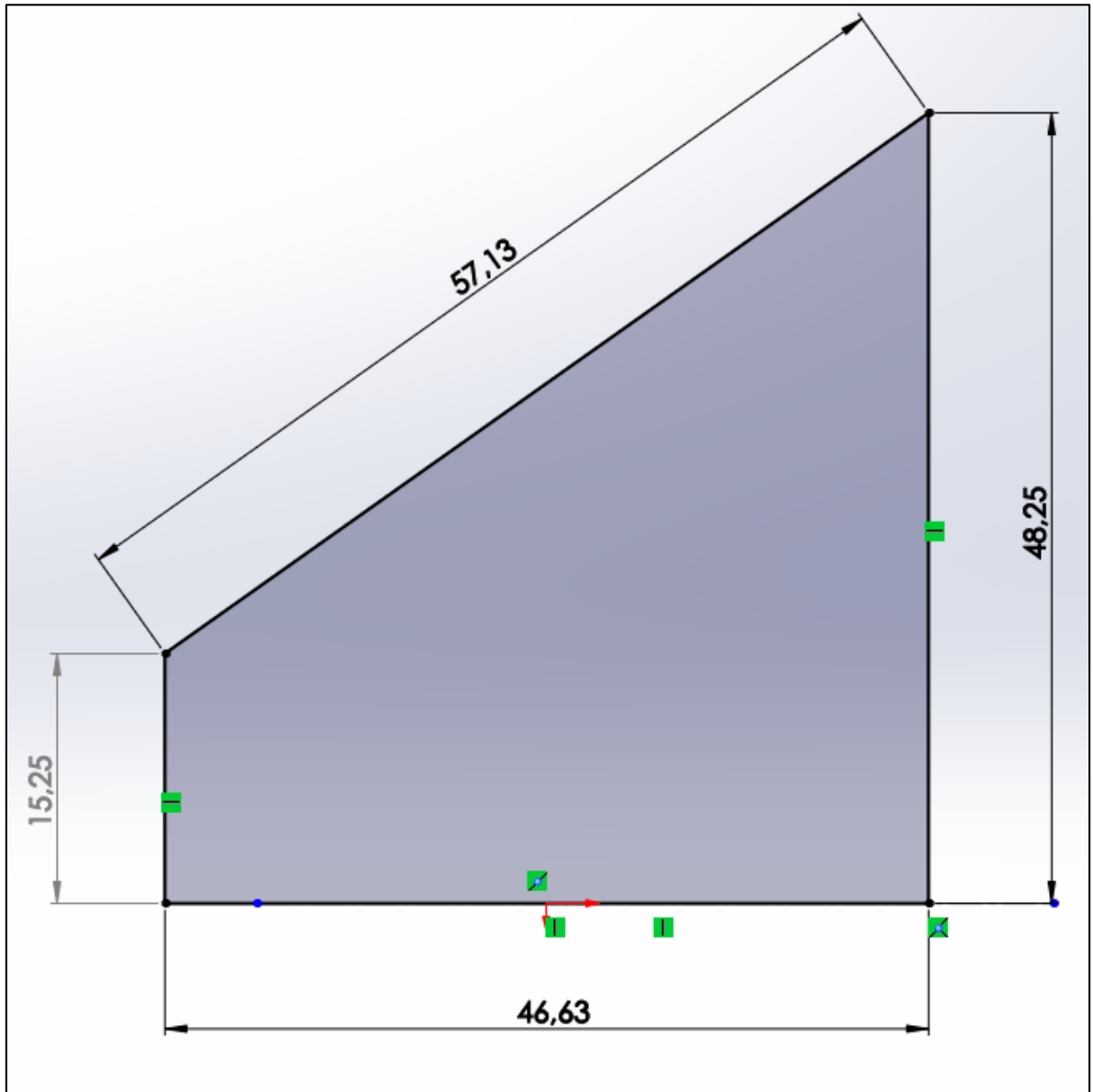
Figura 47. Compilación de imágenes de segundo mantenimiento del equipo.
Fuente. El autor.

Anexo 6. Croquis de figuras de horno.

6.1. Croquis de horno (interior).



6.2. Croquis de horno (exterior).



Anexo 7. Hojas de cálculo en PTC Mathcad.

7.1. Cálculo de centroide en parte interior de horno.

$$\begin{aligned}x_1 &:= 0 \text{ cm} & x_2 &:= 46.63 \text{ cm} \\y_1 &:= 11.25 \text{ cm} & y_2 &:= 44.25 \text{ cm} & m &:= \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1} = 0.708 & B &:= x_2\end{aligned}$$
$$V_1 := \pi \cdot \left(\left(m^2 \cdot \frac{B^3}{3} \right) + \left(\frac{(2 \cdot m \cdot y_1) \cdot B^2}{2} \right) + (y_1^2 \cdot B) \right) = 0.126 \text{ m}^3$$
$$xV := \pi \cdot \left(\left(m^2 \cdot \frac{B^4}{4} \right) + \left(\frac{(2 \cdot m \cdot y_1) \cdot B^3}{3} \right) + \left(y_1^2 \cdot \frac{B^2}{2} \right) \right) = 0.04 \text{ m}^4$$
$$X_1 := \frac{xV}{V_1} = 31.583 \text{ cm}$$

7.2. Cálculo de centroide en parte exterior de horno.

$$\begin{aligned}x_1 &:= 0 \text{ cm} & x_2 &:= 46.63 \text{ cm} \\y_1 &:= 15.25 \text{ cm} & + & & y_2 &:= 48.25 \text{ cm} & m &:= \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1} = 0.708 & B &:= x_2\end{aligned}$$
$$V_1 := \pi \cdot \left(\left(m^2 \cdot \frac{B^3}{3} \right) + \left(\frac{(2 \cdot m \cdot y_1) \cdot B^2}{2} \right) + (y_1^2 \cdot B) \right) = 0.161 \text{ m}^3$$
$$xV := \pi \cdot \left(\left(m^2 \cdot \frac{B^4}{4} \right) + \left(\frac{(2 \cdot m \cdot y_1) \cdot B^3}{3} \right) + \left(y_1^2 \cdot \frac{B^2}{2} \right) \right) = 0.049 \text{ m}^4$$
$$X_1 := \frac{xV}{V_1} = 30.726 \text{ cm}$$

7.3. Cálculo de volumen y centroide de contrapeso.

$$r1 := \frac{14 \text{ cm}}{2} \quad A1 := \pi \cdot r1^2 \quad r2 := \frac{1.5 \text{ cm}}{2} \quad A2 := \pi \cdot r2^2$$

$$A := A1 - A2 = 0.015 \text{ m}^2 \quad Vc := A \cdot 2.3 \text{ cm} = (3.5 \cdot 10^{-4}) \text{ m}^3$$

$$h := 2.3 \text{ cm} \quad x := \frac{h}{2} = 1.15 \text{ cm}$$

7.4. Cálculo de centroide en los 3 casos.

Horno sin contrapeso

$$V1 := 0.0405 \text{ m}^3 \quad x := 26.84 \text{ cm} \quad V1 \cdot x = 0.01087 \text{ m}^4$$

Horno con contrapeso en el eje sin distancia a la base

$$Vc = (3.5 \cdot 10^{-4}) \text{ m}^3 \quad xc := -1.15 \text{ cm} \quad xvc := Vc \cdot xc = -4.025 \cdot 10^{-6} \text{ m}^4$$

$$x1 := \frac{(V1 \cdot x) + xvc}{V1 + Vc} = 26.6 \text{ cm}$$

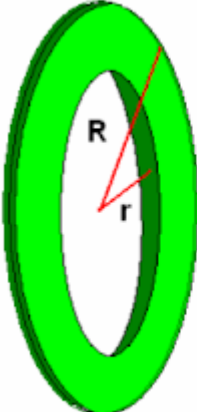
Horno con contrapeso en el eje a 20 cm de la base.

$$Vc = (3.5 \cdot 10^{-4}) \text{ m}^3 \quad xc := -21.15 \text{ cm} \quad xvc := Vc \cdot xc = -7.402 \cdot 10^{-5} \text{ m}^4$$

$$x1 := \frac{(V1 \cdot x) + xvc}{V1 + Vc} = 26.429 \text{ cm}$$

Anexo 8. Fórmulas de volumen y centroide de sólidos comunes.

8.1. Volumen de arandela/disco.



Area de la arandela:

$$A = \pi R^2 - \pi r^2$$

En la figura anterior, tenemos:
 $R = f(x)$ y $r = g(x)$

Entonces,

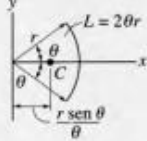
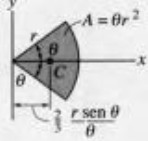
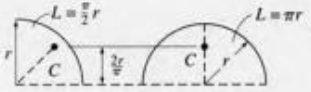
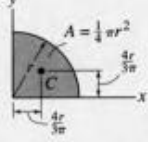
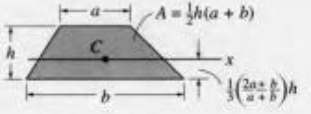
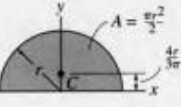
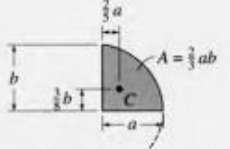
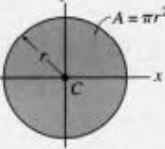
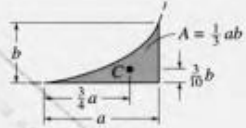
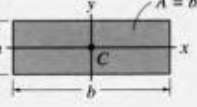
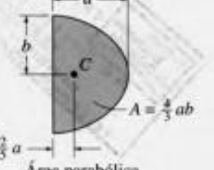
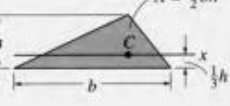
$$A(x) = \pi(f(x))^2 - \pi(g(x))^2$$

Factorizando π , nos queda,

$$A = \pi((f(x))^2 - (g(x))^2).$$

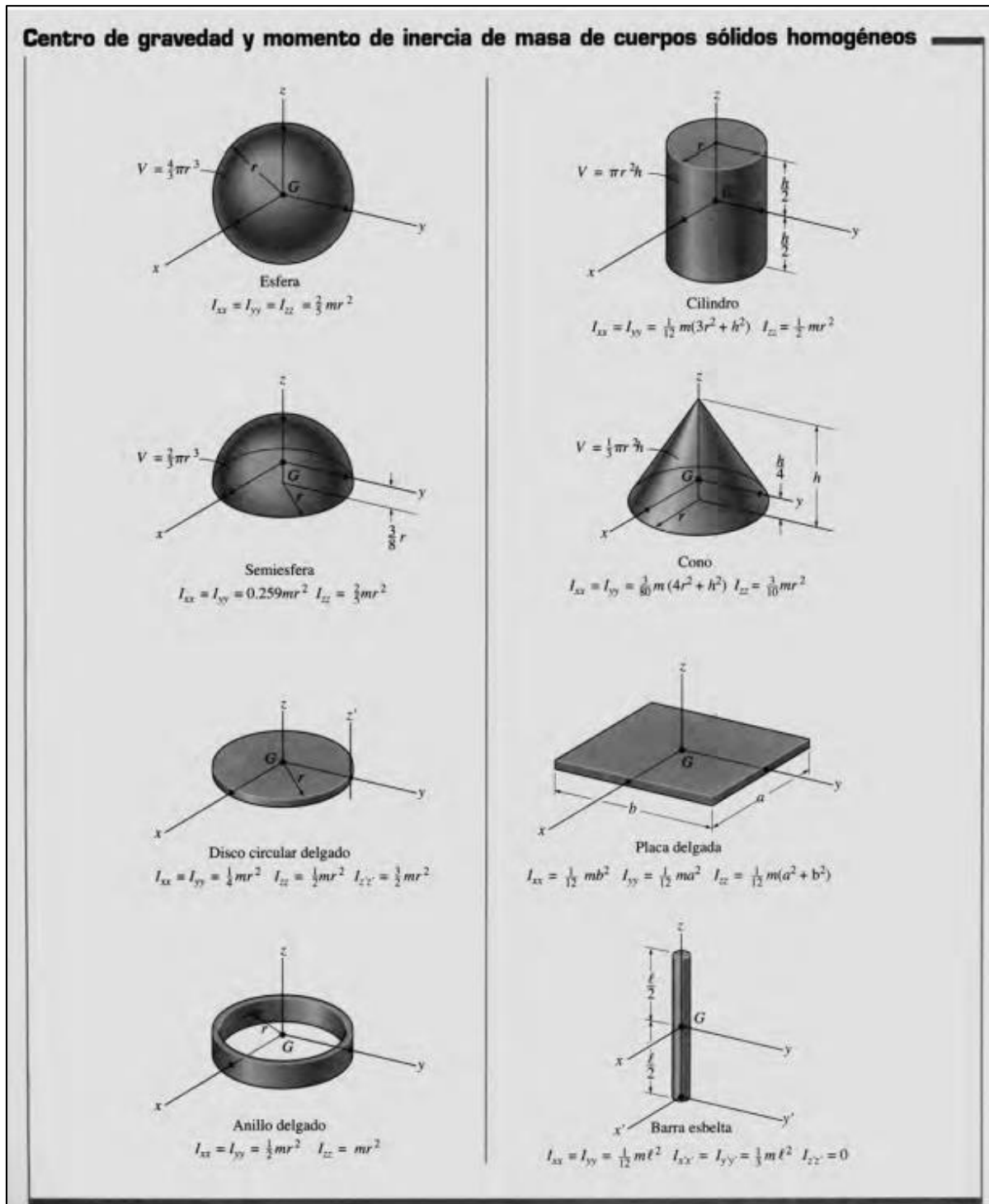
Fuente. (CÁLCULO, 2008)

8.2. Propiedades de elementos comunes.

Propiedades geométricas de líneas y elementos de área		
Ubicación del centroide	Ubicación del centroide	Momento de inercia del área
 <p style="text-align: center;">Segmento de arco circular</p>	 <p style="text-align: center;">Área de sector circular</p>	$I_x = \frac{1}{4} r^4 (\theta - \frac{1}{2} \text{sen } 2\theta)$ $I_y = \frac{1}{4} r^4 (\theta + \frac{1}{2} \text{sen } 2\theta)$
 <p style="text-align: center;">Arcos de un cuarto y de medio círculo</p>	 <p style="text-align: center;">Área de un cuarto de círculo</p>	$I_x = \frac{1}{16} \pi r^4$ $I_y = \frac{1}{16} \pi r^4$
 <p style="text-align: center;">Área de un trapecio</p>	 <p style="text-align: center;">Área de un semicírculo</p>	$I_x = \frac{1}{8} \pi r^4$ $I_y = \frac{1}{8} \pi r^4$
 <p style="text-align: center;">Área semiparabólica</p>	 <p style="text-align: center;">Área circular</p>	$I_x = \frac{1}{4} \pi r^4$ $I_y = \frac{1}{4} \pi r^4$
 <p style="text-align: center;">Área exparabólica</p>	 <p style="text-align: center;">Área rectangular</p>	$I_x = \frac{1}{12} b h^3$ $I_y = \frac{1}{12} h b^3$
 <p style="text-align: center;">Área parabólica</p>	 <p style="text-align: center;">Área triangular</p>	$I_x = \frac{1}{36} b h^3$

Fuente. (Hibbeler, 2004)

8.3. Volumen u centro de gravedad de sólidos homogéneos.



Fuente: (Hibbeler, 2004)

Anexo 9. Imágenes de la elaboración de concentradores parabólicos.

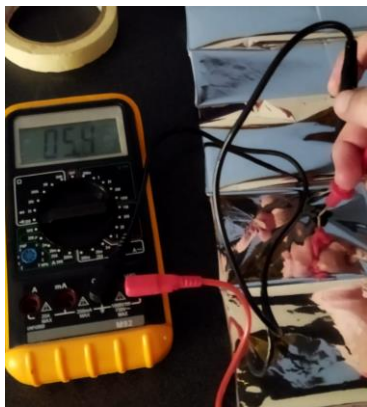


Figura 48. Elaboración de concentrador parabólico.
Fuente, El autor.

Anexo 10. Segundas mediciones en el horno solar (tablas e imágenes).

Tabla 14. Primer día de mediciones (1 de diciembre de 2022).

	TW	ΔT	Pi	Ps	TA	Td	Radiación	Δ radiación	Vel. Viento
10H00	20,2	20,2	140,928667	90,1737355	22,5	-2,3	1094	0	
10H10	24,6	4,4	30,6973333	21,2333333	22,9	1,7	1012	82	
10H20	32,2	7,6	53,0226667	34,4622717	22,9	9,3	1077	-65	
10H30	39,1	6,9	48,139	31,0288214	22,8	16,3	1086	-9	
10H40	46,2	7,1	49,5343333	31,6368917	22,8	23,4	1096	-10	
10H50	53,4	7,2	50,232	32,0532361	22,9	30,5	1097	-1	
11h00	60,1	6,7	46,7436667	30,0188685	23,5	36,6	1090	7	
11H10	66,1	6	41,86	27,0313653	23,7	42,4	1084	6	
11H20	71,8	5,7	39,767	25,9189013	23,5	48,3	1074	10	
11H30	77,4	5,6	39,0693333	24,9075896	23,7	53,7	1098	-24	
11H40	82,7	5,3	36,9763333	25,7803121	24,1	58,6	1004	94	
11H50	87,4	4,7	32,7903333	21,0967218	24	63,4	1088	-84	
12H00	91,8	4,4	30,6973333	19,8964198	23,9	67,9	1080	8	
12h10	42,7	0	0	0	25	17,7	1079	1	
12h20	45,7	3	20,93	13,1163832	24,5	21,2	1117	-38	
12h30	52,5	6,8	47,4413333	30,4111111	24,4	28,1	1092	25	
12h40	59,1	6,6	46,046	29,6251838	24,5	34,6	1088	4	
12h50	65,8	6,7	46,7436667	29,9364745	24,5	41,3	1093	-5	
13h00	71,9	6,1	42,5576667	27,711969	24,9	47	1075	18	
13h10	77,7	5,8	40,4646667	27,1314815	24,5	53,2	1044	31	
13h20	82,5	4,8	33,488	21,9696345	24,4	58,1	1067	-23	
13h30	87,8	5,3	36,9763333	25,5765152	24,2	63,6	1012	55	
13h40	92,1	4,3	29,9996667	19,2129613	24,5	67,6	1093	-81	
13h50	94,6	2,5	17,4416667	11,4963905	24,4	70,2	1062	31	
14h00	95,2	0,6	4,186	2,96099434	24,4	70,8	989,6	72,4	

Fuente. El autor.

Tabla 15. Segundo día de mediciones (5 de diciembre de 2022).

	TW	ΔT	Pi	Ps	TA	Td	Radiación	Δ radiación	Vel. Viento
10H00	19,9	19,9	138,835667	87,6329726	22	-2,1	1109	0	
10H10	24	4,1	28,6043333	20,1682447	23	1	992,8	116,2	
10H20	26,1	2,1	14,651	9,35739051	23,2	2,9	1096	-103,2	
10H30	30,7	4,6	32,0926667	24,927726	23,6	7,1	901,2	194,8	
10H40	32,2	1,5	10,465	7,1959725	24,3	7,9	1018	-116,8	
10H50	40,3	8,1	56,511	37,6023764	23,9	16,4	1052	-34	
11h00	47,5	7,2	50,232	34,072093	23,7	23,8	1032	20	
11H10	53,9	6,4	44,6506667	29,8524037	24,2	29,7	1047	-15	
11H20	59,7	5,8	40,4646667	29,1442192	22,9	36,8	971,9	75,1	
11H30	63,4	3,7	25,8136667	24,2511967	23,7	39,7	745,1	226,8	
11H40	66,5	3,1	21,6276667	13,7881299	24,7	41,8	1098	-352,9	
11H50	72,2	5,7	39,767	27,052381	23,4	48,8	1029	69	
12H00	72,6	0,4	2,79066667	7,19508901	23,6	49	271,5	757,5	
12h10	74,7	2,1	14,651	7,95015504	23	51,7	1290	-1018,5	
12h20	72,7	-2	-13,9533333	-43,6626434	22,8	49,9	223,7	1066,3	
12h30	70,2	-2,5	-17,4416667	-51,9760182	23,5	46,7	234,9	-11,2	
12h40	69,2	-1	-6,97666667	-4,93748526	24,2	45	989,1	-754,2	
12h50	71,4	2,2	15,3486667	35,7896958	23,7	47,7	300,2	688,9	
13h00	79,1	7,7	53,7203333	82,0873899	23,7	55,4	458,1	-157,9	
13h10	86,1	7	48,8366667	68,9088221	23,9	62,2	496,1	-38	
13h20	90,3	4,2	29,302	49,6163522	24,1	66,2	413,4	82,7	
13h30	94,7	4,4	30,6973333	16,2788889	25,2	69,5	1320	-906,6	

Fuente. El autor.

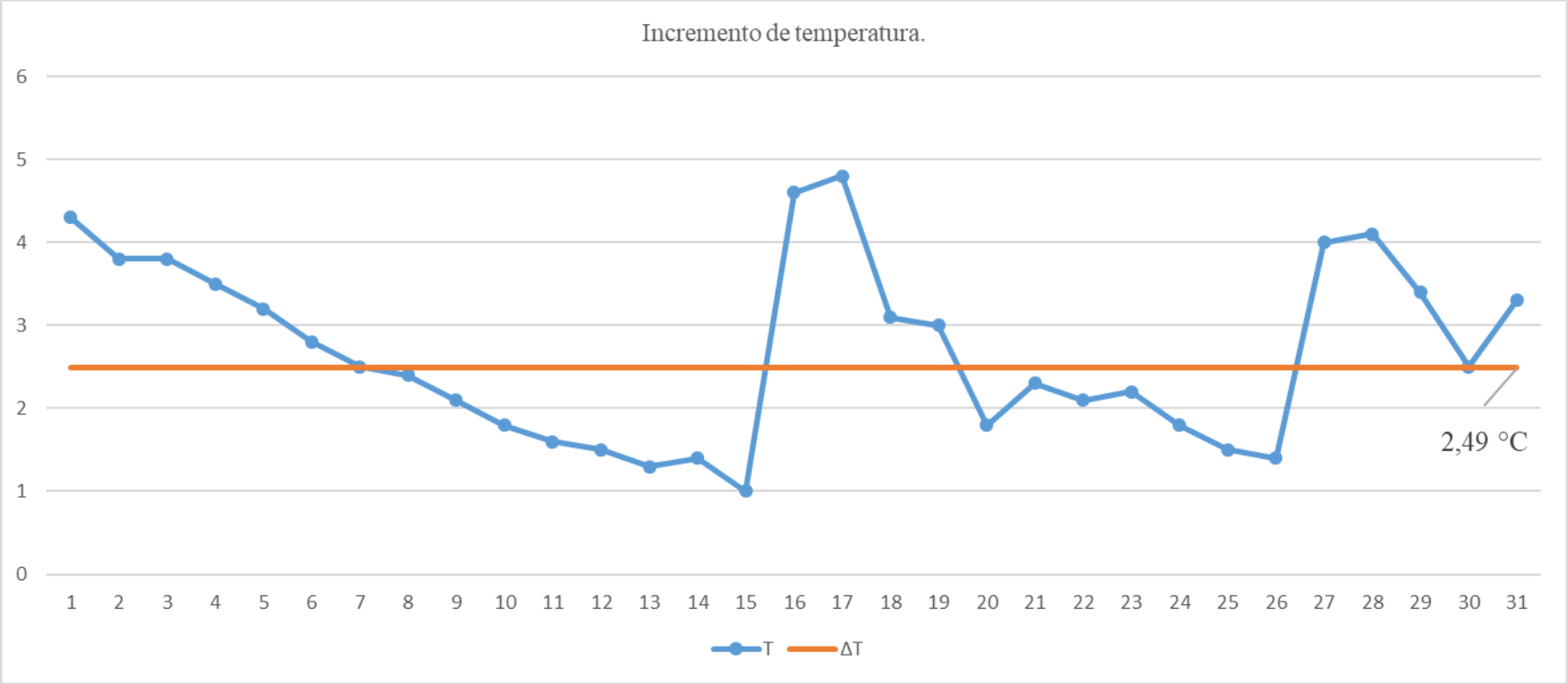
Tabla 16. Tercer día de mediciones (26 de diciembre de 2021).

	TW	ΔT	Pi	Ps	TA	Td	Radiación	Δ radiación	Vel. Viento
10H00	20,7	20,7	144,417	84,1731057	20,5	0,2	1201	0	
10H10	25,2	4,5	31,395	19,2776316	20,8	4,4	1140	61	
10H20	33,1	7,9	55,1156667	35,6570856	20,9	12,2	1082	58	
10H30	40,6	7,5	52,325	30,9353885	21,6	19	1184	-102	
10H40	47,9	7,3	50,9296667	32,7371595	21,5	26,4	1089	95	
10H50	54,6	6,7	46,7436667	29,9091103	22,2	32,4	1094	-5	
11h00	60,7	6,1	42,5576667	27,6348485	22	38,7	1078	16	
11H10	66,8	6,1	42,5576667	27,1562139	22,3	44,5	1097	-19	
11H20	72,7	5,9	41,1623333	26,6299754	22,1	50,6	1082	15	
11H30	79,1	6,4	44,6506667	27,6842043	22,4	56,7	1129	-47	
11H40	84,2	5,1	35,581	22,8083333	23	61,2	1092	37	
11H50	88,4	4,2	29,302	20,5731194	22,3	66,1	997	95	
12H00	90,9	2,5	17,4416667	18,9377488	22,2	68,7	644,7	352,3	
12h10	93,2	0	0	0	22	71,2	1211	-566,3	
12h20	92,9	-0,3	-2,093	-1,85573148	21,7	71,2	789,5	421,5	
12h30	95,5	2,6	18,1393333	10,742414	22,5	73	1182	-392,5	
12h40	38,4	0	0	0	22,3	16,1	1088	94	
12h50	46,1	7,7	53,7203333	34,7865248	22,1	24	1081	7	
13h00	52,9	6,8	47,4413333	30,3832876	23,3	29,6	1093	-12	
13h10	59,5	6,6	46,046	29,6797422	22,4	37,1	1086	7	
13h20	65,2	5,7	39,767	25,4916667	22,9	42,3	1092	-6	
13h30	69,5	4,3	29,9996667	17,8873651	22,7	46,8	1174	-82	
13h40	74,2	4,7	32,7903333	25,9065839	22,6	51,6	886	288	
13h50	76,5	2,3	16,0463333	28,8232829	22,2	54,3	389,7	496,3	
14h00	77,9	1,4	9,76733333	16,4909149	22	55,9	414,6	-24,9	

Fuente. El autor.

Anexo 11. Método de Simpson (tablas y gráficas).

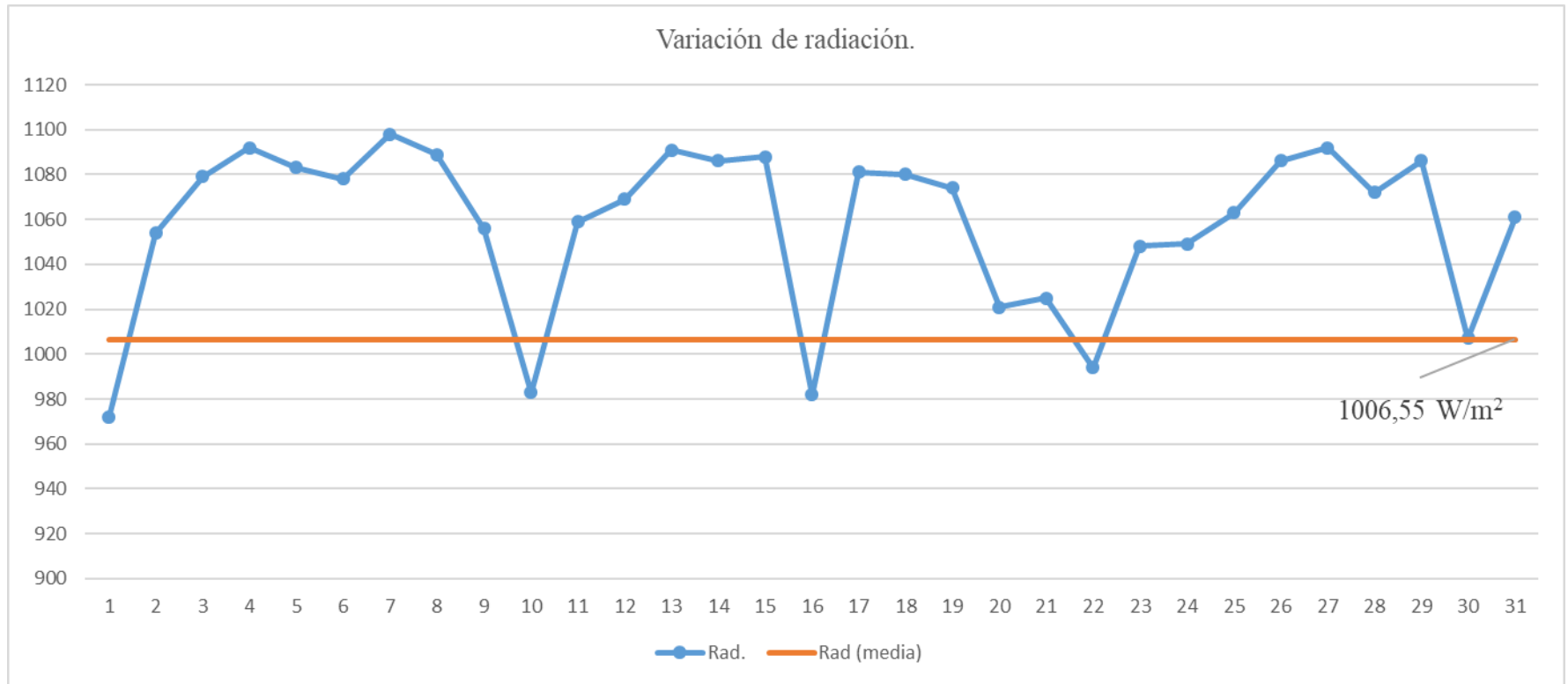
11.1. Valores de variación de temperatura y temperatura media (primeras mediciones).



Gráfica 3. Variación de temperatura.

Fuente. El autor.

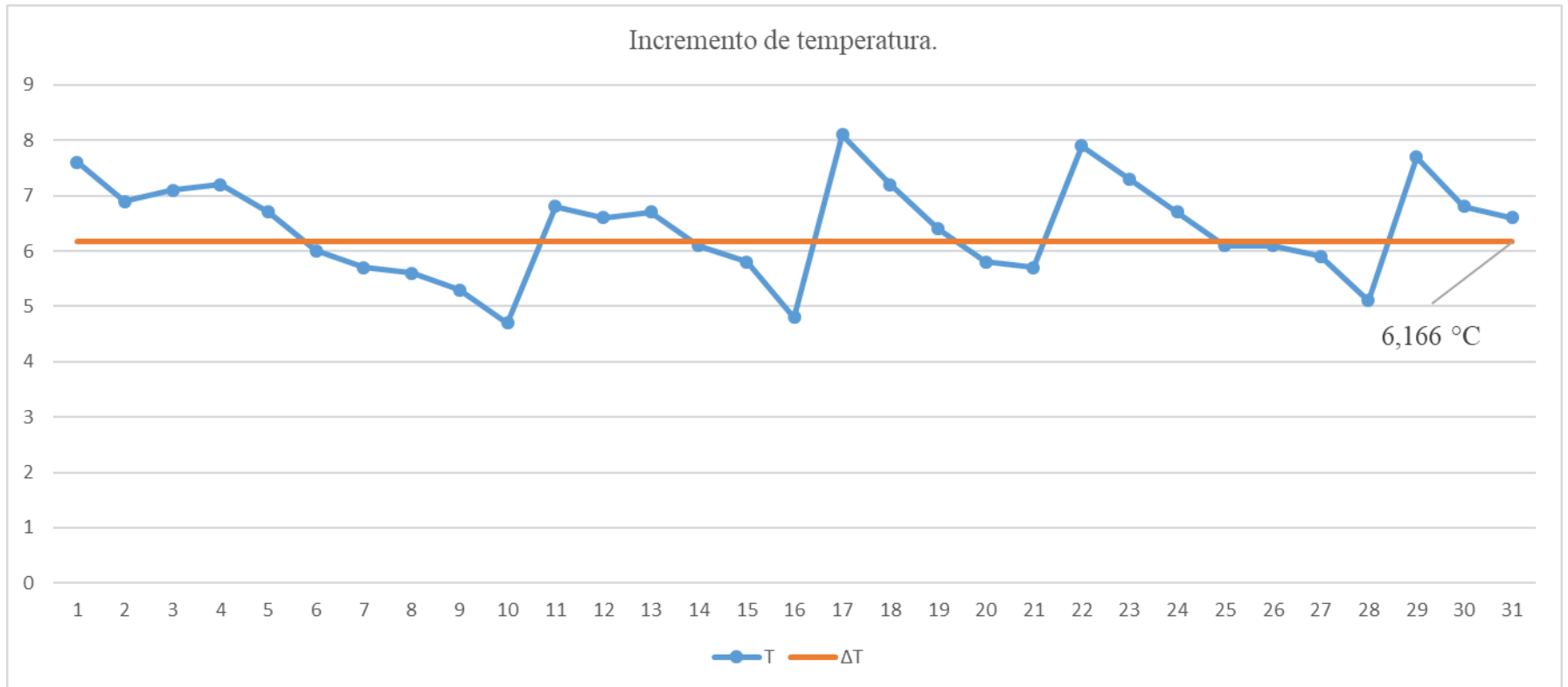
11.2. Valores de radiación y radiación media (primeras mediciones).



Gráfica 4. Radiación.

Fuente. El autor.

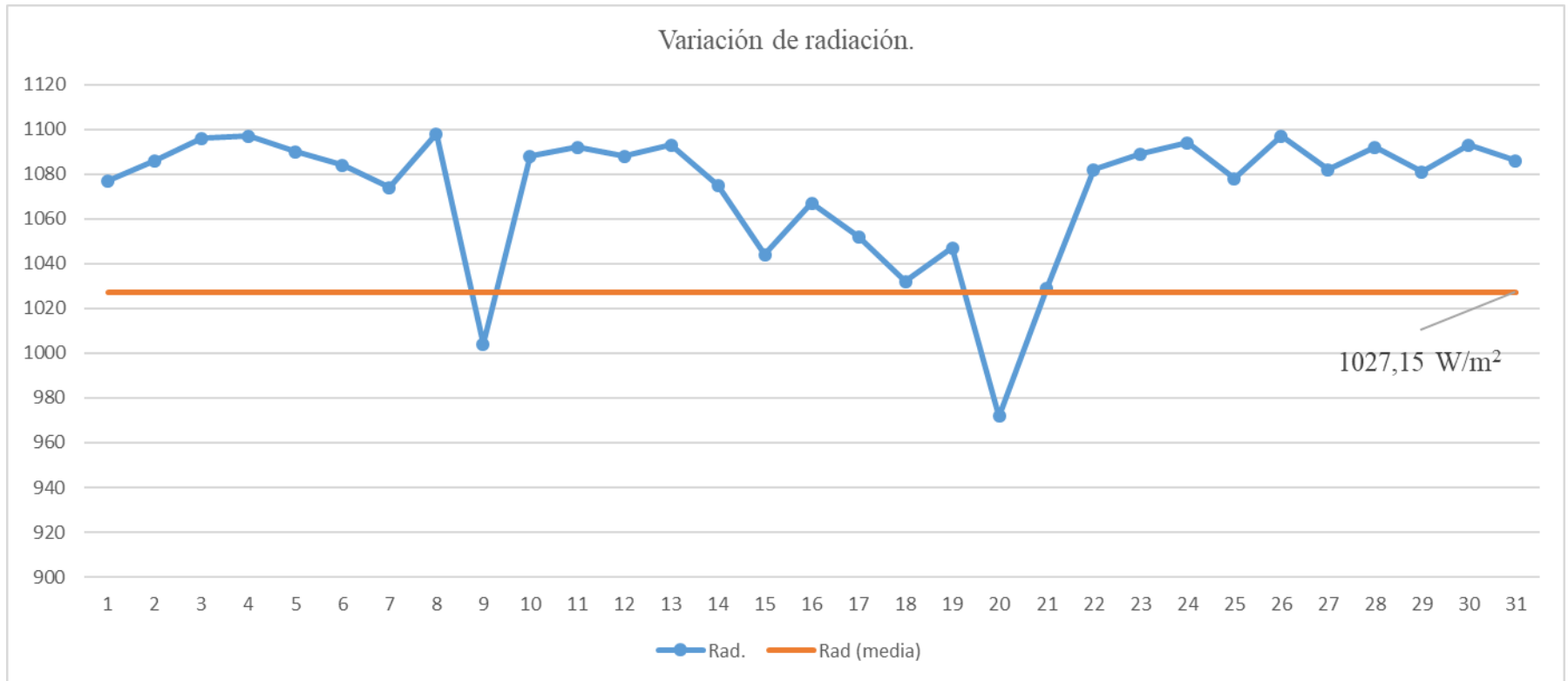
11.3. Valores de variación de temperatura y temperatura media (segundas mediciones).



Gráfica 5. Variación de temperatura.

Fuente: El autor.

11.4. Valores de radiación y radiación media (segundas mediciones).



Gráfica 6. Radiación.
Fuente: El autor.

Anexo 12. Certificación de traducción del resumen.

EUROpeek
INSTITUTO DE IDIOMAS

Dirección: Calle 10 Comisario 2647 y Avenida Pío Jaramilla Alvarado, Edificio Rosales
www.europeek.com.ec
europeekloja@gmail.com
LOJA-ECUADOR

#YoSoyEuroPeek

Loja, 5 de abril del 2022.

CERTIFICADO DE TRADUCCION

INSTITUTO DE IDIOMAS EUROpeek CENTER

CERTIFICA:

Haber realizado la traducción de español a inglés del resumen de la Tesis titulada: "Evaluación energética de la modernización de un hidroseguidor solar con fines de aplicación térmica en la Facultad de Energía de la Universidad Nacional de Loja" de autoría de Marcelo Javier Ordóñez Palacios, portador de la cédula de identidad nro. 1105639353. Egresado de la Carrera de Ingeniería Electromecánica de la Universidad Nacional de Loja, trabajo que se encuentra bajo la dirección del Ingeniero Thuesman Montaña Mg. Sc. Previo a la obtención del Título de Ingeniero Electromecánico.

Es todo cuanto puedo certificar en honor a la verdad. Facultando al interesado hacer uso del presente en lo que creyere conveniente.



NORALMA SORAYA
ORDONEZ ORTEGA

Mg.Sc. Noralma Ordóñez Ortega
DIRECTORA EUROpeek
R.U.C.: 1102404553001

EUROpeek
INSTITUTO DE IDIOMAS



 @Europeek  @Europeek  (07) 254 6834
098 436 1690  098 980 0093