



EDUCACIÓN
SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA



TECNOLÓGICO
NACIONAL DE MÉXICO

Instituto Tecnológico de Pachuca

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE PACHUCA

DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO E INVESTIGACIÓN

DISEÑO Y VALORACIÓN EXERGÉTICA DE UNA ESTUFA SOLAR DE ALTA EFICIENCIA

TESIS

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE:
MAESTRO EN INGENIERÍA MECÁNICA

PRESENTA:

LUIS GABRIEL ÑONTHÉ CHÁVEZ

DIRECTOR:

DR. ABDIEL GÓMEZ MERCADO

REVISORES:

DR. LUIS MANUEL PALACIOS PINEDA

DR. CELERINO RESÉNDIZ ROSAS

Pachuca de Soto, Hidalgo 18 de noviembre de 2021



Carretera México-Pachuca Km. 87.5, Col. Venta Prieta,
Pachuca, Hidalgo. C.P. 42080 A.P. 276
Tels.: (771) 7105251, 170 0301, 170 0345 y 170 0687
tecnm.mx | pachuca.tecnm.mx











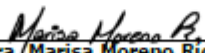


Consejo de Posgrado de la Maestría en Ingeniería Mecánica
ACTA

Siendo las 13:00 horas del 19 de febrero de 2020, reunidos a distancia, el Consejo de Posgrado de la Maestría en Ingeniería Mecánica manifiesta la APROBACIÓN del tema de Tesis: *Diseño y valoración exergética de una estufa solar de alta eficiencia*, con el siguiente contenido:

- Resumen/Abstract
- Nomenclatura
- Contenido
- Índice de cuadros, gráficas y figuras.
- 1- Introducción
- 2- Estado del arte
- 3- Marco teórico
- 4- Materiales y métodos
- 5- Resultados
- Conclusiones
- Bibliografía
- Apéndices

Para cubrir el requisito correspondiente a la Tesis para que el Ing. Luis Gabriel Ñonthé Chávez obtenga el grado de Maestro en Ingeniería Mecánica, bajo la dirección del Dr. Abdiel Gómez Mercado.

ATENTAMENTE
El Hombre Alimenta el Ingenio en Contacto con la Ciencia
EL CONSEJO DE POSGRADO

 _____ Dr. Hugo Francisco Abundis Fong	 _____ Dr. Armando Irvin Martínez Pérez	 _____ Dr. Luis Manuel Palacios Pineda
 _____ Dra. Erika Osiris Ávila Dávila	 _____ Dr. Ignacio Ramírez Vargas	 _____ Dr. Edgar Ernesto Vera Cárdenas
 _____ Dra. Marisa Moreno Ríos	 _____ Dr. Juan Berrano Arellano	 _____ Dr. Valente Hernández Pérez



Instituto Tecnológico de Pachuca
División de Estudios de Posgrado e Investigación

Pachuca, Hidalgo, **24/Agosto/2021**
OFICIO No. DEPI-76-21

**C. ING. LUIS GABRIEL ÑONTHÉ CHÁVEZ
PRESENTE**

La que suscribe, jefa de la División de Estudios de Posgrado e Investigación, le comunica que los miembros de la Comisión Revisora, designada por el Consejo de Posgrado de la Maestría en Ingeniería Mecánica para examinar su Tesis:

Diseño y valoración exergética de una estufa
solar de alta eficiencia

se han reunido, y después de intercambiar opiniones manifiestan su aprobación de la Tesis, en virtud que satisface los requisitos señalados por las disposiciones reglamentarias vigentes y, en consecuencia, se autoriza su impresión.

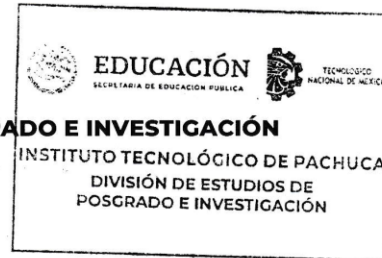
Sin otro particular por el momento, quedo de Usted.

ATENTAMENTE

El Hombre Alimenta el Ingenio en Contacto con la Ciencia

**M. A. C. ELODIA CLAUDIA GUERRERO ORTIZ
JEFA DE LA DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO E INVESTIGACIÓN**

C.p. Archivo
ECGO/LMPP



Dedicatorias.

A Dios:

Por siempre guiarme en todo lo que he anhelado, porque me ha dado la oportunidad de desarrollarme de tener nuevos conocimientos y amigos.

A mi familia:

Por brindarme todo su apoyo, que a pesar de la distancia siempre han estado al pendiente de mí y siempre alentándome a seguir adelante.

A María:

Por tu comprensión, paciencia y toda la ayuda que me has brindado.

A Hiazná Valentina:

Por ser la razón de seguir adelante, que con tus risas y travesuras me animas me alientas. Gracias hija.

Agradecimientos.

A mi director de Tesis:

Dr. Abdiel Gómez Mercado, por tener la confianza en mi persona para el desarrollo del presente trabajo, por su apoyo y sus recomendaciones.

A mis revisores:

Al Dr. Luis Manuel Palacios Pineda por todo el apoyo brindado y al Dr. Celerino Reséndiz Rosas.

A mis compañeros:

A todos mis compañeros que estuvieron en esta etapa de mi formación, por todo su apoyo, ratos de convivencia y sobre todo los consejos.

Al CONACYT:

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, CONACYT, por el apoyo económico que por medio de la beca me brido la oportunidad de realizar el presente estudio.

Contenido

Dedicatorias.....	- 1 -
Agradecimientos.....	- 2 -
Contenido	- 1 -
Lista de figuras	- 2 -
Lista de gráficas	- 3 -
Lista de tablas	- 5 -
RESUMEN.....	- 6 -
ABSTRACT	- 6 -
1. Introducción	- 1 -
2. Antecedentes.....	- 3 -
3. Marco Teórico.....	- 8 -
3.1 Energía Solar	- 8 -
3.2 Ángulos Solares	- 9 -
3.2.1 Declinación, δ	- 9 -
3.2.2 Altitud, α	- 11 -
3.2.3 Azimuth, z	- 12 -
3.2.4 Incidencia, θ	- 12 -
3.3 Mecanismos de Transferencia de Calor	- 13 -
3.3.1 Transferencia de calor por conducción.....	- 13 -
3.3.2 Transferencia de calor por convección	- 14 -
3.3.3 Transferencia de calor por radiación	- 15 -
3.3.3.1 Cuerpo negro	- 16 -
3.4 Primera ley de la Termodinámica	- 17 -
3.5 Segunda ley de la Termodinámica (exergía)	- 17 -
3.5.1 Transferencia de exergía por calor	- 18 -
3.6 Estufas Solares	- 18 -
3.6.1 Estufa solar tipo caja	- 18 -
3.6.2 Estufa solar tipo panel	- 19 -
3.6.3 Estufa solar de tipo concentrador.....	- 19 -

3.7 Prueba estándar a las estufas solares ASAE S580.1 NOV2013.....	- 19 -
3.8 Cálculo de la potencia de la radiación solar, eficiencia energética, eficiencia exergética	- 23 -
4. Materiales y Métodos.....	- 24 -
4.1 Diseño de la estufa solar para su análisis computacional.....	- 24 -
Se realizó el diseño del dispositivo por medio de Solidworks, para comenzar con la construcción de la estufa solar tomando en cuenta el diámetro del colector parabólico el cual es de 1.5 m, el punto focal a 0.5 m, así como una altura de 0.79 m de la estructura y una profundidad de 0.83 m, como se puede observar en la figura (9).	- 24 -
4.2 Desarrollo de la construcción de la estufa solar de concentrador parabólico.....	- 31 -
4.3 Diseño del protocolo de pruebas para la estufa solar de concentrador parabólico-	48
-	
4.4 Instrumentos de medición	- 49 -
4.5 Pruebas.....	- 50 -
5. Resultados.....	- 68 -
6. Discusión	- 102 -
7. Conclusiones	- 104 -
Referencias	- 106 -
Apéndice 1.....	- 108 -

Lista de figuras

FIGURA 1- RADIACIÓN SOLAR EN MÉXICO.....	- 3 -
FIGURA 2- TIPOS DE ESTUFAS SOLARES.....	- 4 -
FIGURA 3- RELACIÓN ENTRE EL SOL Y LA TIERRA.	- 9 -
FIGURA 4- MOVIMIENTO ANUAL DE LA TIERRA ALREDEDOR DEL SOL.	- 9 -
FIGURA 5- DEFINICIÓN DE LOS ÁNGULOS SOLARES.	- 10 -
FIGURA 6- VARIACIÓN ANUAL DE LA DECLINACIÓN SOLAR.	- 10 -
FIGURA 7- CAMINO APARENTE DIARIO DEL SOL A TRAVÉS DEL CIELO.	- 11 -
FIGURA 8- DIAGRAMA DE ÁNGULOS SOLARES.	- 12 -
FIGURA 9- DISEÑO EN SOLIDWORKS DE LA ESTUFA SOLAR.....	- 24 -
FIGURA 10- DISEÑO DE LA PARÁBOLA EN PARABOLA CALCULATOR 2.0.	- 25 -
FIGURA 11- DATOS OBTENIDOS EN PARABOLA CALCULTOR 2.0 PARA LA CONSTRUCCIÓN DEL COLECTOR.....	- 25 -
FIGURA 12- CONSTRUCCIÓN DEL COLECTOR PARABÓLICO.	- 26 -
FIGURA 13- GEOMETRÍA DEL COLECTOR, OLLA DE COCCIÓN Y EL AGUA.	- 26 -
FIGURA 14- DEFINICIÓN DEL MATERIAL DE LA OLLA DE COCCIÓN.	- 27 -
FIGURA 15- DEFINICIÓN DE LA CARGA, AGUA.	- 27 -
FIGURA 16-DEFINICIÓN DE LOS TIPOS DE CONTACTO ENTRE LA OLLA DE COCCIÓN Y EL AGUA.....	- 28 -
FIGURA 17- MALLADO DE LA OLLA DE COCCIÓN Y EL AGUA.....	- 28 -

FIGURA 18- AJUSTES PARA EL ANÁLISIS TÉRMICO.	29 -
FIGURA 19- DEFINICIÓN DEL FLUJO DE CALOR DEBAJO DE LA OLLA DE COCCIÓN.	29 -
FIGURA 20- DEFINICIÓN DE LA TRANSFERENCIA DE CALOR POR CONVECCIÓN.	30 -
FIGURA 21- HOJA DE TRIPLAY DE 9MM.	32 -
FIGURA 22- DIBUJO DE LA PARÁBOLA SOBRE LA HOJA DE TRIPLAY.	33 -
FIGURA 23- CORTE DE LA PIEZA DE TRIPLAY PARA REALIZAR EL MOLDE.	33 -
FIGURA 24- BASE DE TRIPLAY Y MOLDE DE CONCRETO.	34 -
FIGURA 25- ACABADO PULIDO DEL MOLDE DE CONCRETO.	34 -
FIGURA 26- CERA DESMOLDANTE CP-500.	35 -
FIGURA 27- APLICACIÓN DE LA CERA DESMOLDANTE CP-500.	35 -
FIGURA 28- APLICACIÓN DE LA PELÍCULA SEPARADORA.	36 -
FIGURA 29- APLICACIÓN DEL GEL COAT BLANCO.	36 -
FIGURA 30- FIBRA DE VIDRIO DE 1½.	37 -
FIGURA 31- RESINA PP-250 Y CATALIZADOR K-2000.	37 -
FIGURA 32- APLICACIÓN DE LA RESINA PP-250 Y CATALIZADOR K-2000.	38 -
FIGURA 33- CONCENTRADOR PARABÓLICO DESMOLDADO.	38 -
FIGURA 34- CONCENTRADOR PARABÓLICO CON UNA APLICACIÓN MÁS DE GEL COAT BLANCO.	39 -
FIGURA 35- PERFIL ROLADO PARA SOPORTE DEL CONCENTRADOR PARABÓLICO.	39 -
FIGURA 36- CONCENTRADOR PARABÓLICO CON SU SOPORTE CIRCULAR.	40 -
FIGURA 37- ÁNGULO DE CORTE DEL MATERIAL REFLEJANTE.	41 -
FIGURA 38- TRAZOS PARA EL CORTE DEL MATERIAL REFLEJANTE.	41 -
FIGURA 39- APLICACIÓN DEL MATERIAL REFLEJANTE.	42 -
FIGURA 40- TUERCA DE 5/8 DE PULGADA DENTRO DEL PERFIL TUBULAR.	42 -
FIGURA 41- PIEZA DE SUJECIÓN DEL COLECTOR.	43 -
FIGURA 42- CHUMACERA DE PISO DE 5/8.	43 -
FIGURA 43- BASE DE LA ESTRUCTURA.	43 -
FIGURA 44- PERFIL DE LONGITUD 166 CM.	44 -
FIGURA 45- PIEZA TUBULAR PARA SOPORTE DE LA OLLA DE COCCIÓN.	44 -
FIGURA 46- REJILLA DE SOPORTE DE LA OLLA DE COCCIÓN.	45 -
FIGURA 47- PIEZA TUBULAR DE 50 CM DE LONGITUD.	45 -
FIGURA 48- VARILLA ROSCADA DE 5/8 DE PULGADA.	46 -
FIGURA 49- VISTA FRONTAL DEL DISPOSITIVO.	46 -
FIGURA 50- VISTA LATERAL DEL DISPOSITIVO.	47 -
FIGURA 51- INSTRUMENTOS DE MEDICIÓN, MEDIDOR DE RADIACIÓN SOLAR DIRECTA SM206-SOLAR, ANEMÓMETRO Y MULTÍMETRO TRUPER MUT-39.	49 -
FIGURA 52- OLLA DE COCCIÓN PINTADA CON PINTURA RESISTENTE A ALTAS TEMPERATURAS.	50 -
FIGURA 53- COMIENZO DE PRUEBAS DE LA ESTUFA SOLAR.	50 -
FIGURA 54- PUNTO FOCAL DE LA ESTUFA SOLAR DEBAJO DE LA OLLA DE COCCIÓN.	51 -
FIGURA 55- APLICACIÓN DE PAPEL MYLAR COMO MATERIAL REFLEJANTE.	58 -
FIGURA 56- COMIENZO DE LAS PRUEBAS CON EL PAPEL MYLAR COMO MATERIAL REFLEJANTE.	58 -
FIGURA 57- DISTRIBUCIÓN DE LAS TEMPERATURAS DEL AGUA EN UN LAPSO DE 600 S.	69 -
FIGURA 58- DISTRIBUCIÓN DE TEMPERATURAS DESDE LA SUPERFICIE DEL AGUA.	70 -

Lista de gráficas

GRÁFICA 1- CONSTRUCCIÓN DE LA PARÁBOLA CON LOS PUNTOS OBTENIDOS.	32 -
GRÁFICA 2- CAMBIO DE LA TEMPERATURA DEL AGUA CON RESPECTO AL TIEMPO Y RADIACIÓN SOLAR DEL DÍA 19 DE MAYO DEL 2021. .	52 -
GRÁFICA 3- CAMBIO DE LA TEMPERATURA DEL AGUA CON RESPECTO AL TIEMPO Y RADIACIÓN SOLAR DEL DÍA 20 DE MAYO DEL 2021. .	53 -
GRÁFICA 4- CAMBIO DE LA TEMPERATURA DEL AGUA CON RESPECTO AL TIEMPO Y RADIACIÓN SOLAR DEL DÍA 27 DE MAYO DEL 2021. .	54 -
GRÁFICA 5- CAMBIO DE LA TEMPERATURA DEL AGUA CON RESPECTO AL TIEMPO Y RADIACIÓN SOLAR DEL DÍA 28 DE MAYO DEL 2021. .	55 -
GRÁFICA 6- CAMBIO DE LA TEMPERATURA DEL AGUA CON RESPECTO AL TIEMPO Y RADIACIÓN SOLAR DEL DÍA 28 DE MAYO DEL 2021, EN LA PRIMERA HORA.	56 -

GRÁFICA 7- CAMBIO DE LA TEMPERATURA DEL AGUA CON RESPECTO AL TIEMPO Y RADIACIÓN SOLAR DEL DÍA 28 DE MAYO DEL 2021, EN LA SEGUNDA HORA.	56
GRÁFICA 8- CAMBIO DE LA TEMPERATURA DEL AGUA CON RESPECTO AL TIEMPO Y RADIACIÓN SOLAR DEL DÍA 28 DE MAYO DEL 2021, EN LA TERCERA HORA.	57
GRÁFICA 9- CAMBIO DE LA TEMPERATURA DEL AGUA CON RESPECTO AL TIEMPO Y RADIACIÓN SOLAR DEL DÍA 28 DE MAYO DEL 2021, EN LA CUARTA HORA.	57
GRÁFICA 10- CAMBIO DE LA TEMPERATURA DEL AGUA CON RESPECTO AL TIEMPO Y RADIACIÓN SOLAR DEL DÍA 9 DE JUNIO DEL 2021. .	59
GRÁFICA 11- CAMBIO DE LA TEMPERATURA DEL AGUA CON RESPECTO AL TIEMPO Y RADIACIÓN SOLAR DEL DÍA 10 DE JUNIO DEL 2021.	60
GRÁFICA 12- CAMBIO DE LA TEMPERATURA DEL AGUA CON RESPECTO AL TIEMPO Y RADIACIÓN SOLAR DEL DÍA 10 DE JUNIO DEL 2021.	61
GRÁFICA 13- CAMBIO DE LA TEMPERATURA DEL AGUA CON RESPECTO AL TIEMPO Y RADIACIÓN SOLAR DEL DÍA 26 DE JUNIO DEL 2021.	62
GRÁFICA 14- CAMBIO DE LA TEMPERATURA DEL AGUA CON RESPECTO AL TIEMPO Y RADIACIÓN SOLAR DEL DÍA 20 DE JULIO DEL 2021. .	63
GRÁFICA 15- CAMBIO DE LA TEMPERATURA DEL AGUA CON RESPECTO AL TIEMPO Y RADIACIÓN SOLAR DEL DÍA 20 DE JULIO DEL 2021, PRIMERA HORA.	64
GRÁFICA 16- CAMBIO DE LA TEMPERATURA DEL AGUA CON RESPECTO AL TIEMPO Y RADIACIÓN SOLAR DEL DÍA 20 DE JULIO DEL 2021, SEGUNDA HORA.	65
GRÁFICA 17- CAMBIO DE LA TEMPERATURA DEL AGUA CON RESPECTO AL TIEMPO Y RADIACIÓN SOLAR DEL DÍA 20 DE JULIO DEL 2021, TERCERA HORA.	66
GRÁFICA 18- CAMBIO DE LA TEMPERATURA DEL AGUA CON RESPECTO AL TIEMPO Y RADIACIÓN SOLAR DEL DÍA 20 DE JULIO DEL 2021, CUARTA HORA.	67
GRÁFICA 19- REGRESIÓN LINEAL Y COEFICIENTE DE DETERMINACIÓN R^2 PARA EL DÍA 19 DE MAYO DEL 2021.	71
GRÁFICA 20- REGRESIÓN LINEAL Y COEFICIENTE DE DETERMINACIÓN R^2 PARA EL DÍA 20 DE MAYO DEL 2021.	72
GRÁFICA 21- REGRESIÓN LINEAL Y COEFICIENTE DE DETERMINACIÓN R^2 PARA EL DÍA 21 DE MAYO DEL 2021.	73
GRÁFICA 22- REGRESIÓN LINEAL Y COEFICIENTE DE DETERMINACIÓN R^2 PARA EL DÍA 27 DE MAYO DEL 2021.	74
GRÁFICA 23- REGRESIÓN LINEAL Y COEFICIENTE DE DETERMINACIÓN R^2 PARA EL DÍA 28 DE MAYO DEL 2021, PRIMERA HORA.	76
GRÁFICA 24- REGRESIÓN LINEAL Y COEFICIENTE DE DETERMINACIÓN R^2 PARA EL DÍA 28 DE MAYO DEL 2021, SEGUNDA HORA.	76
GRÁFICA 25- REGRESIÓN LINEAL Y COEFICIENTE DE DETERMINACIÓN R^2 PARA EL DÍA 28 DE MAYO DEL 2021, TERCERA HORA.	77
GRÁFICA 26- REGRESIÓN LINEAL Y COEFICIENTE DE DETERMINACIÓN R^2 PARA EL DÍA 28 DE MAYO DEL 2021, CUARTA HORA.	77
GRÁFICA 27- REGRESIÓN LINEAL Y COEFICIENTE DE DETERMINACIÓN R^2 PARA LOS DÍAS DE PRUEBAS CON EL VINIL AUTOMOTRIZ.	78
GRÁFICA 28- REGRESIÓN LINEAL Y COEFICIENTE DE DETERMINACIÓN R^2 PARA EL DÍA 9 DE JUNIO DEL 2021.	79
GRÁFICA 29- REGRESIÓN LINEAL Y COEFICIENTE DE DETERMINACIÓN R^2 PARA EL DÍA 10 DE JUNIO DEL 2021.	80
GRÁFICA 30- REGRESIÓN LINEAL Y COEFICIENTE DE DETERMINACIÓN R^2 PARA EL DÍA 25 DE JUNIO DEL 2021.	81
GRÁFICA 31- REGRESIÓN LINEAL Y COEFICIENTE DE DETERMINACIÓN R^2 PARA EL DÍA 26 DE JUNIO DEL 2021.	82
GRÁFICA 32- REGRESIÓN LINEAL Y COEFICIENTE DE DETERMINACIÓN R^2 PARA EL DÍA 20 DE JULIO DEL 2021, PRIMERA HORA.	83
GRÁFICA 33- REGRESIÓN LINEAL Y COEFICIENTE DE DETERMINACIÓN R^2 PARA EL DÍA 20 DE JULIO DEL 2021, SEGUNDA HORA.	84
GRÁFICA 34- REGRESIÓN LINEAL Y COEFICIENTE DE DETERMINACIÓN R^2 PARA EL DÍA 20 DE JULIO DEL 2021, TERCERA HORA.	84
GRÁFICA 35- REGRESIÓN LINEAL Y COEFICIENTE DE DETERMINACIÓN R^2 PARA EL DÍA 20 DE JULIO DEL 2021, CUARTA HORA.	85
GRÁFICA 36- REGRESIÓN LINEAL Y COEFICIENTE DE DETERMINACIÓN R^2 PARA LOS DÍAS DE PRUEBAS CON EL PAPEL MYLAR.	85
GRÁFICA 37- POTENCIA DE LA ESTUFA SOLAR EN EL DÍA 19 DE MAYO DE 2021.	87
GRÁFICA 38- EFICIENCIA ENERGÉTICA Y EXERGÉTICA DE LA ESTUFA SOLAR EN EL DÍA 19 DE MAYO DEL 2021.	87
GRÁFICA 39- POTENCIA DE LA ESTUFA SOLAR EN EL DÍA 20 DE MAYO DE 2021.	88
GRÁFICA 40- EFICIENCIA ENERGÉTICA Y EXERGÉTICA DE LA ESTUFA SOLAR EN EL DÍA 20 DE MAYO DEL 2021.	89
GRÁFICA 41- POTENCIA DE LA ESTUFA SOLAR EN EL DÍA 21 DE MAYO DE 2021.	90
GRÁFICA 42- EFICIENCIA ENERGÉTICA Y EXERGÉTICA DE LA ESTUFA SOLAR EN EL DÍA 21 DE MAYO DEL 2021.	90
GRÁFICA 43- POTENCIA DE LA ESTUFA SOLAR EN EL DÍA 27 DE MAYO DE 2021.	91
GRÁFICA 44- EFICIENCIA ENERGÉTICA Y EXERGÉTICA DE LA ESTUFA SOLAR EN EL DÍA 27 DE MAYO DEL 2021.	92
GRÁFICA 45- POTENCIA DE LA ESTUFA SOLAR EN EL DÍA 28 DE MAYO DE 2021.	93
GRÁFICA 46- EFICIENCIA ENERGÉTICA Y EXERGÉTICA DE LA ESTUFA SOLAR EN EL DÍA 28 DE MAYO DEL 2021.	93
GRÁFICA 47- POTENCIA DE LA ESTUFA SOLAR EN EL DÍA 9 DE JUNIO DE 2021.	94
GRÁFICA 48- EFICIENCIA ENERGÉTICA Y EXERGÉTICA DE LA ESTUFA SOLAR EN EL DÍA 9 DE JUNIO DEL 2021.	95
GRÁFICA 49- POTENCIA DE LA ESTUFA SOLAR EN EL DÍA 10 DE JUNIO DE 2021.	96
GRÁFICA 50- EFICIENCIA ENERGÉTICA Y EXERGÉTICA DE LA ESTUFA SOLAR EN EL DÍA 10 DE JUNIO DEL 2021.	96
GRÁFICA 51- POTENCIA DE LA ESTUFA SOLAR EN EL DÍA 25 DE JUNIO DE 2021.	97
GRÁFICA 52- EFICIENCIA ENERGÉTICA Y EXERGÉTICA DE LA ESTUFA SOLAR EN EL DÍA 25 DE JUNIO DEL 2021.	98
GRÁFICA 53- POTENCIA DE LA ESTUFA SOLAR EN EL DÍA 26 DE JUNIO DE 2021.	99
GRÁFICA 54- EFICIENCIA ENERGÉTICA Y EXERGÉTICA DE LA ESTUFA SOLAR EN EL DÍA 26 DE JUNIO DEL 2021.	99

GRÁFICA 55- POTENCIA DE LA ESTUFA SOLAR EN EL DÍA 20 DE JULIO DE 2021..... - 100 -
GRÁFICA 56- EFICIENCIA ENERGÉTICA Y EXERGÉTICA DE LA ESTUFA SOLAR EN EL DÍA 20 DE JULIO DEL 2021. - 101 -
GRÁFICA 57- COMPARACIÓN DE LA TRANSFERENCIA DE CALOR DEL AGUA ENTRE EL ANÁLISIS EN ANSYS Y EL PROCEDIMIENTO ANALÍTICO.....-
102 -

Lista de tablas

TABLA 1- PUNTOS PARA LA CONSTRUCCIÓN DE LA PARÁBOLA OBTENIDOS EN MICROSOFT EXCEL..... - 31 -
TABLA 2- PROTOCOLO DE PRUEBAS. - 48 -
TABLA 3- DATOS OBTENIDOS DEL DÍA 19 DE MAYO DEL 2021..... - 52 -
TABLA 4- DATOS OBTENIDOS DEL DÍA 20 DE MAYO DEL 2021..... - 53 -
TABLA 5- DATOS OBTENIDOS DEL DÍA 27 DE MAYO DEL 2021..... - 54 -
TABLA 6- DATOS OBTENIDOS DEL DÍA 28 DE MAYO DEL 2021..... - 55 -
TABLA 7- DATOS OBTENIDOS DEL DÍA 09 DE JUNIO DEL 2021. - 59 -
TABLA 8- DATOS OBTENIDOS DEL DÍA 10 DE JUNIO DEL 2021. - 60 -
TABLA 9- DATOS OBTENIDOS DEL DÍA 25 DE JUNIO DEL 2021..... - 61 -
TABLA 10- DATOS OBTENIDOS DEL DÍA 26 DE JUNIO DEL 2021. - 62 -
TABLA 11- DATOS OBTENIDOS DEL DÍA 20 DE JULIO DEL 2021..... - 63 -
TABLA 12- DATOS OBTENIDOS DEL DÍA 20 DE JULIO DEL 2021, PRIMERA HORA..... - 64 -
TABLA 13- DATOS OBTENIDOS DEL DÍA 20 DE JULIO DEL 2021, SEGUNDA HORA..... - 65 -
TABLA 14- DATOS OBTENIDOS DEL DÍA 20 DE JULIO DEL 2021, TERCERA HORA..... - 66 -
TABLA 15- DATOS OBTENIDOS DEL DÍA 20 DE JULIO DEL 2021, CUARTA HORA..... - 67 -
TABLA 16- EVOLUCIÓN DE LA TEMPERATURA DEL AGUA EN LA OLLA DE COCCIÓN EN 600 S. - 69 -
TABLA 17- DATOS OBTENIDOS DEL DÍA 19 DE MAYO DEL 2021, TOMADO EN CUENTA P_i , P_s Y LA DIFERENCIA DE TEMPERATURAS..... - 71 -
TABLA 18- DATOS OBTENIDOS DEL DÍA 20 DE MAYO DEL 2021, TOMADO EN CUENTA P_i , P_s Y LA DIFERENCIA DE TEMPERATURAS..... - 72 -
TABLA 19- DATOS OBTENIDOS DEL DÍA 21 DE MAYO DEL 2021, TOMADO EN CUENTA P_i , P_s Y LA DIFERENCIA DE TEMPERATURAS..... - 73 -
TABLA 20- DATOS OBTENIDOS DEL DÍA 27 DE MAYO DEL 2021, TOMADO EN CUENTA P_i , P_s Y LA DIFERENCIA DE TEMPERATURAS..... - 74 -
TABLA 21- DATOS OBTENIDOS DEL DÍA 28 DE MAYO DEL 2021, TOMADO EN CUENTA P_i , P_s Y LA DIFERENCIA DE TEMPERATURAS..... - 75 -
TABLA 22- DATOS OBTENIDOS DEL DÍA 9 DE JUNIO DEL 2021, TOMADO EN CUENTA P_i , P_s Y LA DIFERENCIA DE TEMPERATURAS..... - 78 -
TABLA 23- DATOS OBTENIDOS DEL DÍA 10 DE JUNIO DEL 2021, TOMADO EN CUENTA P_i , P_s Y LA DIFERENCIA DE TEMPERATURAS..... - 79 -
TABLA 24- DATOS OBTENIDOS DEL DÍA 25 DE JUNIO DEL 2021, TOMADO EN CUENTA P_i , P_s Y LA DIFERENCIA DE TEMPERATURAS..... - 80 -
TABLA 25- DATOS OBTENIDOS DEL DÍA 26 DE JUNIO DEL 2021, TOMADO EN CUENTA P_i , P_s Y LA DIFERENCIA DE TEMPERATURAS..... - 81 -
TABLA 26- DATOS OBTENIDOS DEL DÍA 20 DE JULIO DEL 2021, TOMADO EN CUENTA P_i , P_s Y LA DIFERENCIA DE TEMPERATURAS..... - 83 -
TABLA 27- CÁLCULO DE LA POTENCIA, EFICIENCIA ENERGÉTICA Y EXERGÉTICA DEL DÍA 19 DE MAYO DEL 2021..... - 86 -
TABLA 28- CÁLCULO DE LA POTENCIA, EFICIENCIA ENERGÉTICA Y EXERGÉTICA DEL DÍA 20 DE MAYO DEL 2021..... - 88 -
TABLA 29- CÁLCULO DE LA POTENCIA, EFICIENCIA ENERGÉTICA Y EXERGÉTICA DEL DÍA 21 DE MAYO DEL 2021..... - 89 -
TABLA 30- CÁLCULO DE LA POTENCIA, EFICIENCIA ENERGÉTICA Y EXERGÉTICA DEL DÍA 27 DE MAYO DEL 2021..... - 91 -
TABLA 31- CÁLCULO DE LA POTENCIA, EFICIENCIA ENERGÉTICA Y EXERGÉTICA DEL DÍA 28 DE MAYO DEL 2021..... - 92 -
TABLA 32- CÁLCULO DE LA POTENCIA, EFICIENCIA ENERGÉTICA Y EXERGÉTICA DEL DÍA 9 DE JUNIO DEL 2021..... - 94 -
TABLA 33- CÁLCULO DE LA POTENCIA, EFICIENCIA ENERGÉTICA Y EXERGÉTICA DEL DÍA 10 DE JUNIO DEL 2021..... - 95 -
TABLA 34- CÁLCULO DE LA POTENCIA, EFICIENCIA ENERGÉTICA Y EXERGÉTICA DEL DÍA 25 DE JUNIO DEL 2021..... - 97 -
TABLA 35- CÁLCULO DE LA POTENCIA, EFICIENCIA ENERGÉTICA Y EXERGÉTICA DEL DÍA 26 DE JUNIO DEL 2021..... - 98 -
TABLA 36- CÁLCULO DE LA POTENCIA, EFICIENCIA ENERGÉTICA Y EXERGÉTICA DEL DÍA 20 DE JULIO DEL 2021..... - 100 -
TABLA 37- RADIACIÓN SOLAR DIRECTA EN EL INSTITUTO TECNOLÓGICO DE PACHUCA..... - 108 -

RESUMEN

En el presente trabajo se realizó el estudio y diseño de una estufa solar tomando en cuenta la literatura de trabajos anteriores para con esto hacer un análisis con la finalidad de elegir el tipo de estufa solar en cuanto a la eficiencia energética, para lo cual se optó por una estufa solar de tipo directo y concentrador parabólico, el cual tiene un diámetro de 1.5 m, un punto focal de 0.5 m, con una altura de la estructura de 0.79 m y una profundidad de 0.83 m, diseño realizado en Solidworks.

Tomando en cuenta la radiación solar que se tiene en el Instituto Tecnológico de Pachuca, la cual es de 675.861 W/m^2 promedio, realizando simulación térmica transitoria en Ansys y con procedimiento analítico obteniendo resultados de temperaturas con error del 4.199 %, de acuerdo a la configuración y materiales seleccionados. La experimentación se realizó en la comunidad de La Vega Cardonal Hidalgo, tanto por la fabricación de la estufa solar como por cuestiones de la pandemia.

Los resultados obtenidos de la experimentación con los materiales reflejantes como lo fueron el vinil reflejante automotriz y el papel Mylar fueron hasta un 41% de eficiencia energética y 21% de eficiencia exergética, estos obtenidos con el vinil automotriz.

Palabras clave: *estufa solar, radiación solar, exergía.*

ABSTRACT

In the present development the study and design of a solar stove was carried out taking into account of the literature of previous works in the order to make an analysis in order to choose the type of solar stoves in terms of energy efficiency, for which a solar stove was chosen direct type an parabolic concentrator, which has a diameter of 1.5 m, a focal point of 0.5 m, whit a structure height of 0.79 m and a depth of 0.83 m, design made in solidworks.

Taking into account the solar radiation that is found in the Instituto Tecnológico de Pachuca, which is 675.861 W/m^2 average, carrying out transient thermal simulation in Ansys an with an analytical procedure obtaining temperature results whit an error of 4.199%, according to the select configuration and materials. The experimentation was carried out in the community of La Vega Cardonal Hidalgo, both for the manufacture of the solar stove and for issues of the pandemic.

The results obtained from the experimentation with reflective materials such as automotive reflective vinyl and Mylar paper were up to 41% energy efficient and 21% exergetic efficiency, these obtained with automotive vinyl.

Keywords: *solar stove, solar radiation, exergy.*

1. Introducción

El problema energético mundial tiene efectos locales, sobre todo en las poblaciones de las zonas rurales de nuestro país, en donde la dificultad de llevar los servicios básicos de agua, energía eléctrica y los combustibles para la cocción de alimentos es un tema complejo que debe abordarse desde un enfoque del desarrollo sustentable. De igual manera surge la necesidad de reducir la contaminación del ambiente en estas zonas por el uso excesivo de la leña, además de los riesgos toxicológicos para los integrantes de las familias que conlleva la utilización de este combustible por la manera tan ineficiente en que se utiliza actualmente.

La energía solar es abundante en nuestro planeta y ha sido utilizada desde hace muchos años para diferentes propósitos, como para el secado de la ropa, el secado de algunos alimentos, así como para la cocción de alimentos, en la actualidad se aprovecha en los hogares para el uso sanitario usando calentadores solares de agua, en paneles fotovoltaicos para generar energía eléctrica, así también se aprovecha para la cocción de alimentos por medio de estufas solares. Además de ser un recurso abundante, gratuito, también es intermitente debido a los factores ambientales.

En lo que comprende a las estufas solares se han desarrollado múltiples diseños dependiendo del tipo de los cuales pueden ser directos e indirectos, para nuestro propósito optamos por los directos que son de menor complejidad y más baratos de realizar, dentro de los directos existen los de tipo panel, caja y de concentrador parabólico, siendo este último el de mejores resultados en temperaturas y tiempos de cocción por lo cual se opta por este tipo de configuración para realizar la estufa solar.

Entonces el problema a resolver es reducir los riesgos toxicológicos por el uso de la leña, la contaminación, así como evitar la deforestación de los bosques, disminuir el trabajo de la recolección de este combustible por medio de la presente investigación al diseñar una estufa solar mediante el análisis exérgico para obtener el mejor desempeño con los materiales idóneos a los ya existentes, tomando en cuenta también todos los parámetros de diseño que estos involucren.

Con la estufa solar propuesta se pretende que tenga impacto en la sociedad reduciendo la contaminación ambiental provocada por el uso de la leña, los riesgos toxicológicos para los habitantes de las viviendas, especialmente para quienes preparan los alimentos y permanecen en la

cocina por largos periodos de tiempo, también reduciendo los gastos o tiempo para la recolección del combustible que algunas familias tienen para obtenerlos, con el consecuente alivio para la deforestación del medio ambiente.

El objetivo del presente trabajo consiste en el diseño y la construcción de una estufa solar, basándonos en trabajos realizados anteriormente, realizando un análisis térmico teórico mediante software especializado, así como el análisis analítico para después validarlo con resultados experimentales.

2. Antecedentes

El uso de combustibles no renovables para satisfacer las necesidades en los hogares ha sido inevitable, como el gas, el cual a veces es menos accesible para las familias por lo cual también se opta por la leña atrayendo con esto daños al medio ambiente y causando enfermedades respiratorias a la población [1]. En México en el año 2017 se registraron 11 727 muertes por contaminación del aire del hogar y más en concreto en el estado de Hidalgo se registraron 400 muertes [2].

Es realmente sorprendente que países de la unión europea, como Alemania, que tienen un potencial solar mucho menor que México, estén desarrollando actualmente sistemas para generación de energía a partir de la energía solar (termosolares y fotovoltaicos) en mayor cantidad que lo que se produce en nuestro país.

La radiación solar directa en México tiene un promedio anual de 4.4 kWh/m^2 por día en la zona centro a los 6.3 kWh/m^2 en el norte del país, en particular en el estado de Hidalgo se tiene un promedio 6.441 kWh/m^2 [3], en la siguiente figura (1) se puede observar la irradiación solar en México.

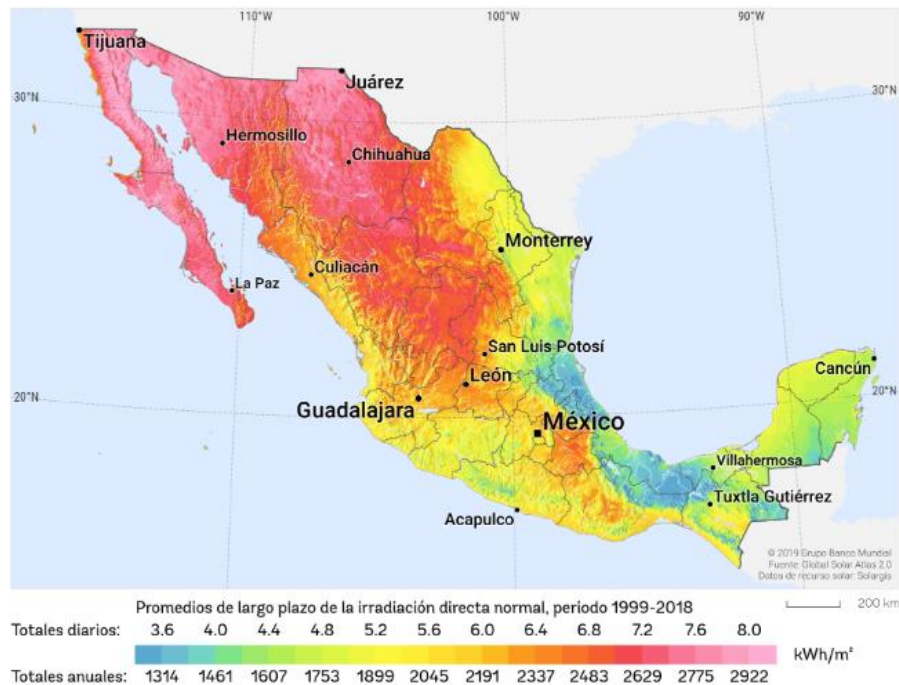


Figura 1- Radiación solar en México.

Una estufa solar es un dispositivo que nos permite la cocción de los alimentos utilizando la energía proveniente del sol, dicha energía la tenemos de manera gratuita y en nuestro país de forma abundante.

Las estufas solares se pueden clasificar en directas e indirectas y esto depende del mecanismo de transferencia de calor hacia el medio de cocción, las estufas solares directas a su vez se clasifican en tres tipos que son tipo caja, panel y concentrador; este tipo de estufas solares usan radiación solar directa para el proceso de cocción mientras que las estufas solares indirectas usan un fluido para la transferencia de calor hacia el punto en el cual se realiza la cocción [4], en siguiente figura (2) se muestra un ejemplo de estufas solares directas.

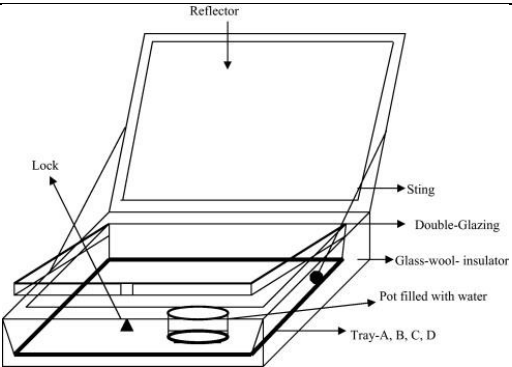
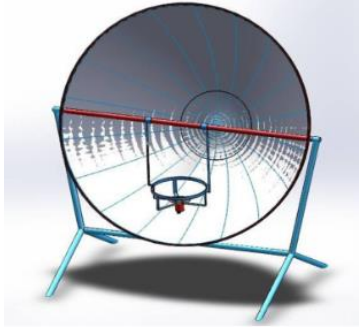
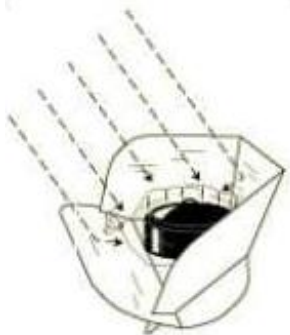
Estufa solar tipo caja	
Estufa solar parabólica	
Estufa solar tipo panel	

Figura 2- Tipos de estufas solares.

Las estufas solares de tipo caja con reflectores internos ha sido objeto de estudios en los cuales se hace el análisis de la 1ª y 2ª ley de la termodinámica que muestra en qué medida se aprovecha la radiación solar, haciendo un análisis matemático tomando en cuenta que dentro de la caja tiene un arreglo de 3 reflectores colocados en diferente con 4 variaciones geométricas en sus ángulos, con una tapa que cierra compuesta por 2 vidrios, la estufa está fabricada en madera en el cual se ocupó calentar agua; de esto se obtiene un modelo matemático que es un sistema de 5 ecuaciones diferenciales no lineales, en el cual fueron considerados los siguientes elementos: los vidrios de la tapa, la tapa del recipiente, el recipiente y el fluido que fue agua. Los resultados de este estudio tanto en lo experimental como con el modelo ayudan a conocer el comportamiento de estufas solares que tengan la misma o semejante configuración para realizar simulación los cuales son de mucha ayuda a la hora de hacer el diseño de uno de estos y para saber el aprovechamiento solar en estas estufas [5].

En otros de los trabajos realizados por Nayak [6] hace referencia en la construcción y experimentación de una estufa solar tipo caja para la zona industrializada de Odisha India, en la cual usaron materiales como aluminio para la cavidad, vidrio plano para la placa superior para permitir la entrada de radiación solar, la cavidad externa esta está aislada con lana de vidrio para minimizar pérdidas por conducción y convección, y una placa de aluminio como placa absorbente. A este dispositivo se le realizaron pruebas con la finalidad de obtener las figuras de mérito F1 y F2 en las cuales para F1 se toma en cuenta la temperatura de la tapa, temperatura ambiente, insolación en la superficie horizontal y cabe mencionar que para esta prueba es en con los recipientes vacíos, y para F2 se toman en cuenta F1, Temperaturas del agua al inicio y al final, temperatura ambiente, insolación horizontal, tiempo, la masa del agua y la capacidad calorífica del agua; Obteniendo buenos resultados en la región propuesta para este tipo de estufas solares con unos valores promedios de $F1=0.123$ y $F2= 0.44$, con los cuales comprobaron una mejora y buena eficiencia de estas mismas.

Otra configuración de estufas solares es la trapezoidal, que es una variación de las de tipo caja, debido a que existe poca información sobre la pérdida de calor tanto radiativas como convectivas dentro y fuera de la cavidad por esta razón fue objeto de estudio para Nayak [7] desde un enfoque computacional para analizar estas pérdidas tomando como el dominio del fluido de la cavidad

trapezoidal que se asemeja a la estufa solar en donde la placa superior está hecha de vidrio, mientras que la placa inferior y las paredes laterales están hechas de placas de acero.

En nuestro país, particularmente en el Estado de Michoacán, González [8], haciendo modificaciones a una estufa solar ya hecha CSJ que es una estufa solar Parabólica, con materiales más económicos al cual se le denominó CSJI y la adaptación de un dispositivo Monitor de Uso de Cocina (SUM) por sus siglas en inglés, el cual va montado sobre un dispositivo mecánico con resortes en la canasta que sostiene la olla donde se colocan los alimentos, con la adaptación del SUM se obtuvieron una serie de parámetros térmicos del CSJI con el cual también se pudo medir los tiempos de uso y de no uso de la estufa solar, cosa que con otros modelos no se puede hacer y conocer y con esto también sabe el proceso de adopción de las estufas solares aunque también cabe indicar que el uso de estufas solares a nivel mundial ha aumentado especialmente en países de Asia, África y América Latina. El resultado la adopción de este sistema fue obtener datos de uso y adopción de las estufas por medio de indicadores objetivos y los patrones de temperatura, con un costo menor en comparación a otros realizados con anterioridad.

En la investigación realizada por González [9] muestra una evaluación a los tres diferentes tipos de estufas solares directas tomando en cuenta tres factores que son la eficiencia energética, facilidad de uso y accesibilidad económica en el cual los resultados arrojan que el de tipo concentrador parabólico es de mejores resultados de acuerdo a los factores de evaluación, esto nos sirve en mucho para una mejor presentación de las estufas solares y su aceptación. Por estas razones se hace el diseño de una estufa solar parabólica.

El resultado de otra investigación muestran que las estufas solares de tipo concentrador parabólicos son las más eficientes con una eficiencia del 14% al 18%, los de tipo caja suelen ser las más baratas de fabricar pero la cocción de los alimentos son tardados por la baja temperatura que este dispositivo otorga y no se puede freír o asar a la parrilla, en los de tipo panel se ve afectado por las condiciones como nublados además de que tarda para su calentamiento e igual que anterior no se puede freír y asar, en lo que refiere a los concentradores parabólicos ofrecen un tiempo de cocción corto por las altas temperaturas que este otorga, tanto puede hornear así como freír [10].

En lo que se refiere a las estufas solares parabólicas, tomamos en cuenta un estudio realizado por Petela [11], quien se acredita en hacer el primer análisis de exergía a una estufa solar cilíndrica parabólica inspirado en trabajos anteriores en los cuales su eficiencia exergético es relativamente bajo del 1%, lo que es 10 veces más bajo que la eficiencia energética. Para realizar su trabajo de investigación recurrió a la introducción de una superficie imaginaria que introdujo para cerrar el sistema considerado de las superficies de la estufa, encontrando también que la baja eficiencia se debe principalmente al escape de una gran cantidad de insolación que no se absorbe, y adicionalmente a la pérdida de calor al ambiente. El rendimiento de esta estufa solar se puede mejorar haciendo un diseño apropiado de la configuración geométrica y las propiedades ópticas de la superficies que intercambian calor por radiación; ya que los valores calculados teóricamente se asemejan a otros ya publicados con anticipación y al aplicar la variación solo en la apertura y la profundidad de este tipo de estufa demostró que la eficiencia energética supero el 18% mientras que la eficiencia exergética supero el 1.6%, mediante cálculos.

En nuestro estado, más en específico en el municipio de Cardonal, se intentó la introducción de las estufas solares de tipo parabólico para un comedor comunitario, pero no tuvo aceptación ya que estos son de gran tamaño y por lo mismo de alto costo. Con el presente trabajo se pretende otorgar la oportunidad de contar una estufa solar eficiente, fácil de manejar, de bajo costo, el cual se pueda adecuar a cualquier hogar.

3. Marco Teórico

3.1 Energía Solar

Nuestro planeta órbita alrededor del sol, y la energía que llega del sol nos llega por medio de radiación, gracias a esto existe la vida en la tierra y por lo tanto es la fuente de energía más importante y abundante, también le podemos considerar como la responsable de la mayoría de la forma de energía que se conoce como el petróleo, carbón, madera, gas natural las cuales pasaron por procesos fotosintéticos y demás procesos complejos hasta llegar a la forma en las cuales los conocemos ahora. Incluso la energía del viento y de la marea tiene origen solar debido a las diferencias de temperaturas en varias regiones de la tierra [12].

La energía emitida por el sol viaja en forma de ondas electromagnéticas, únicas ondas que no necesitan medio material para su propagación, ya que en sí mismas encierran un proceso de autogeneración. Su velocidad de propagación en el vacío es la misma para todas las longitudes de onda, siendo $c = 300\,000\text{ km/s}$, con lo cual, para una distancia media Tierra – Sol de 150 millones de kilómetros, el tiempo que tarde en llegarnos la luz solar es de unos 8.3 minutos [13].

Como se observa desde la tierra, el disco solar forma un ángulo de 32' de grado, lo anterior se observa en la figura (3). Esto es importante en muchas aplicaciones, especialmente en los concentradores ópticos, donde el sol no puede considerarse como una fuente puntual e incluso este pequeño ángulo es significativo en el análisis del comportamiento óptico del colector. El sol tiene una temperatura efectiva del cuerpo negro de 5760 K. La producción total de energía del sol es de $3.8 \times 10^{20}\text{ MW}$, lo que equivale a $63\text{ MW} / \text{m}^2$ de la superficie del sol. Esta energía irradia hacia afuera en todas las direcciones. La tierra recibe solo una pequeña fracción de la radiación total emitida, igual a $1.7 \times 10^{14}\text{ kW}$; sin embargo, incluso con esta pequeña fracción, se estima que 84 minutos de radiación solar que cae sobre la tierra es igual a la demanda mundial de energía durante 1 año (aproximadamente 900 EJ) [12].

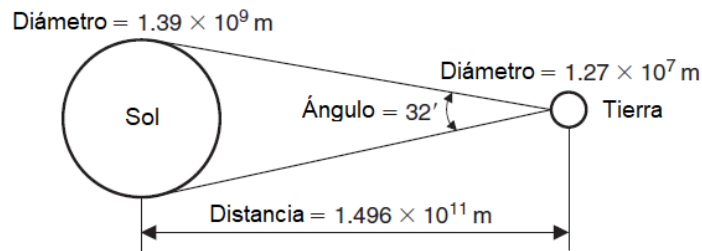


Figura 3- Relación entre el Sol y la Tierra.

3.2 Ángulos Solares

La tierra realiza una rotación alrededor de su eje cada 24 horas y una revolución completa alrededor del sol en un periodo de aproximadamente 365.25 días, esta revolución nos es circular, sino que sigue una elipse con el sol en uno de sus focos con una excentricidad de 0.01673, por lo tanto, la órbita de la tierra es casi circular.

3.2.1 Declinación, δ

El eje de rotación de la tierra tiene un ángulo de inclinación de 23.45° desde el eje elíptico, el cual es el plano de orbita de la tierra alrededor del sol, en la siguiente figura (4) se muestra el movimiento de la tierra alrededor del sol [12].

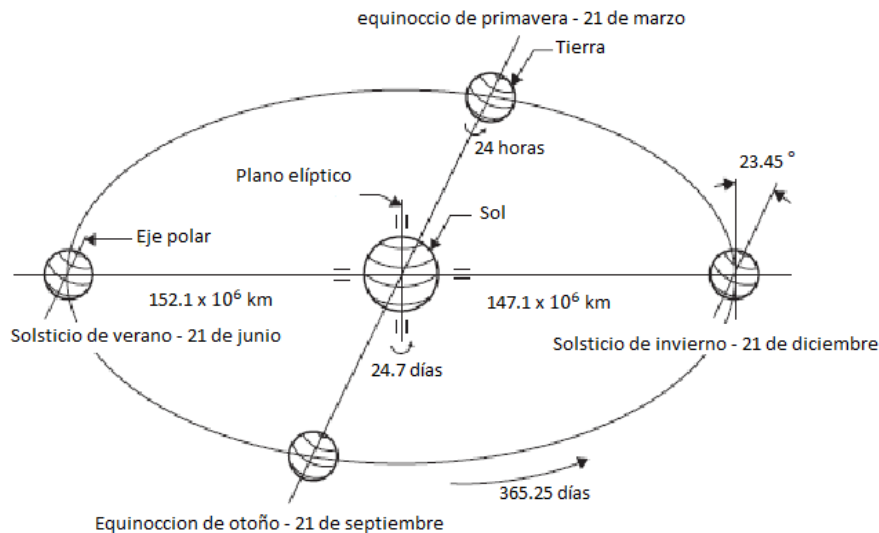


Figura 4- Movimiento anual de la Tierra alrededor del Sol.

El plano elíptico es el plano de orbita de la tierra alrededor del sol, la declinación solar es la distancia angular de los rayos del sol hacia el norte (o sur) de la línea ecuatorial, la declinación

hacia el norte es designado como positivo y hacia el sur como negativo, como se muestra en la figura (5), es el ángulo entre la línea central sol-tierra y la proyección de esta línea en el plano ecuatorial.

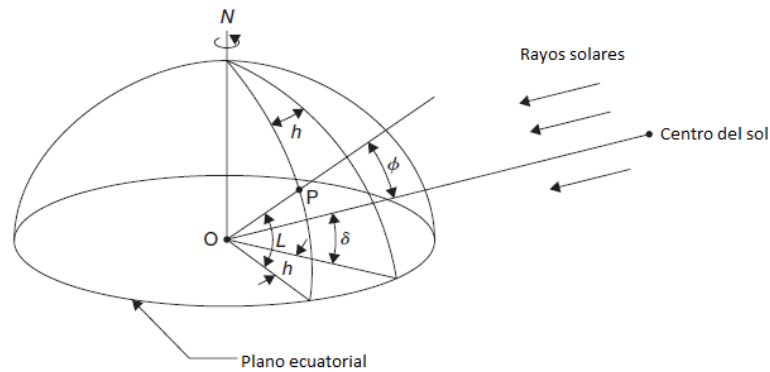


Figura 5- Definición de los ángulos solares.

La declinación varía de 0 en el equinoccio de primavera a $+23.45^\circ$ en el solsticio de verano, 0 en el equinoccio de otoño y -23.45° en el solsticio de invierno, esto lo podemos observar en la figura (6).

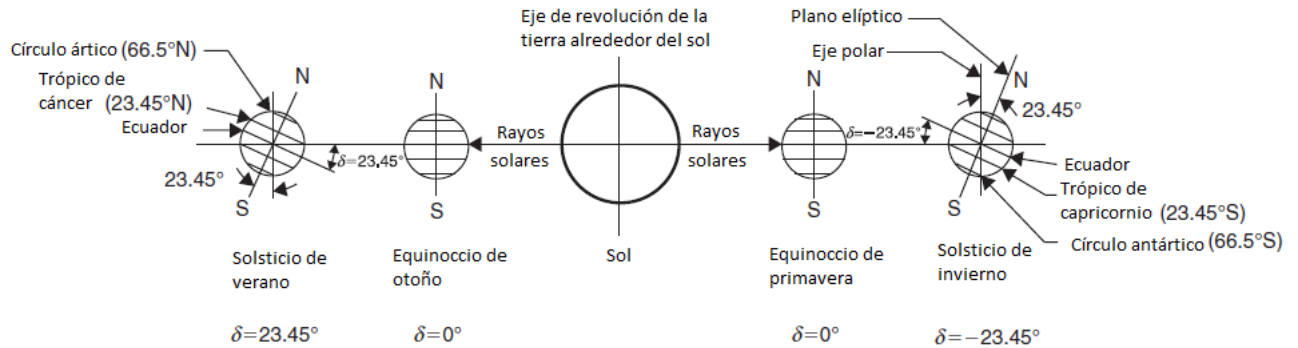


Figura 6- Variación anual de la declinación solar.

Para conocer la declinación en grados para cualquier día del año (N) se puede aproximar mediante la siguiente ecuación.

$$\delta = 23.45 \operatorname{sen} \left[\frac{360}{365} (284 + N) \right] \quad (1)$$

Expresada en radianes tenemos:

$$\delta = 0.006918 - 0.399912 \cos(\Gamma) + 0.070257 \operatorname{sen}(\Gamma) - 0.006758 \cos(2\Gamma) + 0.000907 \operatorname{sen}(2\Gamma) \quad (2)$$

$$-0.002697 \cos(3\Gamma) + 0.00148 \operatorname{sen}(3\Gamma)$$

donde Γ se le llama ángulo del día, en radianes como:

$$\Gamma = \frac{2\pi(N-1)}{365} \quad (3)$$

La declinación solar durante cualquier día puede considerarse constante en los cálculos de ingeniería.

3.2.2 Altitud, α

El ángulo de altitud solar es el formado entre los rayos del sol y un plano horizontal, como se muestra en la siguiente figura (7) el camino aparente diario del sol a través del cielo desde el amanecer hasta el atardecer [12].

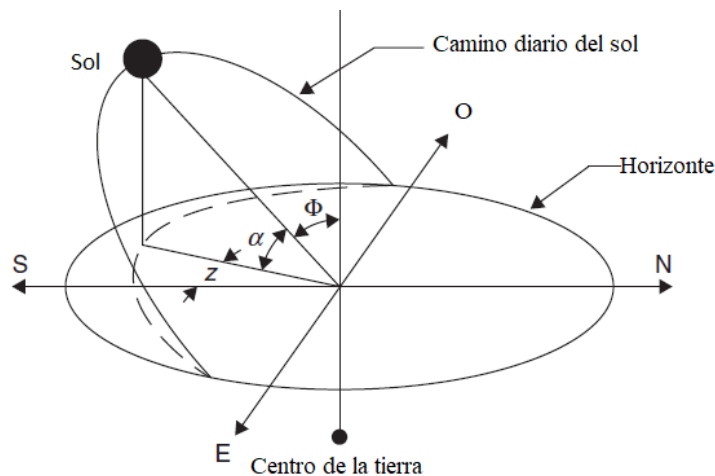


Figura 7- Camino aparente diario del sol a través del cielo.

Está relacionado con el ángulo cenital solar Φ , que es el ángulo entre los rayos del sol y el vertical, lo cual lo podemos observar en la siguiente ecuación.

$$\Phi + \alpha = \pi/2 = 90^\circ \quad (4)$$

La expresión matemática para el ángulo de altitud solar es:

$$\operatorname{sen}(\alpha) = \cos(\Phi) = \operatorname{sen}(L)\operatorname{sen}(\delta) + \cos(L) \cos(h) \quad (5)$$

En donde L es la latitud local, definida como el ángulo entre la línea desde el centro de la tierra hasta el sitio de interés y el plano ecuatorial.

3.2.3 Azimuth, z

Es el ángulo de los rayos del sol medidos en el plano horizontal desde el sur para el sur (verdadero sur) para el hemisferio norte o el norte para el hemisferio sur, hacia el oeste es designando como positivo. La expresión matemática para el ángulo solar de azimuth es la siguiente [12]:

$$\text{sen}(z) = \frac{\cos(\delta) \text{sen}(h)}{\cos(\alpha)} \quad (6)$$

La ecuación es correcta, siempre que $\cos(h) > \tan(\delta)/\tan(L)$. Si no, significa que el sol está detrás de la línea E – O, como se muestra en la figura (8), y el ángulo azimuthal para las horas de la mañana es $-\pi + |z|$ y para las horas de la tarde $\pi - z$, al medio día solar, por definición, el sol esta exactamente en el meridiano, que contiene la línea norte – sur y, en consecuencia, el ángulo solar de azimuth es 0° .

3.2.4 Incidencia, θ

El ángulo de incidencia solar θ , es el ángulo entre los rayos del sol y la normal en una superficie. Para un plano horizontal, el ángulo de incidencia, y el ángulo cenital son iguales. En la figura (8) se muestra como están relacionados los ángulos básicos que se muestran en la figura (5) [12].

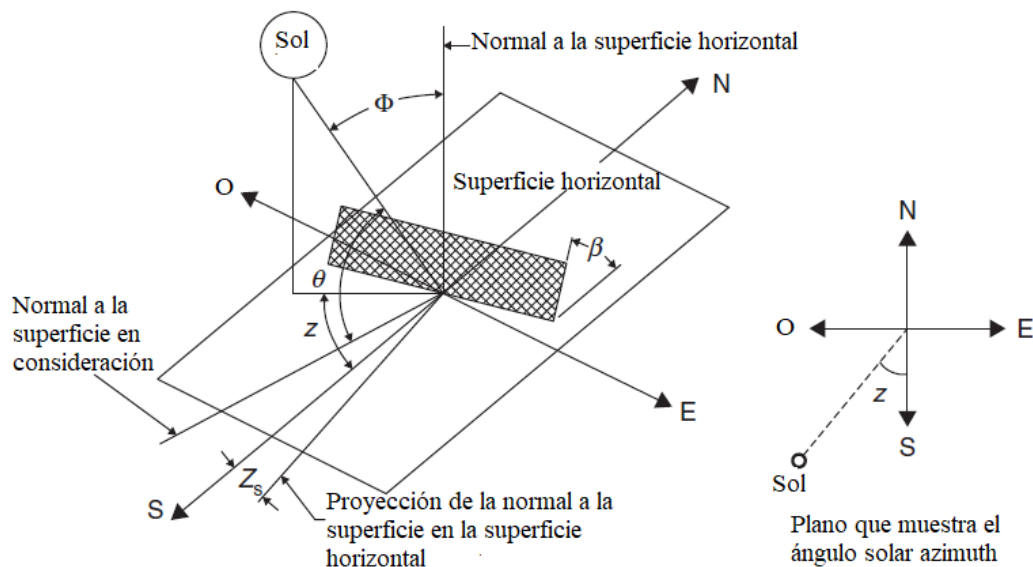


Figura 8- Diagrama de ángulos solares.

Con la siguiente ecuación, podemos conocer el ángulo solar de incidencia.

(7)

$$\begin{aligned}\cos(\theta) = & \text{sen}(L)\text{sen}(\delta) \cos(\beta) - \cos(L) \text{sen}(\beta) \cos(Z_s) \\ & + \cos(L) \cos(\delta) \cos(h) \cos(\beta) \\ & + \text{sen}(L) \cos(\delta) \cos(h) \text{sen}(\beta) \cos(Z_s) + \cos(\delta) \text{sen}(h) \text{sen}(\beta) \text{sen}(Z_s)\end{aligned}$$

Donde

β = ángulo de inclinación de la superficie desde la horizontal.

Z_s = ángulo de azimuth de superficie, el ángulo entre la normal y la superficie desde el sur verdadero, hacia el oeste se designa como positivo.

3.3 Mecanismos de Transferencia de Calor

El calor es la forma de la energía que se puede transferir de un sistema a otro como resultado de la diferencia en sus temperaturas, la termodinámica trata los estados de equilibrio y de los cambios desde un estado en equilibrio hacia otro. Por otra parte, la transferencia de calor se ocupa de los sistemas en los que falta el equilibrio térmico y, por lo tanto, existe un fenómeno de no equilibrio. Por lo que el estudio de la transferencia de calor no puede basarse solo en los principios de la termodinámica. Sin embargo, las leyes de la termodinámica ponen la estructura para la ciencia de la transferencia de calor. En la primera ley se requiere que la razón de la transferencia de energía hacia un sistema sea igual a la razón de incremento de la energía de ese sistema. En la segunda ley se requiere que el calor se transfiera en la dirección de la temperatura decreciente, la diferencia de temperatura es la impulsora para la transferencia de calor [14], existen tres mecanismos diferentes para la transferencia de calor que son: conducción, convección y radiación.

3.3.1 Transferencia de calor por conducción

Es la transferencia de energía de las partículas más energéticas de una sustancia hacia las adyacentes menos energéticas, como resultado de interacciones de esas partículas. La conducción puede tener en los sólidos, líquidos o gases. En los gases y líquidos la conducción se debe a las colisiones y a la difusión de las moléculas durante su movimiento aleatorio, mientras que en los sólidos se debe a la combinación de las vibraciones de las moléculas en una red y al transporte de energía de parte de los electrones libres [14].

La transferencia de calor tiene dirección, así como magnitud y, por lo tanto, es una cantidad vectorial. Es por esto que se debe especificar tanto la dirección como la magnitud con el fin de describir por completo la transferencia de calor en un punto. Por convención en general aceptada

es que la transferencia de calor en la dirección positiva de un eje de coordenadas es positiva y en la dirección opuesta es negativa.

La transferencia de calor a través de un medio en una dirección específica (por ejemplo, la dirección x) es proporcional a la diferencia de temperatura entre uno y el otro lado del medio y el área perpendicular a la dirección de la transferencia de calor, pero es inversamente proporcional a la distancia de esa dirección, lo cual se expresó en forma diferencial por la ley de Fourier de la conducción de calor en forma unidimensional, así:

$$\dot{Q}_{cond} = -kA \frac{dT}{dx} \quad (8)$$

Donde k es la conductividad térmica del material, que es una medida de la capacidad del material para conducir el calor y dT/dx es el gradiente de la temperatura.

3.3.2 Transferencia de calor por convección

La conducción y la convección son semejantes ya que ambos necesitan la presencia de un medio material, pero difieren en que la convección requiere la presencia del movimiento de fluidos.

La transferencia de calor a través de un líquido o gas puede ser por conducción o convección, dependiendo de la presencia de algún movimiento masivo de fluido; la transferencia de calor a través de un fluido es por convección cuando se tiene un movimiento masivo de este último y por conducción cuando no existe dicho movimiento, por lo que se puede decir que la conducción en un fluido se puede concebir como el caso límite de la convección [14].

La transferencia de calor por convección es complicada por el hecho de que comprende movimiento del fluido, así como conducción de calor, con el movimiento del fluido mejora la transferencia de calor, ya que pone en contacto porciones más calientes y más frías de ese fluido, iniciando índices más altos de conducción en un gran número de sitios. Por lo tanto, la velocidad de la transferencia de calor a través de un fluido es mucho más alta por convección que por conducción, esto quiere decir que, entre más alta velocidad del fluido, mayor es la velocidad de transferencia de calor.

La transferencia de calor por convección depende con intensidad de las propiedades viscosidad dinámica μ , conductividad térmica k , densidad ρ y calor específico C_p del fluido, así como la velocidad del fluido V . también depende de la configuración geométrica y aspereza de la superficie sólida, además del tipo de flujo del fluido (el que sea laminar o turbulento), con lo anterior se puede decir que la transferencia de calor por convección es algo compleja por tantas variables, y pues si

es el mecanismo de transferencia de calor más complejo. A pesar de lo anterior, se observa que la razón de transferencia de calor por este mecanismo es proporcional a la diferencia de temperatura y se expresa de manera conveniente por la ley de Newton de enfriamiento como:

$$q_{conv} = h(T_s - T_\infty) \quad (9)$$

O bien,

$$Q_{conv} = hA_s(T_s - T_\infty) \quad (10)$$

En donde:

h = coeficiente de transferencia de calor por convección, $W/m^2 \cdot ^\circ C$

A_s = área superficial de transferencia de calor, m^2

T_s = temperatura de la superficie, $^\circ C$

T_∞ = temperatura del fluido suficientemente lejos de la superficie, $^\circ C$

El coeficiente de transferencia de calor por convección h se puede definir como la razón de la transferencia de calor entre una superficie sólida y un fluido por unidad de área superficial por unidad de diferencia en la temperatura.

El coeficiente de transferencia de calor por convección también se puede expresar de la siguiente forma:

$$h = \frac{-k_{fluido} \left(\frac{\partial T}{\partial y} \right)_{y=0}}{T_s - T_\infty} \quad (11)$$

3.3.3 Transferencia de calor por radiación

La radiación difiere con respecto a los otros dos mecanismos de transferencia de calor en que no requiere la presencia de un medio material para llevarse a efecto. De hecho, la transferencia de energía por radiación es la más rápida (a la velocidad de la luz) y no sufre atenuación en el vacío [14]. La transferencia por radiación ocurre en los sólidos, así como en los líquidos y los gases, además en un espacio en el que se ha hecho el vacío solo puede ocurrir la transferencia de calor por radiación, por ejemplo, la energía del sol llega a la tierra por radiación.

El tipo de radiación electromagnética que resulta pertinente para la transferencia de calor es la radiación térmica emitida como resultado de las transiciones energéticas de las moléculas, los átomos y los electrones de una sustancia. La radiación térmica es emitida en forma continua por toda la materia cuya temperatura está por arriba del cero absoluto, la radiación térmica incluye toda la radiación visible y la infrarroja (IR), así como parte de la radiación ultravioleta (UV), ya que se extiende desde alrededor de 0.1 hasta 100 μm del espectro electromagnético.

Un cuerpo que emite alguna radiación en el rango visible recibe el nombre de fuente luminosa. Es obvio que el Sol es nuestra principal fuente luminosa. La radiación electromagnética emitida por el Sol se conoce como radiación solar y gran parte de ella cae en la banda de longitudes de onda de $0.3\text{-}3\ \mu\text{m}$.

Aproximadamente la mitad de la radiación solar es luz (es decir, cae en el rango visible). La restante es ultravioleta o infrarroja. En la transferencia de calor solo nos interesa la energía emitida por los cuerpos debido solo a su temperatura, por lo tanto, a la radiación térmica solo la llamaremos radiación.

Cuando una superficie de emisividad ε y un área superficial A_s , a una temperatura termodinámica T_s , esta por completo encerrada por una superficie mucho mas grande (o negra), a una temperatura termodinámica T_{atr} , $\sigma = 5.670 \times 10^{-8}\ \text{W}/\text{m}^2\text{K}^4$ es la constante de Stefan – Boltzman y separada por un gas (como el aire) que no interfiere con la radiación, la razón neta de la transferencia de calor por radiación entre estas superficies está dada por:

$$\dot{Q}_{rad} = \varepsilon\sigma A_s(T_s^4 - T_{atr}^4) \quad (12)$$

3.3.3.1 Cuerpo negro

Se define como un emisor y absorbedor perfecto de la radiación. A una temperatura y una longitud de onda específica, ninguna superficie puede emitir más energía que un cuerpo negro. Un cuerpo negro absorbe toda la radiación incidente, sin importar la longitud de onda ni la radiación. Asimismo, emite energía de radiación de manera uniforme en todas direcciones, por unidad de área normal a la dirección de emisión. Es decir, un cuerpo negro es un emisor difuso, lo que significa que es independiente de la dirección [14].

La energía de radiación emitida por un cuerpo negro por unidad de tiempo y por unidad de área superficial se llama poder de emisión de un cuerpo negro E_b en todas las longitudes de onda desde $\lambda = 0$ hasta $\lambda = \infty$ se expresa por la ley de Stefan-Boltzmann, con T que es la temperatura absoluta de la superficie en K:

$$E_b(T) = \sigma T^4 \quad (13)$$

3.4 Primera ley de la Termodinámica

Fue dada a conocer por Julius Robert Von Mayer en 1841, es en esencia una expresión del principio de conservación de la energía, conocida también como balance de energía [15]. El balance de masa y energía generales para cualquier sistema que experimenta cualquier proceso se puede expresar como:

$$E_{entrada} - E_{salida} = \Delta E \quad (14)$$

Expresada en su forma de tasa se expresa como:

$$\dot{E}_{entrada} - \dot{E}_{salida} = dE_{sistema}/dt \quad (15)$$

Para conocer la eficiencia de la primera ley de la termodinámica está definida por la siguiente ecuación:

$$\eta = \frac{E_{salida}}{E_{entrada}} \quad (16)$$

3.5 Segunda ley de la Termodinámica (exergía)

La segunda ley de la termodinámica ha demostrado ser una herramienta muy poderosa en la optimización de sistemas termodinámicos complejos, afirma que los procesos ocurren en cierta dirección y que la energía tiene calidad, así como también cantidad. Cuando se descubre una nueva fuente de energía, como un pozo geotérmico, lo primero que hacen los exploradores es estimar la cantidad de energía contenida en la fuente. Sin embargo, esta sola afirmación sirve de poco para decidir si se construye una central eléctrica en ese sitio. Lo que realmente se necesita saber es el potencial de trabajo de la fuente, es decir, la cantidad de energía que podemos extraer como trabajo útil. El resto de la energía es finalmente descartada como energía de desecho y no debe ser considerada. Por lo tanto, es deseable tener una propiedad que permita determinar el potencial de trabajo útil de una cantidad dada de energía en algún estado específico. Esta propiedad es la exergía, que también se denomina disponibilidad o energía disponible, la cual se asocia con el estado del sistema y de los alrededores [15].

3.5.1 Transferencia de exergía por calor

El calor es una forma de energía desorganizada y solo una porción de él puede convertirse en trabajo, que es una forma de energía organizada. Siempre es posible producir trabajo a partir del calor a una temperatura superior a la temperatura ambiente, transfiriéndolo a una máquina térmica que rechaza hacia el medio ambiente el calor de desperdicio. Por consiguiente, la transferencia de calor siempre está acompañada por la transferencia de exergía [15]. La transferencia de calor Q en una ubicación que se encuentra a temperatura termodinámica T siempre está acompañada por la transferencia de exergía a una temperatura ambiente T_0 , como se muestra en la siguiente ecuación:

$$Exergía_{calor} = \left(1 - \frac{T_0}{T}\right) Q \quad (17)$$

3.6 Estufas Solares

La energía solar tiene diversas aplicaciones como fuente de energía renovable y la cual la tenemos disponible en abundancia, una de estas aplicaciones es en las estufas solares.

La estufa solar es un dispositivo que absorbe la radiación solar, la transforma en calor, retiene el calor y lo transfiere a los alimentos a través de las paredes de la olla, se puede utilizar para calentar o cocinar alimentos o bebidas.

Las estufas solares se clasifican en directas o indirectas dependiendo del mecanismo de transferencia de calor hacia la olla de cocción [10], las de tipo indirecto se clasifican según el colector solar utilizado o el almacenamiento de energía, en los cuales el calor lo transfieren mediante un fluido hacia la olla de cocción, por otro lado en las estufas solares de tipo directo el proceso de cocción de los alimentos se realiza utilizando la luz solar directamente, este tipo de cocinas a su vez se clasifican en tres tipos como lo son: caja, panel y concentrador.

3.6.1 Estufa solar tipo caja

Este tipo de estufa solar está compuesta de una caja aislada con una ventana transparente simple o doble de vidrio o plástico por donde la radiación solar pasa y es absorbida por la olla de cocción, las paredes y el fondo de la caja; en la parte interior de la caja, así como la olla de cocción deben estar pintados de negro para

maximizar el efecto de calentamiento [10]. Además de esto se puede colocar un reflector en una parte superior lateral de la caja para reflejar los rayos del sol hacia el interior de la caja, también se ha realizado estudios en los cuales se agregan reflectores internos en la caja [5]. Algunas de las limitantes de este tipo de estufas solares son lentas en el proceso de cocción de los alimentos debido a su baja temperatura que se puede producir, además de no poder freír alimentos.

3.6.2 Estufa solar tipo panel

Este tipo de estufas solares son similares en el principio de funcionamiento a las de tipo caja, pero en lugar de ocupar una caja utiliza un panel de reflectores para enfocar la luz del sol hacia la olla de cocción que convierte la luz solar en energía térmica, además la olla de cocción debe contar con tapa para evitar el escape el calor y quede dentro, es de fácil construcción y de bajo costo, pero su rendimiento se ve afectado considerablemente por la radiación reflejada y la condiciones climáticas, en este tipo de estufas no se puede freír alimentos [10].

3.6.3 Estufa solar de tipo concentrador

La estufa solar de tipo concentrador, realiza la cocción de los alimentos absorbiendo la radiación solar directamente sin interferencia de algún material en la luz del sol y la olla de cocción, este tipo de estufas concentra la radiación solar directa en la parte baja de la olla de cocción para calentarla y lograr temperaturas altas.

Este tipo de estufas está formada por un concentrador parabólico, una olla de cocción la cual se coloca en el punto focal del concentrador, además de un estructura de soporte con un mecanismo de giro para la orientación hacia el sol, en estas estufas solares se puede hornear o freír puesto que la olla de cocción está expuesta y a altas temperaturas [10], que esta último es uno de los inconvenientes si no se realiza el manejo adecuado se puede sufrir alguna quemadura.

3.7 Prueba estándar a las estufas solares ASAE S580.1 NOV2013

Para la realización de las pruebas a la estufa solar propuesta se toma en cuenta lo establecido por la American Society of Agricultural and Biological Engineers (ASAE S580.1 NOV2013) [16] por sus siglas en inglés, que en lo general la norma específica los resultados de las pruebas se presenten

como potencia de cocción en watts, normalizada para las condiciones ambientales, la diferencia de temperaturas entre el contenido de la olla de cocción y el aire ambiente, así como una gráfica y una ecuación de regresión con no menos de 30 observaciones en un total de 3 días diferentes.

Para el protocolo de pruebas se toman en cuenta variables controladas y no controladas.

❖ Variables no controladas (meteorológicas):

- ❖ Viento medio. Las pruebas que se realicen deberán tener un viento medio inferior a 1 m/s durante la prueba, medido a la altura de la olla de cocción que se está probando y dentro de los diez metros de la misma.
- ❖ Viento máximo. Si el viento excede los 2.5 m/s durante más de diez minutos, los datos de la prueba deben ser descartados.
- ❖ Protección contra el viento. De ser necesario una protección contra el viento, se diseñará de manera que no interfiera con la entrada de la radiación solar y se colocará en la misma sombra del viento.
- ❖ Temperatura ambiente. Para la realización de las pruebas la temperatura ambiente debe estar entre los 20 y 35 °C.
- ❖ Temperatura del agua. El registro de los datos de la prueba cuando el agua contenida en la olla de cocción este entre 5°C por encima de la temperatura ambiente y 5°C por debajo de la temperatura de ebullición local, en nuestro caso en Pachuca la temperatura de ebullición del agua es de 94°C.
- ❖ Insolación. La energía solar disponible se medirá en el plano perpendicular a la radiación solar (lectura máxima) usando un piranómetro. La variación en la medición de la radiación solar no debe ser mayor a 100 w/m² durante un intervalo de diez minutos, o lecturas por debajo de los 450 w/m² o mayores a los 1100 w/m² durante la prueba.
- ❖ Ángulo azimuth y zenith. Las pruebas deben realizarse entre las 10:00 y las 14:00 hora solar.

❖ Variables controladas (estufa):

- ❖ Carga. Las estufas deberán tener 7000 gramos de agua potable por metro cuadrado de área de intersección distribuida uniformemente en la olla de cocción.
- ❖ Masa de agua. La masa del agua se debe determinar con una balanza electrónica al gramo más cercano, usando un contenedor prehumedecido.

- ❖ Seguimiento. La frecuencia de seguimiento del ángulo azimutal debe ser apropiada para el ángulo de aceptación de la estufa.
- ❖ Detección de la temperatura. La temperatura del agua y del aire debe detectarse con termopares. El termopar se sumergirá en el agua de la olla de cocción y se fijará a 10 mm por encima del fondo en el centro, los cables del termopar deben pasar a través de la tapa de la olla de cocción dentro de un mango no conductor para proteger el cable del termopar de dobleces y temperaturas extremas. El mango debe asegurarse con masilla de silicona 100 % para reducir pérdida de vapor de agua.
- ❖ Registro de datos.
La temperatura promedio del agua (°C) en la olla de cocción se registrará en intervalos no mayores a diez minutos, y debe estar en Celsius a la décima de grado más cercana. La radiación solar (w/m^2), la temperatura ambiente (°C), y la velocidad del viento (m/s) también se registrarán en intervalos no mayores a los diez minutos. Registrar la frecuencia del seguimiento manual, reportar el ángulo de azimuth durante la prueba, así como reportar la elevación y latitud del lugar de la prueba, y las fechas de las pruebas.
- ❖ Cálculo de la potencia de cocción. El cambio de temperatura del agua en un intervalo de 10 minutos multiplicado por la masa y el calor específico del agua contenido en la olla de cocción. El producto dividido por los 600 segundos contenidos en el intervalo de diez minutos.

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

Donde:

P_i = potencia de cocción de estufa (w) para el intervalo i

T_2 = temperatura final del agua (°C)

T_1 = temperatura inicial del agua (°C)

M = masa del agua (kg)

C_v = calor específico del agua (4186 J/[kg*°C])

- ❖ Cálculo de promedios de intervalo. Promedio de la radiación solar, promedio de la temperatura ambiente y el promedio de la temperatura del contenido de la olla de cocción para cada intervalo.
- ❖ Estandarización de la potencia de cocción. La potencia de cocción para cada intervalo se corregirá a un estándar de radiación solar de 700 w/m^2 multiplicando el intervalo de potencia de cocción observado por 700 w/m^2 y dividido por el promedio de la radiación solar en ese intervalo.

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

Donde:

P_s = Potencia de cocción estandarizada (w)

P_i = potencia de cocción en el intervalo (w)

I_i = promedio de radiación solar en el intervalo (w/m^2)

- ❖ Diferencia de temperaturas. La temperatura ambiente para cada intervalo se restará del promedio de temperatura del contenido de la olla de cocción para cada intervalo correspondiente.

$$T_d = T_w - T_a$$

Donde:

T_d = diferencia de temperaturas ($^{\circ}\text{C}$)

T_w = temperatura del agua ($^{\circ}\text{C}$)

T_a = temperatura del aire ambiente ($^{\circ}\text{C}$)

- ❖ Graficar. La potencia de cocción estandarizada, P_s (w), se graficará con respecto a la diferencia de temperaturas, T_d ($^{\circ}\text{C}$), para cada intervalo de tiempo.
- ❖ Regresión. Se utilizará una regresión lineal de los puntos graficados para encontrar la relación entre la potencia de cocción y la diferencia de temperaturas en términos de la intercepción, a (w), y pendiente, b ($\text{w}/^{\circ}\text{C}$).

$$P_s = a + b * T_d$$

Se emplearán no menos de 30 observaciones en un total de 3 días diferentes. El coeficiente de determinación (r^2) o proporción de variación en la potencia de cocción se puede atribuir a la relación encontrada por la regresión debe ser superior a 0.75 o especialmente notorio.

- ❖ Medida única de desempeño. El valor de la potencia de cocción estandarizada, P_s (w), se calcula para una diferencia de temperatura, T_d , de 50 °C, usando la relación de la regresión encontrada de acuerdo a la parte anterior.

3.8 Cálculo de la potencia de la radiación solar, eficiencia energética, eficiencia exérgica

Para determinar la potencia de la radiación solar esta es igual al producto de la radiación solar por metro cuadrado de acuerdo con Pérez [17] como se muestra en la siguiente ecuación:

$$P = IA \quad (19)$$

La energía de entrada en la estufa solar depende del tamaño del colector y la radiación solar, mientras que la energía de salida depende de la cantidad de líquido o alimento dentro de la olla de cocción, de acuerdo con Panwar [18], la eficiencia energética se puede calcular con la siguiente ecuación:

$$\eta = \frac{E_{salida}}{E_{entrada}} = \frac{mC_v(T_2 - T_1)}{IA_a(t_2 - t_1)} \quad (20)$$

La exérgia se define como el potencial de trabajo útil de una cantidad dada de energía de alguna fuente específica, Ozturk [19] describió que la exérgia del agua depende de su masa, calor específico del agua, la temperatura inicial y final del agua, así como la duración del experimento; por otro lado, la exérgia de la radiación solar depende del área de apertura del colector, la radiación solar, la temperatura ambiente y la temperatura de un cuerpo negro asociado con el sol. Para conocer la eficiencia exérgica de la estufa solar de concentrador parabólico se define como la relación entre la exérgia de salida que es la del agua y la exérgia de entrada por medio de la radiación solar.

$$\psi = \frac{E_{xo}}{E_{xi}} = \frac{mC_v \left[(T_2 - T_1) - \left(T_a \ln \frac{T_2}{T_1} \right) \right]}{IA_a(t_2 - t_1) \left[1 + \frac{1}{3} \left(\frac{T_a}{T_s} \right)^4 - \frac{4}{3} \frac{T_a}{T_s} \right]} \quad (21)$$

4. Materiales y Métodos

4.1 Diseño de la estufa solar para su análisis computacional

Se realizó el diseño del dispositivo por medio de Solidworks, para comenzar con la construcción de la estufa solar tomando en cuenta el diámetro del colector parabólico el cual es de 1.5 m, el punto focal a 0.5 m, así como una altura de 0.79 m de la estructura y una profundidad de 0.83 m, como se puede observar en la figura (9).

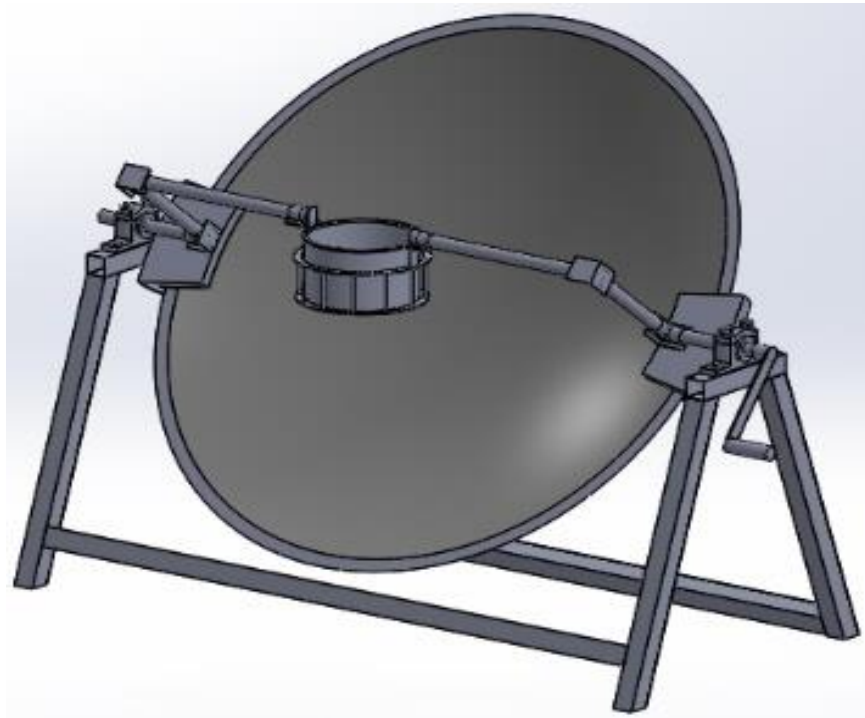


Figura 9- Diseño en Solidworks de la estufa Solar.

El diseño de la estufa solar fué de tipo concentrador parabólico, para lo cual se tomó en cuenta la ecuación general de la parábola con vértice en el origen como se muestra en la siguiente ecuación, con a como la distancia focal.

$$y = \frac{x^2}{4a} \quad (22)$$

Se apoyo en el software libre Parabola Calculator 2.0 para el diseño de la parábola con un diámetro de 1.5 m, con un punto focal de 0.5 m, como se muestra en la figura (9).

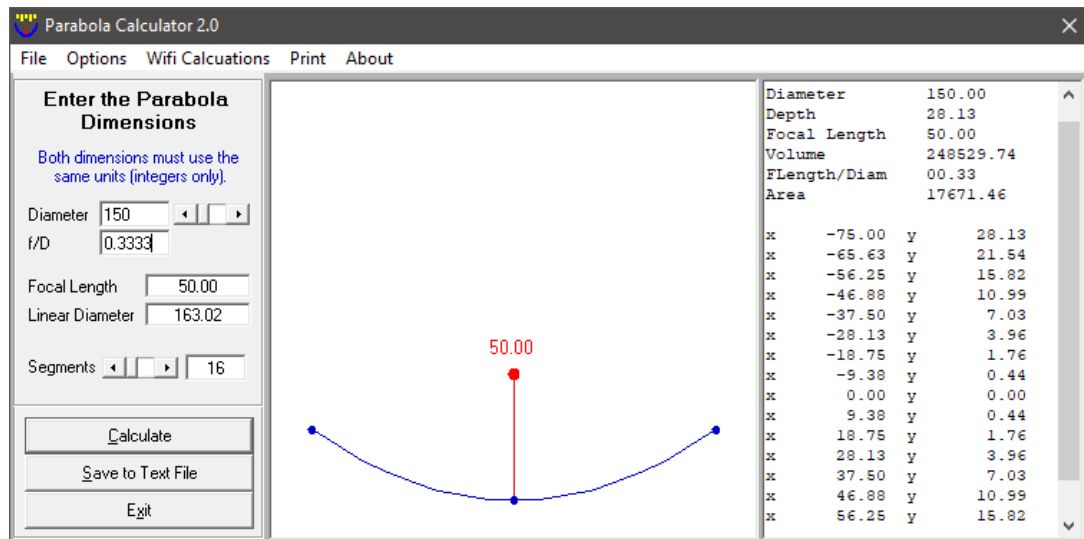


Figura 10- Diseño de la parábola en Parabola Calculator 2.0.

La relación entre el área del colector parabólico y el área de recepción del recipiente que en nuestro caso es la olla de cocción de los alimentos la denotamos como C de la siguiente forma:

$$C = \frac{A_a}{A_r} \quad (23)$$

De los datos obtenidos con Parabola Calculator 2.0, se guardaron solo la mitad de los puntos de la parábola en un archivo CONCENTRADOR.txt como se muestra en la figura (10).

The screenshot shows a text editor window titled 'CONCENTRADOR.txt: Bloc de...'. The window contains a table with 5 columns: Archivo, Edición, Formato, Ver, and Ayuda. The data rows are as follows:

Archivo	Edición	Formato	Ver	Ayuda
1	1	0	0	0
1	2	9.38	0.44	0
1	3	18.75	1.76	0
1	4	28.13	3.96	0
1	5	37.5	7.03	0
1	6	46.88	10.99	0
1	7	56.25	15.82	0
1	8	65.63	21.54	0
1	9	75	28.13	0

The status bar at the bottom indicates 'Ln 1, C1, 100%, Windows (CRLF), UTF-8'.

Figura 11- Datos obtenidos en Parabola Calculator 2.0 para la construcción del colector.

Posteriormente se realiza la geometría del colector parabólico en el módulo Design Modeler de Ansys 19, de acuerdo a los datos del archivo CONCENTRADOR.txt, realizando una revolución de la curva obtenida, como se muestra en la figura (11).

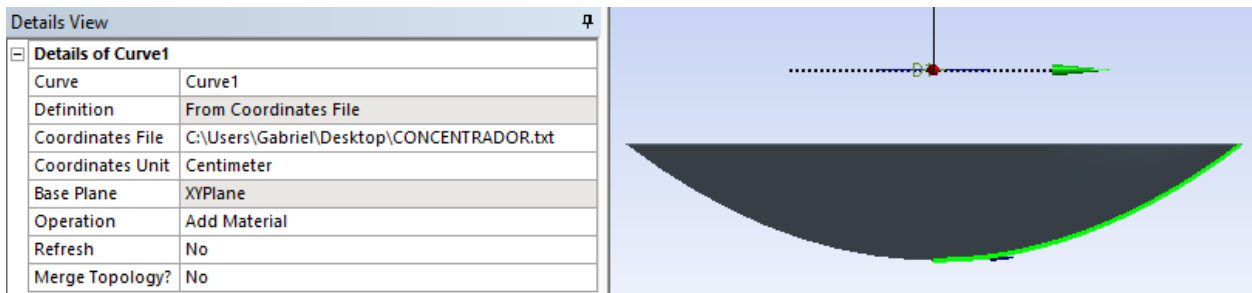


Figura 12- Construcción del colector parabólico.

Se continuó con la geometría añadiendo la olla de cocción con diámetro de 0.26 m, 0.082 m de altura y el agua el cual sería de 4 kg, como se muestra en la figura (12).

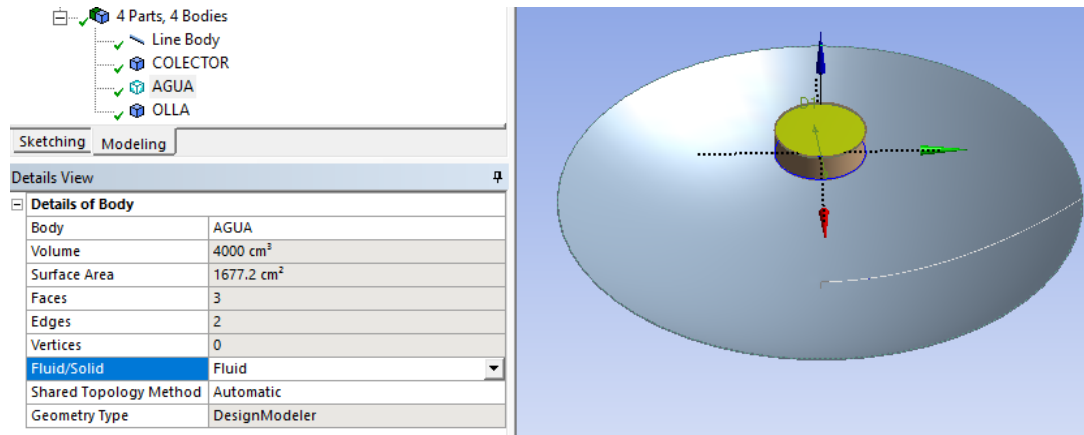


Figura 13- Geometría del colector, olla de cocción y el agua.

Se realizó un análisis térmico transitorio de la olla de cocción junto con la carga que es el agua en Ansys 19, se definió los materiales de los componentes del análisis, como se observa en las figuras (13) y (14).

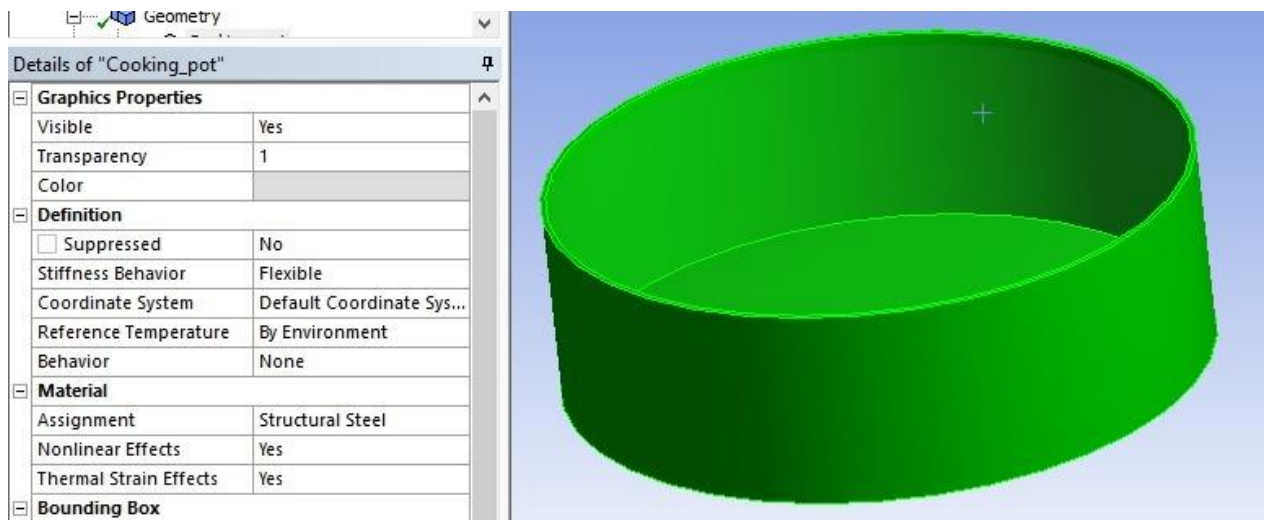


Figura 14- Definición del material de la olla de cocción.

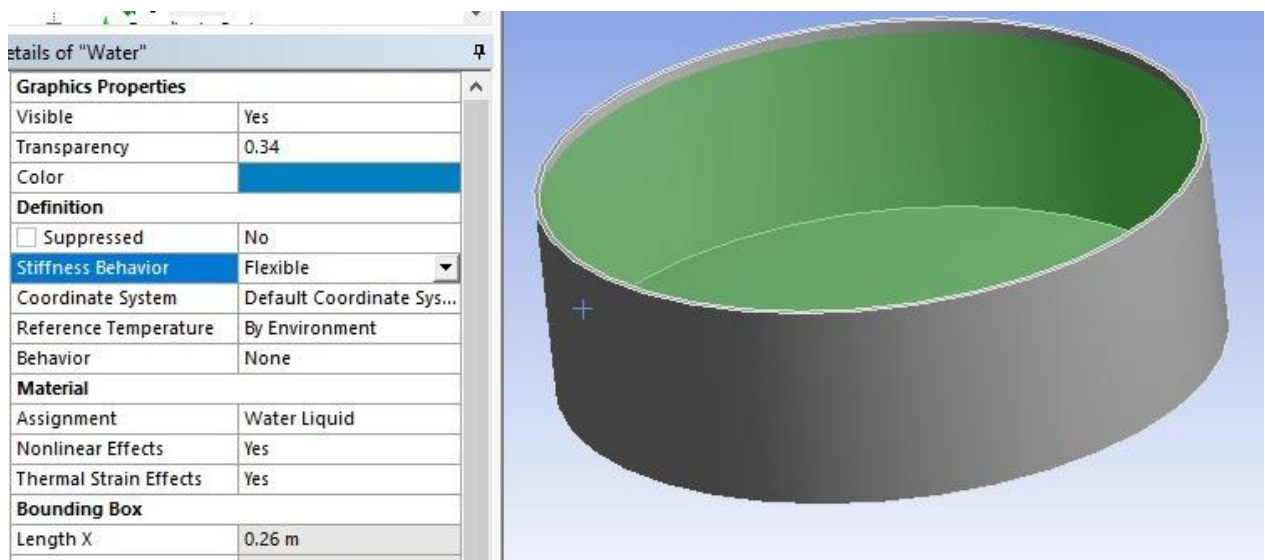


Figura 15- Definición de la carga, agua.

Se definió el tipo de contacto que existe entre el agua y la olla de cocción, como se muestra en la figura (15).

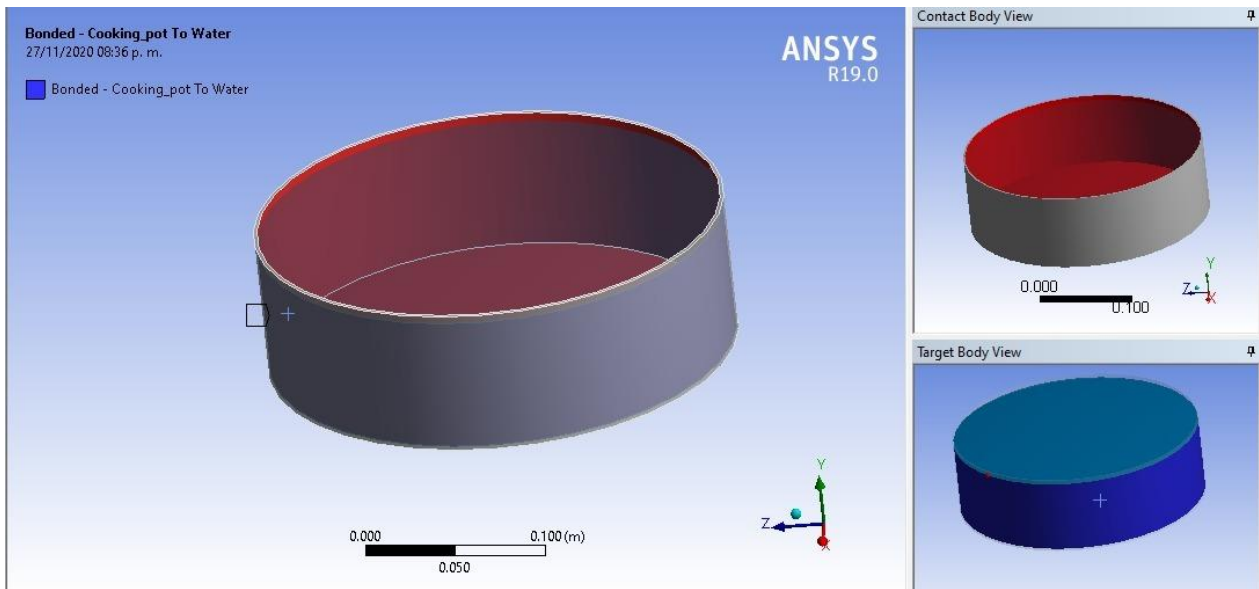


Figura 16-Definición de los tipos de contacto entre la olla de cocción y el agua.

Se realizó un mallado con 4208 nodos y 1331 elementos entre la olla de cocción y el agua, como se puede observar en la figura (16).

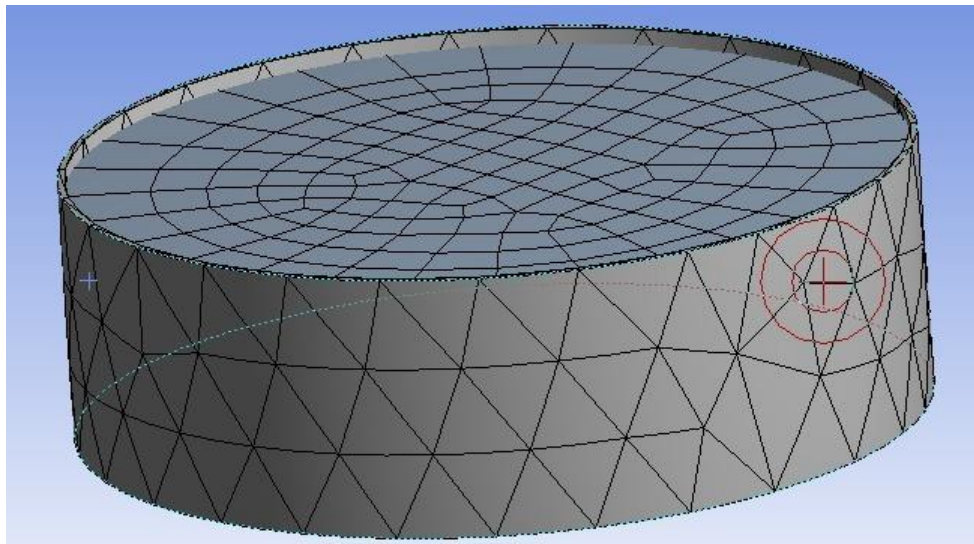


Figura 17- Mallado de la olla de cocción y el agua.

Definimos la temperatura inicial en 25 °C, y se hicieron los ajustes del análisis como se muestra en la figura (17).

Step Controls	
Number Of Steps	600.
Current Step Number	1.
Step End Time	1. s
Auto Time Stepping	On
Define By	Time
Initial Time Step	0.1 s
Minimum Time Step	0.1 s
Maximum Time Step	0.1 s
Time Integration	On

Figura 18- Ajustes para el análisis térmico.

Se definió el flujo de calor de 128.89 W obtenido analíticamente debajo de la olla de cocción, como se observa en la figura (18).

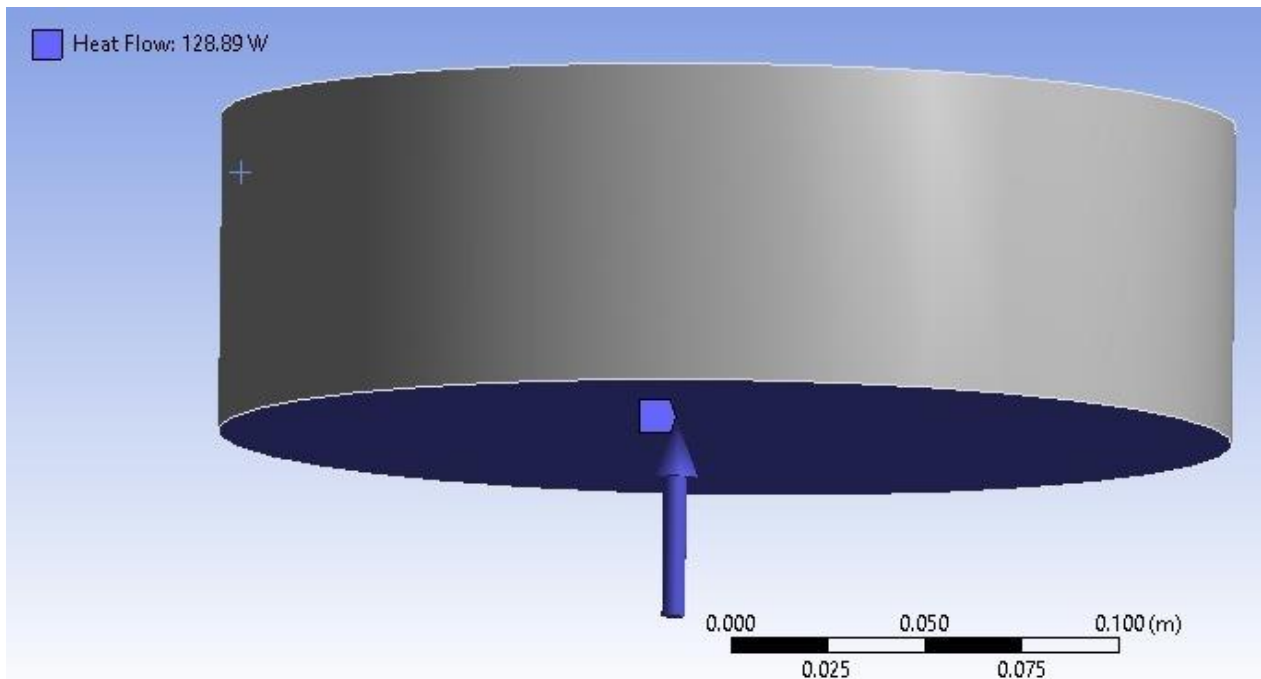


Figura 19- Definición del flujo de calor debajo de la olla de cocción.

Definido el flujo de calor que llega a la olla de cocción, se definió la transferencia de calor por convección del sistema, como se puede observar en la figura (19).

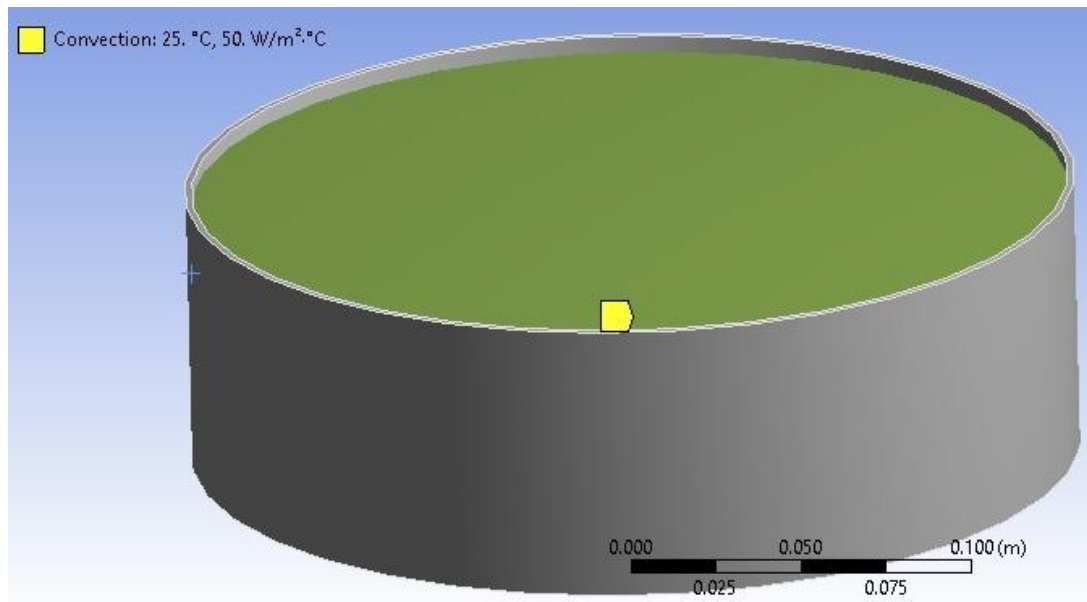


Figura 20- Definición de la transferencia de calor por convección.

Para el análisis térmico numérico de acuerdo a la primera ley de la termodinámica realizaremos el balance de energía de cualquier sistema que experimenta cualquier proceso, que para nuestro estudio es conveniente escribirlo de la siguiente manera en forma de tasa.

$$\dot{Q}_{entrada} - \dot{Q}_{salida} = \frac{\Delta E}{\Delta t} \quad (24)$$

La parte izquierda de la ecuación anterior hace mención a la potencia de entrada y salida del sistema, mientras que la parte derecha se refiere al cambio de energía interna del sistema, igualándola a la potencia de cocción obtenemos:

$$\dot{Q}_{entrada} - \dot{Q}_{salida} = \frac{mC_v dT}{dt} \quad (25)$$

En donde dT es la diferencial de la temperatura y dt , solucionando por el método de diferencias finitas conforme a lo dispuesto por Daza [20], tenemos:

$$\frac{dT}{dt} = \frac{T_{i+1} - T_i}{\Delta t} \quad (26)$$

Sustituyendo la ecuación (26) en la ecuación (25) y despejando la variable para conocer la temperatura en un instante posterior, la cual depende de las características de la estufa solar y de la radiación solar en ese momento.

$$T_{i+1} = T_i + \frac{\Delta t}{mC_p} (\dot{Q}_{entrada} - \dot{Q}_{salida}) \tag{27}$$

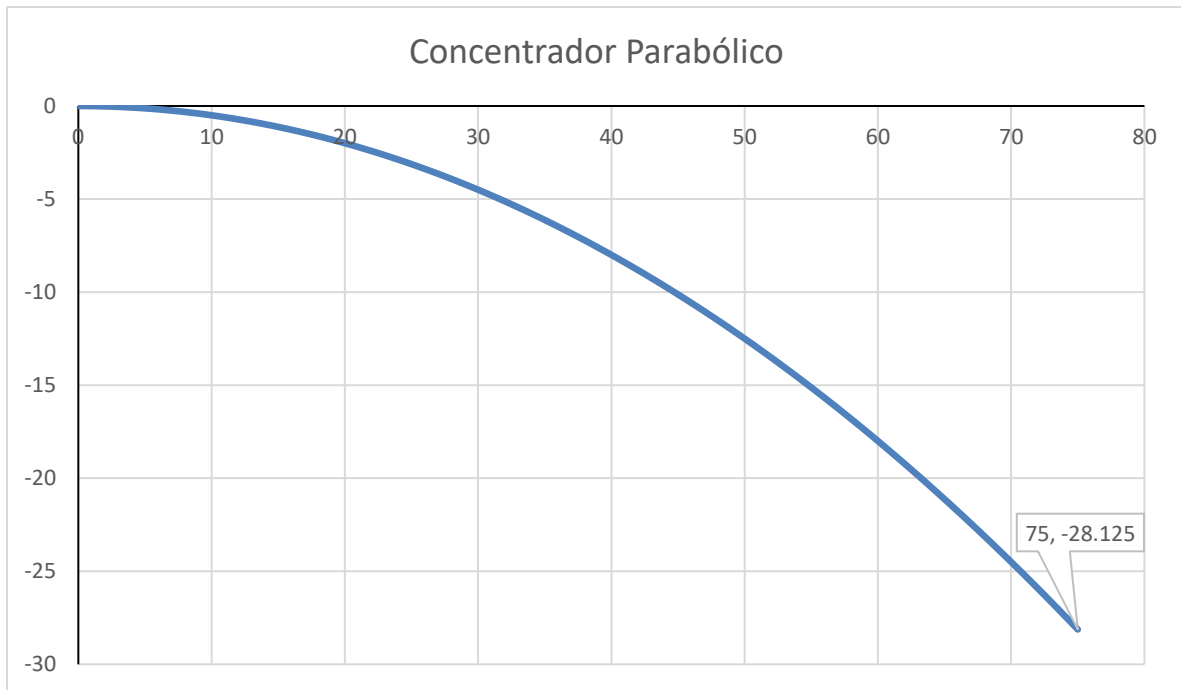
4.2 Desarrollo de la construcción de la estufa solar de concentrador parabólico.

Se comenzó haciendo el bosquejo de la parábola para el concentrador parabólico para poder hacer la construcción del molde, para lo cual se utilizó la fórmula de la parábola con vértice en el origen. El foco está ubicado a 0.5m y la parábola tiene un diámetro de 1.5m. Se utilizó Microsoft Excel para conocer cada punto en la construcción de la parábola como se puede observar en la tabla (1).

Tabla 1- Puntos para la construcción de la parábola obtenidos en Microsoft Excel.

x	Y=-x ² /4a	x	Y=-x ² /4a	x	Y=-x ² /4a
0	0	26	-3.38	52	-13.52
1	-0.005	27	-3.645	53	-14.045
2	-0.02	28	-3.92	54	-14.58
3	-0.045	29	-4.205	55	-15.125
4	-0.08	30	-4.5	56	-15.68
5	-0.125	31	-4.805	57	-16.245
6	-0.18	32	-5.12	58	-16.82
7	-0.245	33	-5.445	59	-17.405
8	-0.32	34	-5.78	60	-18
9	-0.405	35	-6.125	61	-18.605
10	-0.5	36	-6.48	62	-19.22
11	-0.605	37	-6.845	63	-19.845
12	-0.72	38	-7.22	64	-20.48
13	-0.845	39	-7.605	65	-21.125
14	-0.98	40	-8	66	-21.78
15	-1.125	41	-8.405	67	-22.445
16	-1.28	42	-8.82	68	-23.12
17	-1.445	43	-9.245	69	-23.805
18	-1.62	44	-9.68	70	-24.5
19	-1.805	45	-10.125	71	-25.205
20	-2	46	-10.58	72	-25.92
21	-2.205	47	-11.045	73	-26.645
22	-2.42	48	-11.52	74	-27.38
23	-2.645	49	-12.005	75	-28.125
24	-2.88	50	-12.5		
25	-3.125	51	-13.005		

Se graficaron los puntos para la construcción de la parábola en Microsoft Excel como lo podemos observar en la gráfica (1). Para la construcción del molde se tomó de forma negativa para nuestro proceso.



Gráfica 1- Construcción de la parábola con los puntos obtenidos.

Para realizar el molde se ocupó triplay de con un grosor de 9 mm como se muestra en la figura (20).



Figura 21- Hoja de triplay de 9mm.

Sobre el triplay se dibuja la parábola con los puntos obtenidos en Excel, como se muestra en la figura (21).



Figura 22- Dibujo de la parábola sobre la hoja de triplay.

Se realizó el corte con una caladora para obtener la forma parabólica, después del corte se pulió la superficie con lija de agua de grano extra fino 320 y se obtuvo como resultado la media parábola. Haciendo una revolución para conseguir el concentrador parabólico. La pieza se muestra en la figura (22).



Figura 23- Corte de la pieza de triplay para realizar el molde.

El sobrante de la hoja de triplay se utilizó como base para contener el molde, apoyado sobre unos bloques.

Como base debajo de la mezcla de cemento y arena se dispuso de tierra como relleno, así como un tubo de cobre de $\frac{3}{4}$ de pulgada de diámetro con una longitud de 28.125 cm como eje para girar la

media parábola y obtener el concentrador, la cantidad de arena fue de 5 cubetas de 20 litros y un bulto de cemento gris de 50 kg para la realización del molde de concreto, obteniendo como resultado lo que se muestra en la figura (23).



Figura 24- Base de triplay y molde de concreto.

Se realizó el acabado de pulido al molde, en el cual se utilizó 15 kg de cemento gris y agua, además de quitar exceso con una lija de agua de grano extra fino 320 para tener un resultado de piso pulido como se puede observar en la figura (24).



Figura 25- Acabado pulido del molde de concreto.

Para poder realizar el concentrador parabólico fue necesario aplicar 6 capas de cera desmoldante CP-500 con un trapo limpio y seco retirando el exceso que se pudiera generar para poder despegar el concentrador, este material se muestra en la figura (25).



Figura 26- Cera desmoldante CP-500.

Obteniendo el resultado como se muestra en la figura (26).



Figura 27- Aplicación de la cera desmoldante CP-500.

Además de la cera desmoldante se aplicó 6 capas de película separadora para desmoldar el concentrador con brocha dejando secar entre 10 y 15 minutos entre capas, obteniendo como resultado lo mostrado en la figura (27).



Figura 28- Aplicación de la película separadora.

Para reforzar y obtener un buen acabado del concentrador se aplicó dos capas de Gel Coat blanco aplicado con brocha, una aplicación vertical y la otra horizontal, dejando secar de 10 a 15 minutos entre ambas capas, como se puede observar en la figura (28).



Figura 29- Aplicación del Gel Coat Blanco.

Se continuó con la aplicación de dos capas de la fibra de vidrio, siendo un total de 2 y $\frac{1}{4}$ kg para la obtención del concentrador, este material se puede observar en la figura (29).



Figura 30- Fibra de vidrio de 1½.

Además de la aplicación de 5 kg de resina PP-250 además del catalizador K-2000 con 40 gotas de catalizador por cada 100 gr de resina, estos materiales se observan en la figura (30).



Figura 31- Resina PP-250 y Catalizador K-2000.

Aplicando la fibra de vidrio con la resina y el catalizador se obtuvo el resultado que se muestra en la figura (31).



Figura 32- Aplicación de la Resina PP-250 y Catalizador K-2000.

Se dejó curar por 24 horas antes de desmoldar el concentrador, para lo cual se utilizó una cuña, así como un desarmador de punta plana para despegar las orillas, teniendo cuidado de no romper la pieza, obteniendo un concentrador parabólico como se muestra en la figura (32).



Figura 33- Concentrador Parabólico desmoldado.

Se pulió el concentrador y se le aplicó una capa más de Gel Coat Blanco para cubrir algunas imperfecciones para posteriormente volver a pulir como se muestra en la figura (33).

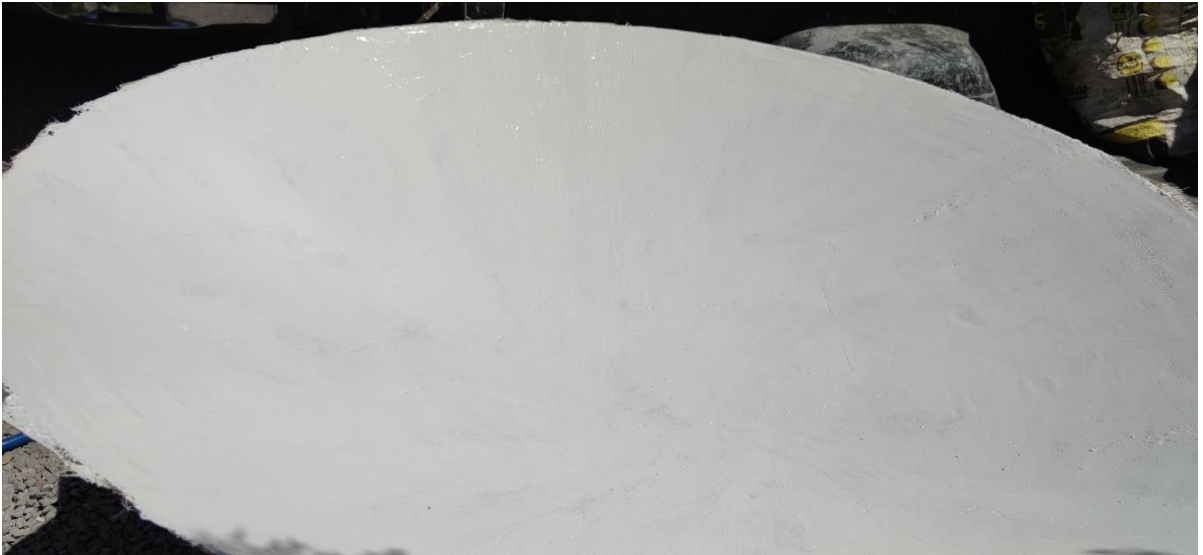


Figura 34- Concentrador Parabólico con una aplicación más de Gel Coat Blanco.

Se continuó con la construcción de la estructura de nuestro dispositivo, se utilizó con perfil tubular cuadrado zintro de 1 pulgada calibre 18. Se realizó el trabajo de rolado para obtener una circunferencia de 1.5 m de diámetro para soporte del colector parabólico como se observa en la figura (34).

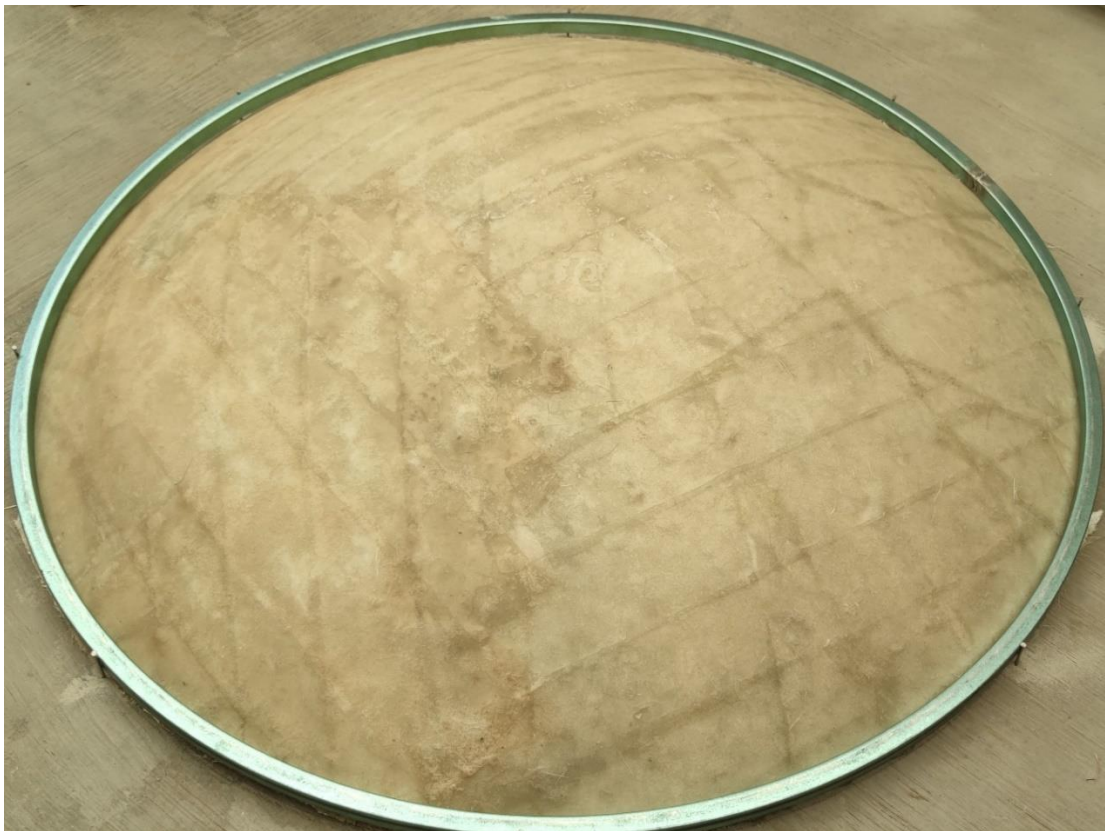


Figura 35- Perfil rolado para soporte del Concentrador Parabólico.

Para la realización del pegado de soporte circular al concentrador parabólico se aplicó fibra de vidrio con tiras de 10 cm de ancho y resina como se muestra en la figura (35).



Figura 36- Concentrador Parabólico con su soporte circular.

El material reflectante utilizado para el concentrador parabólico fue vinil automotriz plateado, para su aplicación se cortaron 36 piezas con un ángulo de 10 grados, como se puede observar en las figuras (36), (37) y (38).



Figura 37- Ángulo de corte del material reflejante.

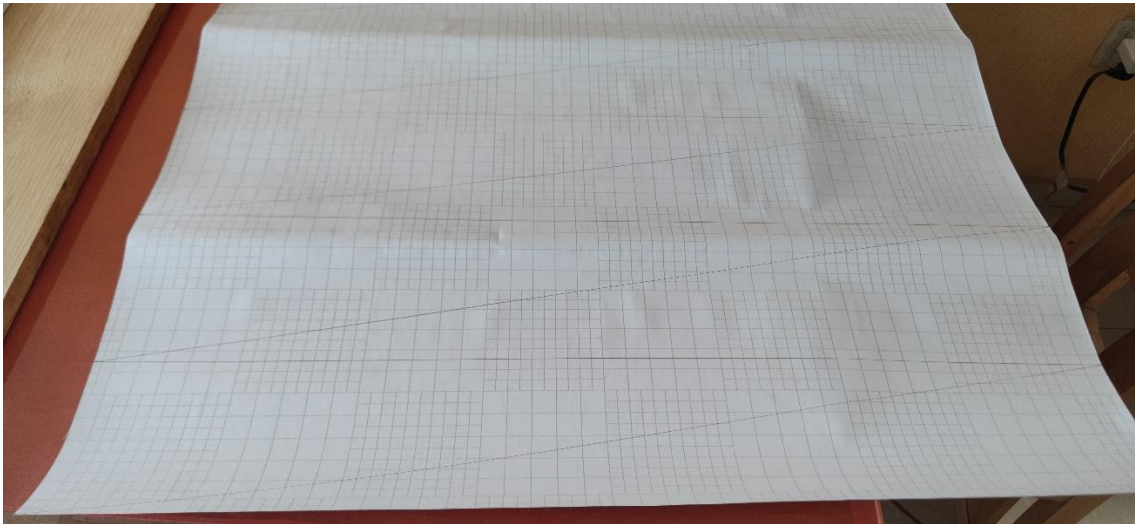


Figura 38- Trazos para el corte del material reflejante.

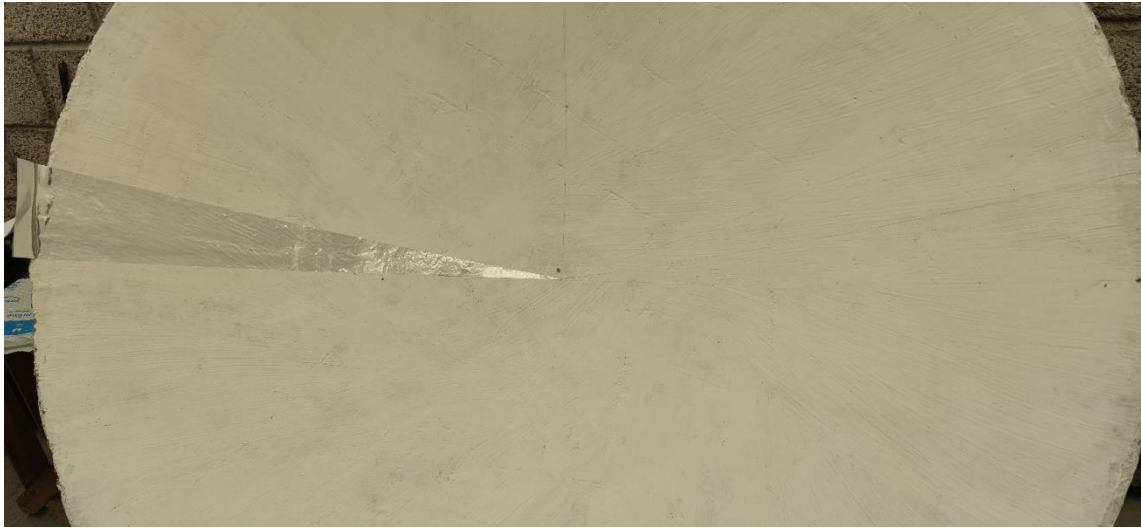


Figura 39- Aplicación del material reflejante.

Para la sujeción del colector se le soldó dos piezas de 6 cm con una tuerca de hexagonal estándar galvanizada de 5/8 de pulgada de perfil tubular que es el material del cual está hecha la estructura del dispositivo en el cual se introduce una barra circular de 5/8 de pulgada con una longitud de 20 cm para dos extremos opuestos del colector; lo anterior se puede observar en las figuras (39) y (40).



Figura 40- Tuerca de 5/8 de pulgada dentro del perfil tubular.

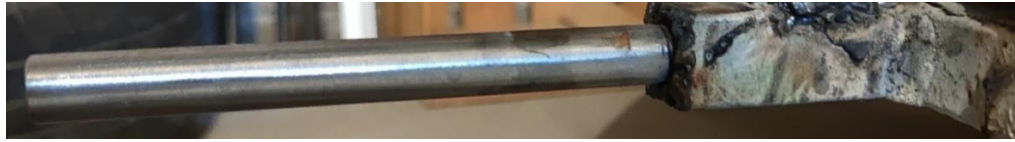


Figura 41- Pieza de sujeción del colector.

Para poder dar el movimiento de inclinación del colector se colocaron chumaceras de piso de 5/8 de pulgada, como se muestra en la figura (41).



Figura 42- Chumacera de piso de 5/8.

La base de la estructura tiene en la parte superior una longitud de 31 cm, en sus laterales 78 cm y la longitud de la pieza inferior de 71 cm, teniendo esta una altura de 83 cm; además de unas rodajas con freno con una altura de 7 cm, como se puede observar en la figura (42).



Figura 43- Base de la estructura.

La estructura tiene un ancho de 166 cm las cuales se fijan con tornillos de 12 mm soldada al interior de perfil, y un tornillo de 12 mm, como se observa en la figura (43).



Figura 44- Perfil de longitud 166 cm.

Para colocar la olla de cocción en el foco que se encuentra a 50 cm del vértice se soldó un perfil tubular en es cuadra con un ángulo de 90 grados con una altura de 24 cm y 56 cm en perpendicular a la altura, como se observa en la figura (44).



Figura 45- Pieza tubular para soporte de la olla de cocción.

Se coloca una rejilla circular como soporte de la olla de cocción, la cual tiene un diámetro de 39 cm de diámetro, como se puede observar en la figura (45).



Figura 46- Rejilla de soporte de la olla de cocción.

El movimiento de inclinación del colector se logra con las chumaceras y para poder mantener el ángulo se agregó una pieza tubular de 50 cm de largo con la inserción de una tuerca de 5/8 de pulgada para en el introducir una varilla roscada de 5/8 de pulgada, como se puede observar en las figuras (46) y (47).



Figura 47- Pieza tubular de 50 cm de longitud.



Figura 48- Varilla roscada de 5/8 de pulgada.

El resultado del dispositivo propuesto se muestra en las imágenes (48) y (49).



Figura 49- Vista frontal del dispositivo.



Figura 50- Vista lateral del dispositivo.

4.3 Diseño del protocolo de pruebas para la estufa solar de concentrador parabólico

El protocolo de pruebas propuesto se basa en lo establecido por la American Society of Agricultural and Biological Engineers (ASAE S580.1 NOV2013) [16] por sus siglas en inglés. En la cual se tomó en cuenta la temperatura de los alrededores de la estufa solar, la temperatura del agua dentro de la olla de pruebas, la radiación solar, velocidad del viento, la diferencia de entre la temperatura del agua y el medio ambiente, también se registra la potencia de cocción y la potencia estandarizada como lo estipula la norma; teniendo como resultado la tabla (2).

Tabla 2- Protocolo de Pruebas.

Protocolo de Prueba																
Lugar		La Vega Cardonal, Hidalgo.					Fecha		Masa_i		Masa_f					
Altitud		1946 msnm	Latitud	20.5945888°			Longitud	-(99.1331518)			Masa_p		C _v	4186 J/[kg**°C]		
		°C					W/m ²			m/s			W		°C	
Minutos	Hora	T _{a_i}	T _{a_f}	ΔT _a	T _{w_i}	T _{w_f}	ΔT _w	Rad_i	Rad_f	ΔRad	V _{v_i}	V _{v_f}	ΔV	P _i	P _s	T _d = T _w - T _a
0	10:00 - 10:10															
10	10:10 - 10:20															
20	10:20 - 10:30															
30	10:30 - 10:40															
40	10:40 - 10:50															
50	10:50 - 11:00															
60	11:00 - 11:10															
70	11:10 - 11:20															
80	11:20 - 11:30															
90	11:30 - 11:40															
100	11:40 - 11:50															
110	11:50 - 12:00															
120	12:00 - 12:10															
130	12:10 - 12:20															
140	12:20 - 12:30															
150	12:30 - 12:40															
160	12:40 - 12:50															
170	12:50 - 13:00															
180	13:00 - 13:10															
190	13:10 - 13:20															
200	13:20 - 13:30															
210	13:30 - 13:40															
220	13:40 - 13:50															
230	13:50 - 14:00															
240	14:00 - 14:10															

4.4 Instrumentos de medición

Para la realización de las pruebas se utilizó un multímetro marca Truper modelo MUT-39 con un termopar tipo k para medir la temperatura del agua en el interior de la olla de pruebas.

Para hacer la medición de la velocidad del viento y la temperatura ambiente se utilizó un anemómetro.

En cuanto a la medición de la radiación solar directa se utilizó un medidor de radiación solar directa SM206-SOLAR, los instrumentos de medición se observan en la figura (50).



Figura 51- Instrumentos de medición, medidor de radiación solar directa SM206-solar, anemómetro y multímetro Truper MUT-39.

4.5 Pruebas

Teniendo el prototipo de la estufa solar propuesta, se realizó la aplicación del material reflejante en el colector, el primer material aplicado fue vinil automotriz reflejante, el cual es autoadherible y de fácil aplicación.

Para el contenedor del agua se utilizó una olla de acero inoxidable la cual tiene un peso de 0.720 kg con un diámetro de 22.5 cm y una altura de 19 cm con una capacidad de 7.554 litros en la cual en su exterior se aplicó pintura Aero Comex negro mate resistente a altas temperaturas hasta 650°C como se observa en la figura (51).



Figura 52- Olla de cocción pintada con pintura resistente a altas temperaturas.

Comenzando las pruebas del prototipo de la estufa solar como se observa en las figuras (52) y (53) con el vinil automotriz como reflejante.



Figura 53- Comienzo de pruebas de la estufa solar.



Figura 54- Punto focal de la estufa solar debajo de la olla de cocción.

Se comenzó con las pruebas de la estufa solar con vinil reflejante para automóviles como material reflejante con una carga de 4 kg de agua por un periodo de cuatro horas, tomando lecturas de temperatura del agua, temperatura ambiente, velocidad del viento y radiación solar cada 10 minutos, dichas lecturas se registraron en el protocolo de pruebas, de donde:

T_{a_i} : temperatura ambiente inicial.

T_{a_f} : temperatura ambiente final.

ΔT_a : diferencia de temperatura ambiente.

T_{w_i} : temperatura del agua inicial.

T_{w_f} : temperatura del agua final.

ΔT_w : diferencia de temperatura del agua.

Rad_i : Radiación Solar inicial.

Rad_f : Radiación Solar final.

ΔRad : Promedio de la radiación Solar.

V_{v_i} : velocidad del viento inicial.

V_{v_f} : velocidad del viento final.

ΔV : diferencia de la velocidad del viento.

P_i : potencia de cocción en el intervalo.

P_s : potencia de cocción estandarizada.

T_d : diferencia de temperatura entre el agua y el ambiente.

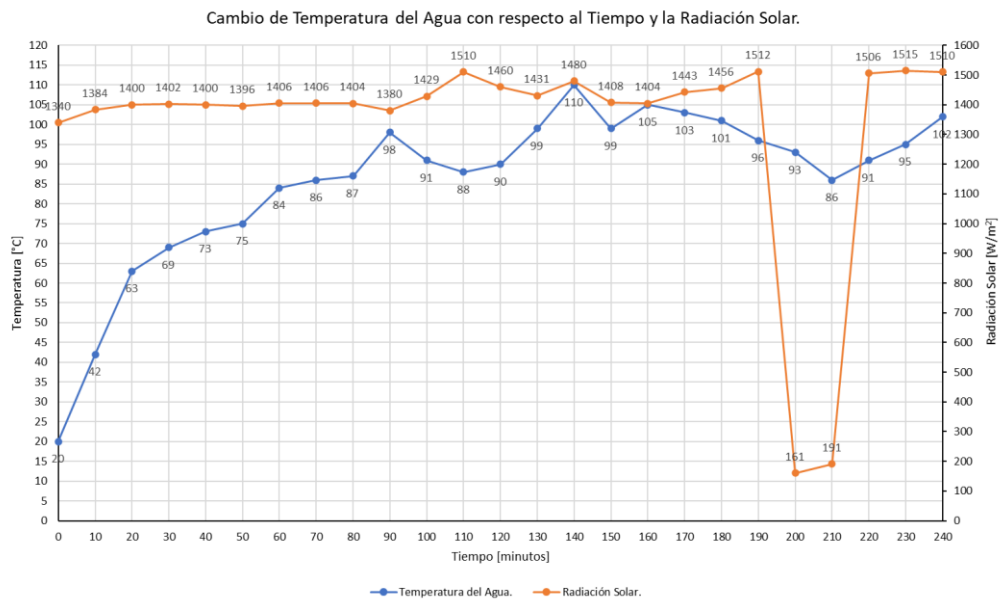
Diseño y valoración exergética de una estufa solar de alta eficiencia

La primera prueba fue el día 19 de mayo del 2021 en la localidad de La Vega Cardonal, Hidalgo; con una masa de agua inicial de 4 kg teniendo una pérdida de 1.615 kg durante la prueba, se obtuvieron los datos de la tabla (3).

Tabla 3- Datos obtenidos del día 19 de mayo del 2021.

Protocolo de Prueba (Vinil)																
Lugar		La Vega Cardonal, Hidalgo.				Fecha	19/05/2021			Masa i	4 kg		Masa f	2.385 kg		
Altitud		1946 msnm	Latitud	20.5945888°		Longitud	-(99.1331518)			Masa p	1.615 kg		C _v	4186 J/[kg**C]		
		°C				W/m ²			m/s			W		°C		
Minutos	Hora	T _{a_i}	T _{a_f}	ΔT _a	T _{w_i}	T _{w_f}	ΔT _w	Rad _i	Rad _f	ΔRad	V _{v_i}	V _{v_f}	ΔV	P _i	P _f	T _d = T _w - T _a
0	10:00 - 10:10	24	24	0	20	42	22	1340	1384	1362	0.8	0.9	0.1	613.9466667	315.5379344	18
10	10:10 - 10:20	24	24	0	42	63	21	1384	1400	1392	0.9	1.6	0.7	586.04	294.704023	39
20	10:20 - 10:30	24	25	1	63	69	6	1400	1402	1401	1.6	1.2	-0.4	167.44	83.66024268	44
30	10:30 - 10:40	25	25	0	69	73	4	1402	1400	1401	1.2	1	-0.2	111.6266667	55.77349512	48
40	10:40 - 10:50	25	26	1	73	75	2	1400	1396	1398	1	0.9	-0.1	55.81333333	27.94659037	49
50	10:50 - 11:00	26	26	0	75	84	9	1396	1406	1401	0.9	1.3	0.4	251.16	125.490364	58
60	11:00 - 11:10	26	25	-1	84	86	2	1406	1406	1406	1.3	1.7	0.4	55.81333333	27.78757705	61
70	11:10 - 11:20	25	25	0	86	87	1	1406	1404	1405	1.7	1	-0.7	27.90666667	13.90367734	62
80	11:20 - 11:30	25	26	1	87	98	11	1404	1380	1392	1	0	-1	306.9733333	154.3687739	72
90	11:30 - 11:40	26	26	0	98	91	-7	1380	1429	1404.5	0	1	1	-195.3466667	97.36038923	65
100	11:40 - 11:50	26	26	0	91	88	-3	1429	1510	1469.5	1	0	-1	-83.72	39.88023137	62
110	11:50 - 12:00	26	27	1	88	90	2	1510	1460	1485	0	1.2	1.2	55.81333333	26.30931538	63
120	12:00 - 12:10	27	27	0	90	99	9	1460	1431	1445.5	1.2	1.2	0	251.16	121.6271186	72
130	12:10 - 12:20	27	27	0	99	110	11	1431	1480	1455.5	1.2	1.7	0.5	306.9733333	147.6340318	83
140	12:20 - 12:30	27	28	1	110	99	-11	1480	1408	1444	1.7	1.3	-0.4	-306.9733333	148.8097876	71
150	12:30 - 12:40	28	28	0	99	105	6	1408	1404	1406	1.3	1.8	0.5	167.44	83.36273115	77
160	12:40 - 12:50	28	27	-1	105	103	-2	1404	1443	1423.5	1.8	1.7	-0.1	-55.81333333	27.44596651	76
170	12:50 - 13:00	27	28	1	103	101	-2	1443	1456	1449.5	1.7	1	-0.7	-55.81333333	26.95366218	73
180	13:00 - 13:10	28	28	0	101	96	-5	1456	1512	1484	1	1.3	0.3	-139.5333333	65.81761006	68
190	13:10 - 13:20	28	28	0	96	93	-3	1512	161	836.5	1.3	1.5	0.2	-83.72	70.05857741	65
200	13:20 - 13:30	28	28	0	93	86	-7	161	191	176	1.5	0.8	-0.7	-195.3466667	776.9469697	58
210	13:30 - 13:40	28	29	1	86	91	5	191	1506	848.5	0.8	1	0.2	139.5333333	115.1129444	62
220	13:40 - 13:50	29	29	0	91	95	4	1506	1515	1510.5	1	0.7	-0.3	111.6266667	51.73033212	66
230	13:50 - 14:00	29	30	1	95	102	7	1515	1510	1512.5	0.7	1.4	0.7	195.3466667	90.40837466	72
240	14:00 - 14:10	30	31	1	102	104	2	1510	1506	1508	1.4	1	-0.4	55.81333333	25.90804598	73

Graficando la evolución de la temperatura del agua con respecto al tiempo y la radiación solar de los datos obtenidos en la prueba se pueden observar en la gráfica (2).



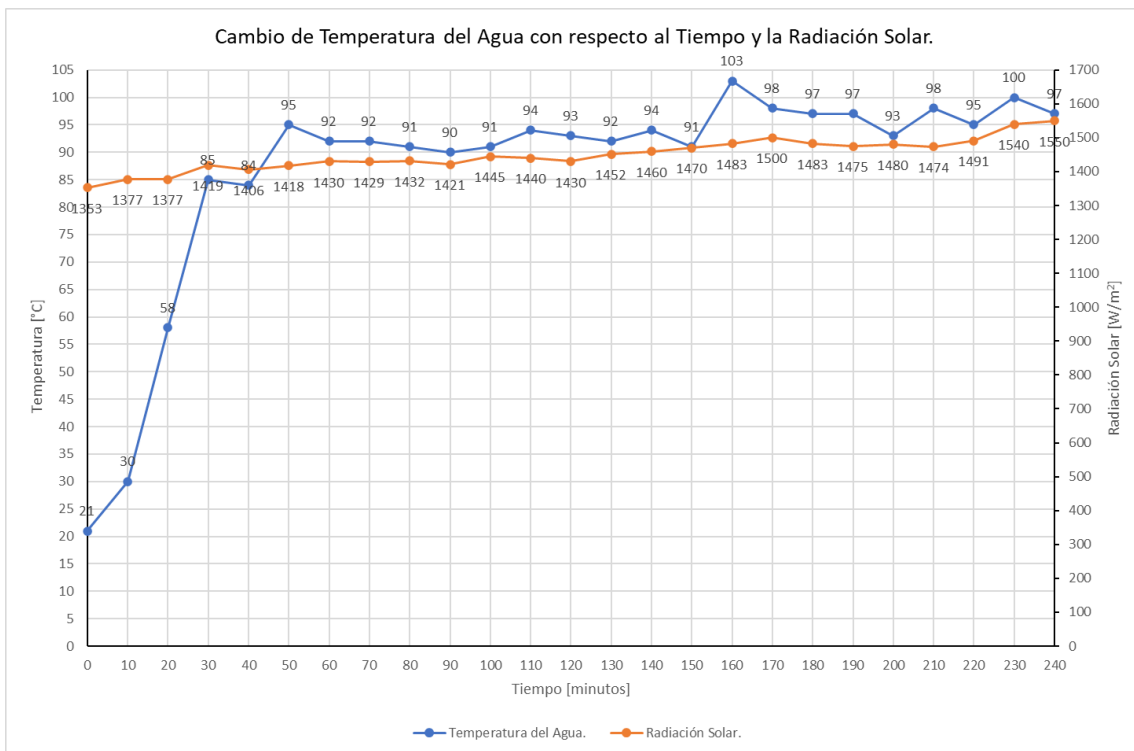
Gráfica 2- Cambio de la temperatura del agua con respecto al tiempo y radiación solar del día 19 de mayo del 2021.

La segunda prueba se realizó el día 20 de mayo del 2021, con una pérdida de 2.228 kg de agua durante la prueba, como se puede observar en la tabla (4).

Tabla 4- Datos obtenidos del día 20 de mayo del 2021.

Protocolo de Prueba (Vinil)																
Lugar		La Vega Cardonal, Hidalgo.				Fecha	20/05/2021		Masa_i	4 kg		Masa_f	1.772 kg			
Altitud		1946 msnm		Latitud	20.5945888°		Longitud	-99.1331518		Masa_p	2.228 kg		C _v	4186 J/(kg**C)		
		°C				W/m ²			m/s			W		°C		
Minutos	Hora	T _{a_i}	T _{a_f}	ΔT _a	T _{w_i}	T _{w_f}	ΔT _w	Rad _i	Rad _f	ΔRad	V _{v_i}	V _{v_f}	ΔV	P _i	P _s	T _d = T _w - T _a
0	10:00 - 10:10	20	20	0	21	30	9	1353	1377	1365	1.2	0.8	-0.4	251.16	128.8	10
10	10:10 - 10:20	20	20	0	30	58	28	1377	1377	1377	0.8	0.8	0	781.3866667	397.2190753	38
20	10:20 - 10:30	20	20	0	58	85	27	1377	1419	1398	0.8	1.1	0.3	753.48	377.27897	65
30	10:30 - 10:40	20	20	0	85	84	-1	1419	1406	1412.5	1.1	0	-1.1	-27.90666667	-13.82985251	64
40	10:40 - 10:50	20	20	0	84	95	11	1406	1418	1412	0	1	1	306.9733333	152.1822474	75
50	10:50 - 11:00	20	20	0	95	92	-3	1418	1430	1424	1	1.2	0.2	-83.72	-41.15449438	72
60	11:00 - 11:10	20	21	1	92	92	0	1430	1429	1429.5	1.2	0.8	-0.4	0	0	71
70	11:10 - 11:20	21	21	0	92	91	-1	1429	1432	1430.5	0.8	1.2	0.4	-27.90666667	-13.65583129	70
80	11:20 - 11:30	21	21	0	91	90	-1	1432	1421	1426.5	1.2	0.8	-0.4	-27.90666667	-13.69412315	69
90	11:30 - 11:40	21	22	1	90	91	1	1421	1445	1433	0.8	0.8	0	27.90666667	13.63200744	69
100	11:40 - 11:50	22	22	0	91	94	3	1445	1440	1442.5	0.8	0.7	-0.1	83.72	40.62668977	72
110	11:50 - 12:00	22	22	0	94	93	-1	1440	1440	1435	0.7	0.8	0.1	-27.90666667	-13.61300813	71
120	12:00 - 12:10	22	23	1	93	92	-1	1430	1452	1441	0.8	0.8	0	-27.90666667	-13.55632663	69
130	12:10 - 12:20	23	23	0	92	94	2	1452	1460	1456	0.8	1	0.2	55.81333333	26.83333333	71
140	12:20 - 12:30	23	24	1	94	91	-3	1460	1470	1465	1	1.2	0.2	-83.72	-40.00273038	67
150	12:30 - 12:40	24	24	0	91	103	12	1470	1483	1476.5	1.2	2	0.8	334.88	158.7646461	79
160	12:40 - 12:50	24	25	1	103	98	-5	1483	1500	1491.5	2	0.9	-1.1	-139.5333333	-65.48664655	73
170	12:50 - 13:00	25	25	0	98	97	-1	1500	1483	1491.5	0.9	1	0.1	-27.90666667	-13.09732931	72
180	13:00 - 13:10	25	26	1	97	97	0	1483	1475	1479	1	1.1	0.1	0	0	71
190	13:10 - 13:20	26	26	0	97	93	-4	1475	1480	1477.5	1.1	1.3	0.2	-111.6266667	-52.8857304	67
200	13:20 - 13:30	26	27	1	93	98	5	1480	1474	1477	1.3	0.8	-0.5	139.5333333	66.12954186	71
210	13:30 - 13:40	27	27	0	98	95	-3	1474	1491	1482.5	0.8	1.8	1	-83.72	-39.53052277	68
220	13:40 - 13:50	27	29	2	95	100	5	1491	1540	1515.5	1.8	1.3	-0.5	139.5333333	64.4495766	71
230	13:50 - 14:00	29	29	0	100	97	-3	1540	1550	1545	1.3	1	-0.3	-83.72	-37.93139159	68
240	14:00 - 14:10	29	29	0	97	98	1	1550	1520	1535	1	2	1	27.90666667	12.72616721	69

Realizando la gráfica de la evolución de la temperatura con respecto al tiempo y la radiación solar como se puede observar en la gráfica (3).



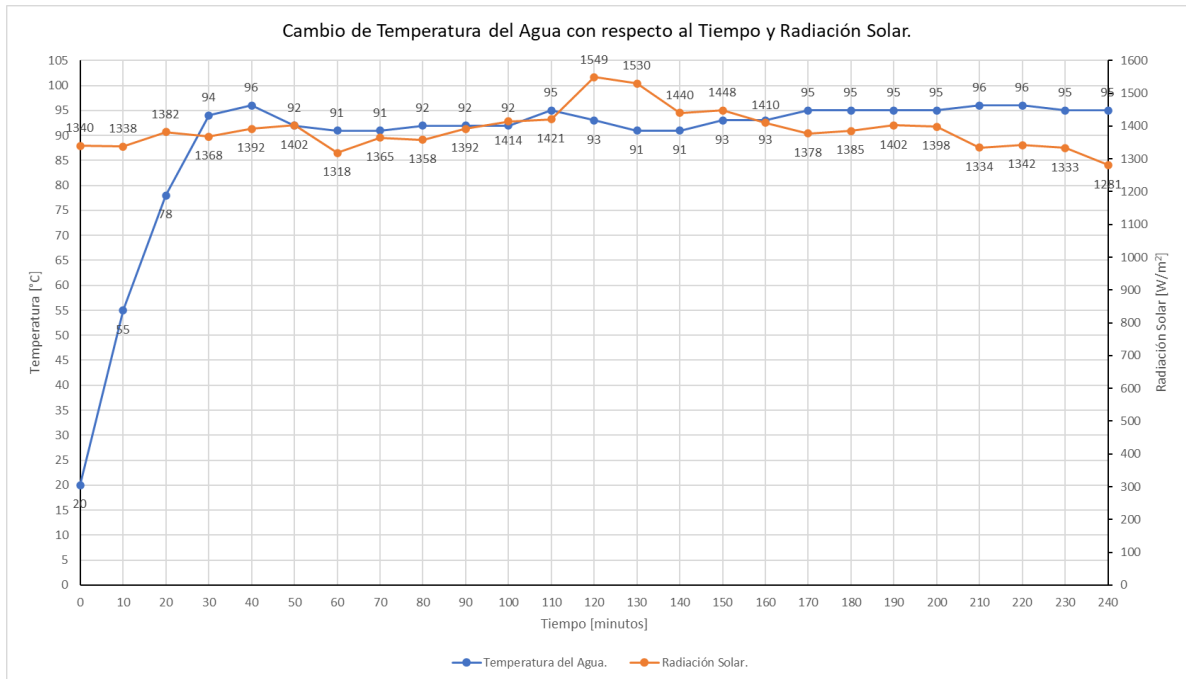
Gráfica 3- Cambio de la temperatura del agua con respecto al tiempo y radiación solar del día 20 de mayo del 2021.

Para la tercera prueba se realizó el día 27 de mayo de 2021, con una pérdida de 2.382 kg de agua durante la prueba como se puede observar en la tabla (5).

Tabla 5- Datos obtenidos del día 27 de mayo del 2021.

Protocolo de Prueba (Vinil)																			
Lugar			La Vega Cardonal, Hidalgo.			Fecha		27/05/2021		Masa_i	4 kg		Masa_f	1.618 kg					
Altitud			1946 msnm			Latitud		20.5945888°		Longitud		-(99.1331518)		Masa_p	2.382 kg		C _v	4186 J/(kg**C)	
			°C			W/m ²			m/s			W		°C					
Minutos	Hora	T _{a_i}	T _{a_f}	ΔT _a	T _{w_i}	T _{w_f}	ΔT _w	Rad _i	Rad _f	ΔRad	V _{v_i}	V _{v_f}	ΔV	P _i	P _f	T _d = T _w - T _a			
0	10:00 - 10:10	25	25	0	20	55	35	1340	1338	1339	0	1.5	1.5	976.7333333	510.6148867	30			
10	10:10 - 10:20	25	26	1	55	78	23	1338	1382	1360	1.5	0	-1.5	641.8533333	330.3656863	52			
20	10:20 - 10:30	26	26	0	78	94	16	1382	1368	1375	0	0	0	446.5066667	227.3124848	68			
30	10:30 - 10:40	26	27	1	94	96	2	1368	1392	1380	0	0	0	55.81333333	28.31111111	69			
40	10:40 - 10:50	27	27	0	96	92	-4	1392	1402	1397	0	0	0	-111.6266667	-55.93319017	65			
50	10:50 - 11:00	27	28	1	92	91	-1	1402	1318	1360	0	0	0	-27.90666667	-14.36372549	63			
60	11:00 - 11:10	28	28	0	91	91	0	1318	1365	1341.5	0	0	0	0	0	63			
70	11:10 - 11:20	28	28	0	91	92	1	1365	1358	1361.5	0	1.1	1.1	27.90666667	14.3479006	64			
80	11:20 - 11:30	28	29	1	92	92	0	1358	1392	1375	1.1	0.9	-0.2	0	0	63			
90	11:30 - 11:40	29	29	0	92	92	0	1392	1414	1403	0.9	1.7	0.8	0	0	63			
100	11:40 - 11:50	29	29	0	92	95	3	1414	1421	1417.5	1.7	0.9	-0.8	83.72	41.34320988	66			
110	11:50 - 12:00	29	29	0	95	93	-2	1421	1549	1485	0.9	1	0.1	-55.81333333	-26.30931538	64			
120	12:00 - 12:10	29	30	1	93	91	-2	1549	1530	1539.5	1	0	-1	-55.81333333	-25.37793656	61			
130	12:10 - 12:20	30	30	0	91	91	0	1530	1440	1485	0	0.7	0.7	0	0	61			
140	12:20 - 12:30	30	31	1	91	93	2	1440	1448	1444	0.7	0.9	0.2	55.81333333	27.05632502	62			
150	12:30 - 12:40	31	31	0	93	93	0	1448	1410	1429	0.9	1.2	0.3	0	0	62			
160	12:40 - 12:50	31	31	0	93	95	2	1410	1378	1394	1.2	1.2	0	55.81333333	28.02678144	64			
170	12:50 - 13:00	31	31	0	95	95	0	1378	1385	1381.5	1.2	0.8	-0.4	0	0	64			
180	13:00 - 13:10	31	31	0	95	95	0	1385	1402	1393.5	0.8	0.8	0	0	0	64			
190	13:10 - 13:20	31	31	0	95	95	0	1402	1398	1400	0.8	1.5	0.7	0	0	64			
200	13:20 - 13:30	31	31	0	95	96	1	1398	1334	1366	1.5	1.2	-0.3	27.90666667	14.30063446	65			
210	13:30 - 13:40	31	31	0	96	96	0	1334	1342	1338	1.2	1	-0.2	0	0	65			
220	13:40 - 13:50	31	31	0	96	95	-1	1342	1333	1337.5	1	1	0	-27.90666667	-14.60535826	64			
230	13:50 - 14:00	31	31	0	95	95	0	1333	1281	1307	1	1.6	0.6	0	0	64			
240	14:00 - 14:10	31	30	-1	95	96	1	1281	1332	1306.5	1.6	1.6	0	27.90666667	14.95190713	66			

Graficando la evolución de la temperatura del agua con respecto al tiempo y la radiación solar, se observa en la gráfica (4).



Gráfica 4- Cambio de la temperatura del agua con respecto al tiempo y radiación solar del día 27 de mayo del 2021.

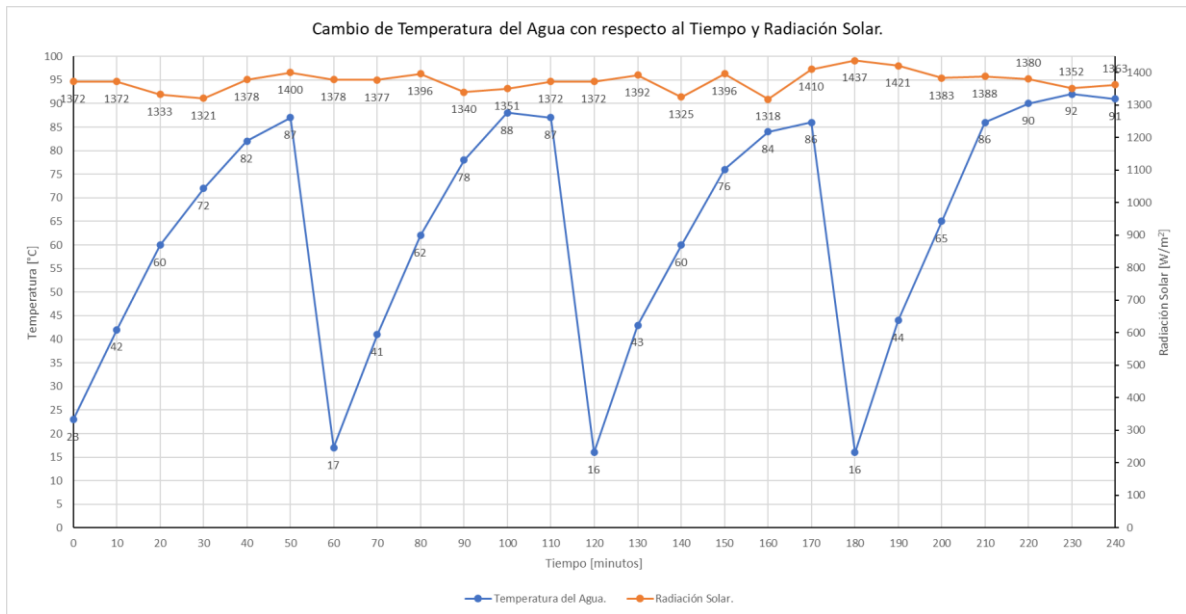
Diseño y valoración exergética de una estufa solar de alta eficiencia

En el siguiente registro de prueba que se realizó el día 28 de mayo de 2021, se tomó en cuenta dos ollas para la prueba en las cuales se cargó 4 kg de agua y se cambió cada hora y se observó el siguiente comportamiento de la temperatura del agua y la pérdida de esta misma en la tabla (6).

Tabla 6- Datos obtenidos del día 28 de mayo del 2021.

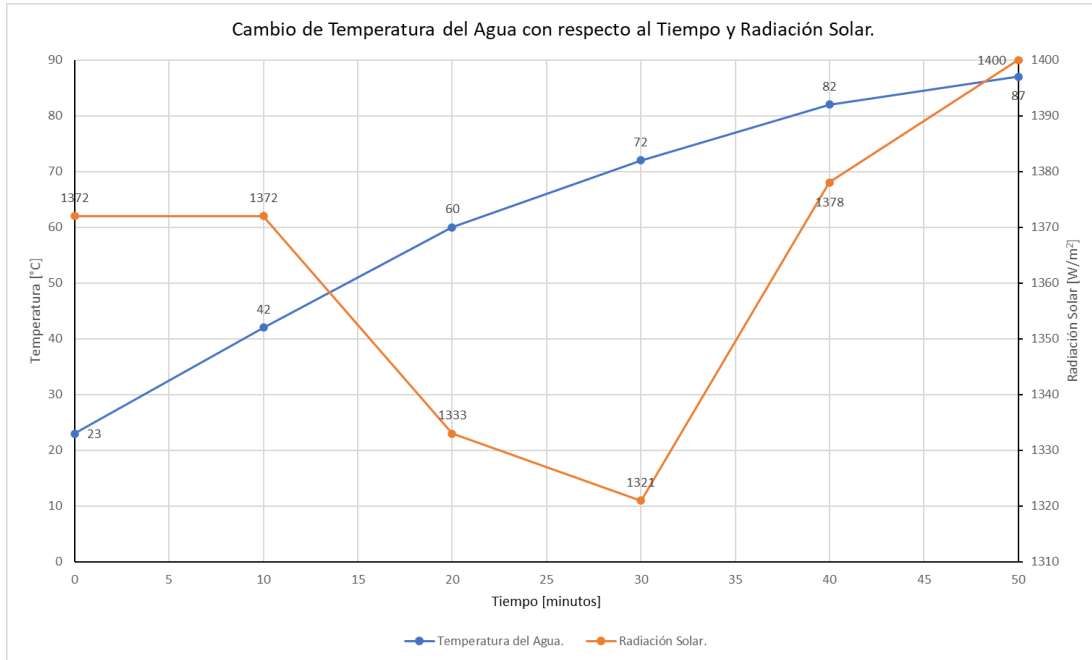
Protocolo de Prueba (Vinil)																
Lugar		La Vega Cardonal, Hidalgo.				Fecha	28/05/2021			Masa i	4 kg		Masa f	1.618 kg		
Altitud		1946 msnm		Latitud	20.5945888°		Longitud	-(99.1331518)			Masa p	2.382 kg		C _v	4186 J/[kg**C]	
		°C						W/m ²			m/s			W		°C
Minutos	Hora	T _{a i}	T _{a f}	ΔT _a	T _{w i}	T _{w f}	ΔT _w	Rad i	Rad f	ΔRad	V _{v i}	V _{v f}	ΔV	P _i	P _f	T _d = T _w - T _a
0	10:00 - 10:10	24	25	1	23	42	19	1372	1372	1372	0	0	0	530.2266667	270.5238095	17
10	10:10 - 10:20	25	25	0	42	60	18	1372	1333	1352.5	0	0	0	502.32	259.9807763	35
20	10:20 - 10:30	25	25	0	60	72	12	1333	1321	1327	0	0.8	0.8	334.88	176.6510927	47
30	10:30 - 10:40	25	25	0	72	82	10	1321	1378	1349.5	0.8	0	-0.8	279.0666667	144.7548475	57
40	10:40 - 10:50	25	26	1	82	87	5	1378	1400	1389	0	0.8	0.8	139.5333333	70.31917447	61
50	10:50 - 11:00	26	26	0	87	88	1	1400	1378	1389	0.8	0	-0.8	27.90666667	14.06383489	62
60	11:00 - 11:10	26	26	0	17	41	24	1378	1377	1377.5	0	0	0	669.76	340.3499093	15
70	11:10 - 11:20	26	26	0	41	62	21	1377	1396	1386.5	0	1.1	1.1	586.04	295.8730617	36
80	11:20 - 11:30	26	27	1	62	78	16	1396	1340	1368	1.1	0.8	-0.3	446.5066667	228.4756335	51
90	11:30 - 11:40	27	27	0	78	88	10	1340	1351	1345.5	0.8	0.8	0	279.0666667	145.1851852	61
100	11:40 - 11:50	27	27	0	88	87	-1	1351	1372	1361.5	0.8	0.8	0	-27.90666667	-14.3479006	60
110	11:50 - 12:00	27	27	0	87	87	0	1372	1372	1372	0.8	0.7	-0.1	0	0	60
120	12:00 - 12:10	27	28	1	16	43	27	1372	1392	1382	0.7	0.8	0.1	753.48	381.6468886	15
130	12:10 - 12:20	28	28	0	43	60	17	1392	1325	1358.5	0.8	0.4	-0.4	474.4133333	244.4529506	32
140	12:20 - 12:30	28	28	0	60	76	16	1325	1396	1360.5	0.4	0.7	0.3	446.5066667	229.7351464	48
150	12:30 - 12:40	28	29	1	76	84	8	1396	1318	1357	0.7	0	-0.7	223.2533333	115.1638418	55
160	12:40 - 12:50	29	29	0	84	86	2	1318	1410	1364	0	0	0	55.81333333	28.64320626	57
170	12:50 - 13:00	29	29	0	86	86	0	1410	1437	1423.5	0	0	0	0	0	57
180	13:00 - 13:10	29	30	1	16	44	28	1437	1421	1429	0	1.4	1.4	781.3866667	382.7646373	14
190	13:10 - 13:20	30	30	0	44	65	21	1421	1383	1402	1.4	1.1	-0.3	586.04	292.6019971	35
200	13:20 - 13:30	30	30	0	65	86	21	1383	1388	1385.5	1.1	1.2	0.1	586.04	296.0866113	56
210	13:30 - 13:40	30	30	0	86	90	4	1388	1380	1384	1.2	1.2	0	111.6266667	56.45857418	60
220	13:40 - 13:50	30	31	1	90	92	2	1380	1352	1366	1.2	0.8	-0.4	55.81333333	28.60126891	61
230	13:50 - 14:00	31	31	0	92	91	-1	1352	1363	1357.5	0.8	1	0.2	-27.90666667	-14.39017802	60
240	14:00 - 14:10	31	31	0	91	91	0	1363	1368	1365.5	1	0.8	-0.2	0	0	60

Graficando la evolución de la temperatura del agua con el cambio de ollas cada hora se puede observar en la siguiente gráfica. Mas adelante se muestra las gráficas de cada hora en el cambio de las ollas, junto las pérdidas de masa del agua como se muestra en la gráfica (5).



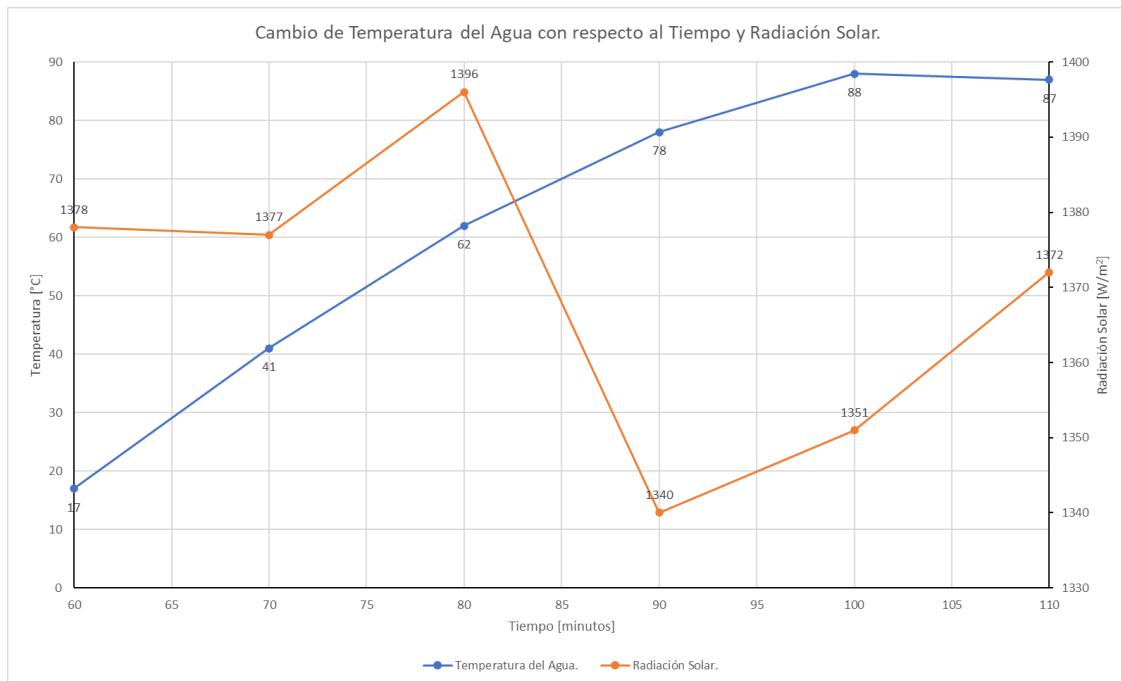
Gráfica 5-Cambio de la temperatura del agua con respecto al tiempo y radiación solar del día 28 de mayo del 2021.

En la primera hora de prueba con la olla 1 se tuvo una pérdida de 0.287 kg y una temperatura máxima de 87 °C como se puede observar en la siguiente gráfica.



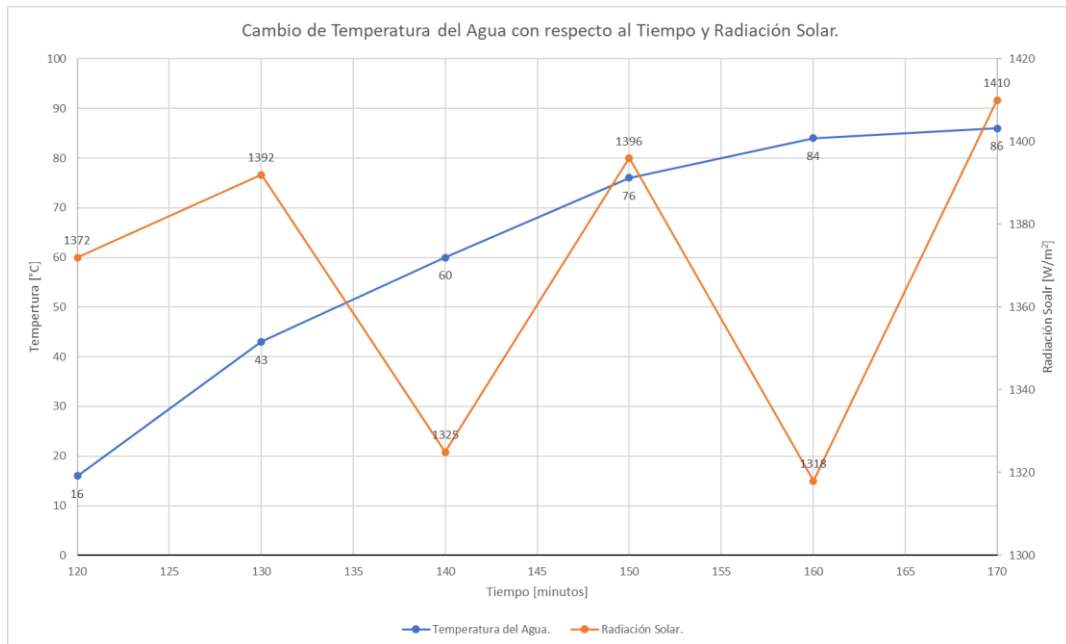
Gráfica 6- Cambio de la temperatura del agua con respecto al tiempo y radiación solar del día 28 de mayo del 2021, en la primera hora.

En la segunda hora de la prueba con la olla 2 se tuvo una pérdida de 0.423 kg comenzando en el minuto 60 hasta el minuto 120, como se puede observar en la gráfica (7).



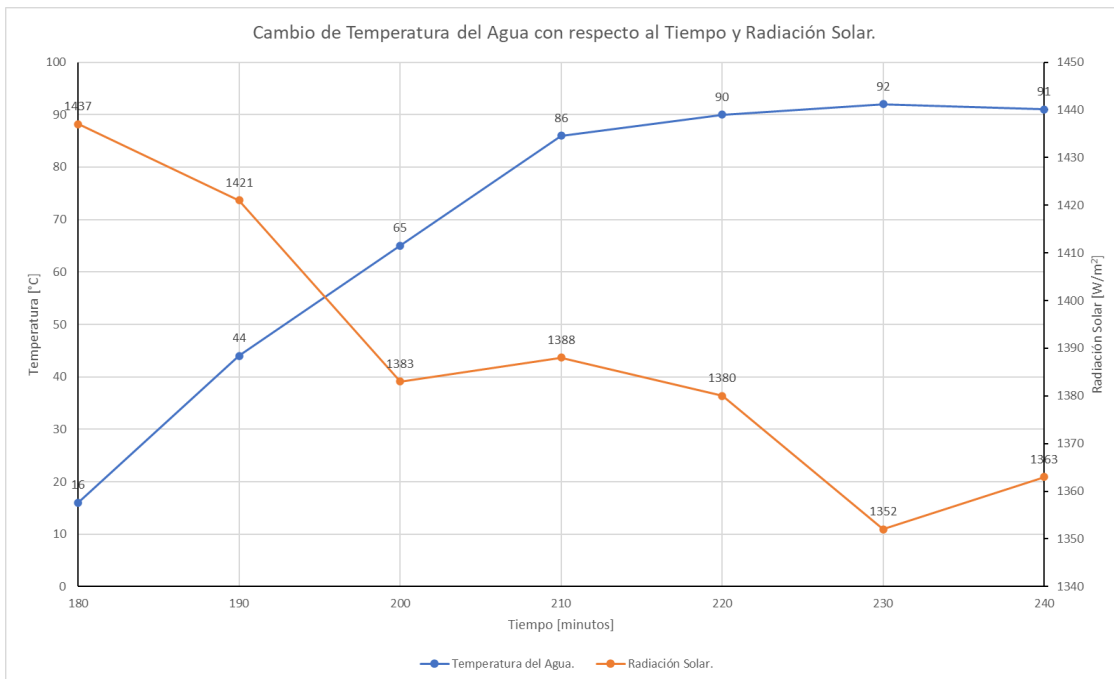
Gráfica 7- Cambio de la temperatura del agua con respecto al tiempo y radiación solar del día 28 de mayo del 2021, en la segunda hora.

Para la tercera hora de prueba se hace nuevamente con la olla 1 teniendo de inicio los 4 kg de agua con una pérdida de 0.576 kg al final de la hora de prueba lo cual se observa en la siguiente gráfica.



Gráfica 8- Cambio de la temperatura del agua con respecto al tiempo y radiación solar del día 28 de mayo del 2021, en la tercera hora.

En la última hora de la prueba se realizó con la olla 2 con los 4 kg de agua en su comienzo teniendo una pérdida al final de la hora de 0.430 kg con un comportamiento de la temperatura del agua como se puede observar en la gráfica (9).



Gráfica 9-Cambio de la temperatura del agua con respecto al tiempo y radiación solar del día 28 de mayo del 2021, en la cuarta hora.

Se realizó el cambio del material reflejante en el colector, en el cual se instaló papel Mylar reflejante fijándolo con Resistol que en su aplicación no queda en su totalidad plano teniendo irregularidades favoreciendo la pérdida de rayos reflejados hacia el foco, como podemos observar en las imágenes (54) y (55).

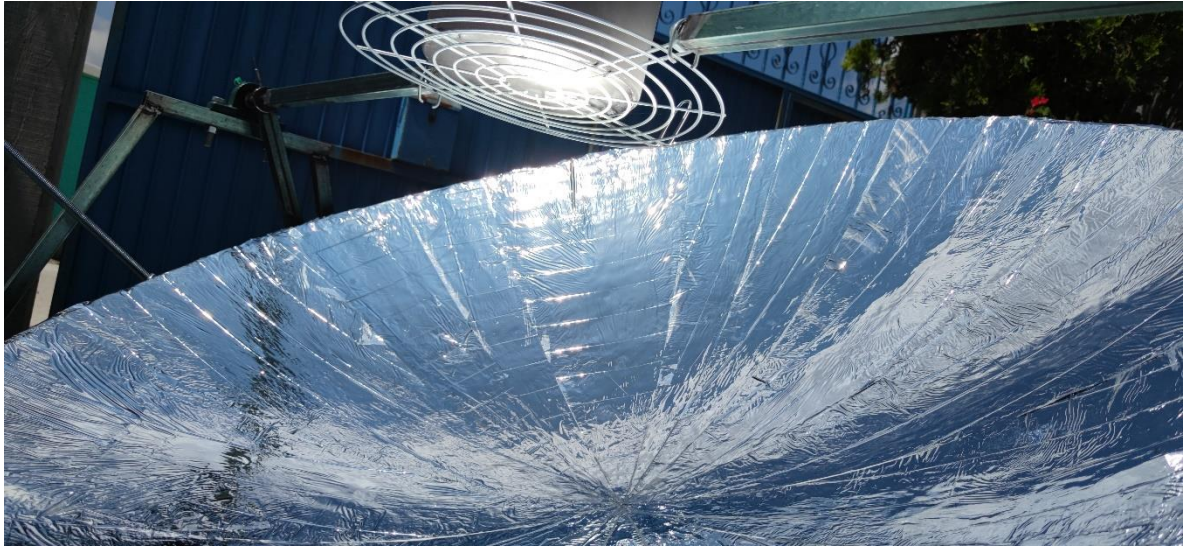


Figura 55- Aplicación de papel Mylar como material reflejante.



Figura 56- Comienzo de las pruebas con el papel Mylar como material reflejante.

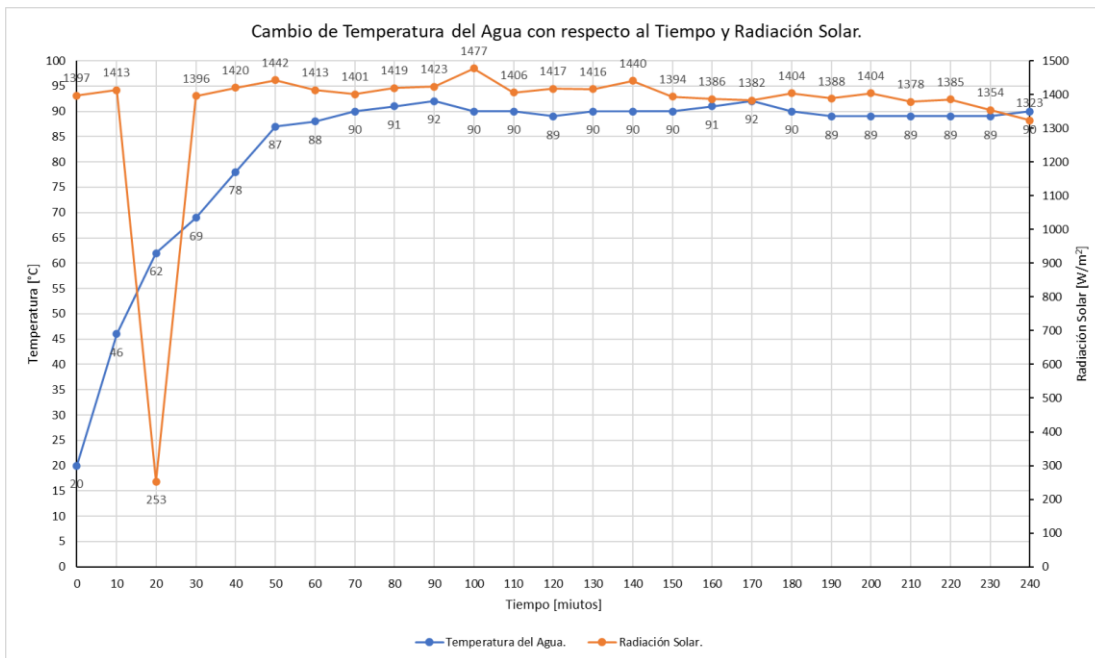
Diseño y valoración exergética de una estufa solar de alta eficiencia

Se realizó la primera prueba con papel Mylar el día 09 de junio del 2021 comenzando con los 4 kg de agua para el término de la prueba con 2.434 kg con una pérdida de 1.566 kg obteniendo el siguiente comportamiento de la temperatura del agua como se puede observar en la tabla (7).

Tabla 7- Datos obtenidos del día 09 de junio del 2021.

Protocolo de Prueba (Mylar)																
Lugar		La Vega Cardonal, Hidalgo.				Fecha	09/06/2021			Masa i	4 kg		Masa f	2.434 kg		
Altitud		1946 msnm		Latitud	20.5945888°		Longitud	-(99.1331518)			Masa p	1.566 kg		C _v	4186 J/(kg**C)	
		°C						W/m ²			m/s			W		°C
Minutos	Hora	T _{a_i}	T _{a_f}	ΔT _a	T _{w_i}	T _{w_f}	ΔT _w	Rad _i	Rad _f	ΔRad	V _{v_i}	V _{v_f}	ΔV	P _i	P _f	T _a = T _w - T _s
0	10:00 - 10:10	25	25	0	20	46	26	1397	1413	1405	0.1	0.1	0	725.5733333	361.4956109	21
10	10:10 - 10:20	25	26	1	46	62	16	1413	253	833	0.1	0	-0.1	446.5066667	375.2156863	36
20	10:20 - 10:30	26	26	0	62	69	7	253	1396	824.5	0	1.3	1.3	195.3466667	165.8492015	43
30	10:30 - 10:40	26	27	1	69	78	9	1396	1420	1408	1.3	0.7	-0.6	251.16	124.8664773	51
40	10:40 - 10:50	27	27	0	78	87	9	1420	1442	1431	0.7	0.4	-0.3	251.16	122.8595388	60
50	10:50 - 11:00	27	27	0	87	88	1	1442	1413	1427.5	0.4	0.9	0.5	27.9066667	13.68453006	61
60	11:00 - 11:10	27	28	1	88	90	2	1413	1401	1407	0.9	0.8	-0.1	55.81333333	27.76782753	62
70	11:10 - 11:20	28	28	0	90	91	1	1401	1419	1410	0.8	1.2	0.4	27.9066667	13.85437352	63
80	11:20 - 11:30	28	28	0	91	92	1	1419	1423	1421	1.2	0.7	-0.5	27.9066667	13.74712644	64
90	11:30 - 11:40	28	28	0	92	90	-2	1423	1477	1450	0.7	1.2	0.5	-55.81333333	-26.94436782	62
100	11:40 - 11:50	28	28	0	90	90	0	1477	1406	1441.5	1.2	0.7	-0.5	0	0	62
110	11:50 - 12:00	28	28	0	90	89	-1	1406	1417	1411.5	0.7	1.8	1.1	-27.9066667	-13.83965049	61
120	12:00 - 12:10	28	29	1	89	90	1	1417	1416	1416.5	1.8	0	-1.8	27.9066667	13.79079892	61
130	12:10 - 12:20	29	29	0	90	90	0	1416	1440	1428	0	0.8	0.8	0	0	61
140	12:20 - 12:30	29	29	0	90	90	0	1440	1394	1417	0.8	0	-0.8	0	0	61
150	12:30 - 12:40	29	29	0	90	91	1	1394	1386	1390	0	1.6	1.6	27.9066667	14.05371703	62
160	12:40 - 12:50	29	29	0	91	92	1	1386	1382	1384	1.6	0.9	-0.7	27.9066667	14.11464355	63
170	12:50 - 13:00	29	29	0	92	90	-2	1382	1404	1393	0.9	1.5	0.6	-55.81333333	-28.04690117	61
180	13:00 - 13:10	29	29	0	90	89	-1	1404	1388	1396	1.5	0.8	-0.7	-27.9066667	-13.99331423	60
190	13:10 - 13:20	29	30	1	89	89	0	1388	1404	1396	0.8	0.8	0	0	0	59
200	13:20 - 13:30	30	30	0	89	89	0	1404	1378	1391	0.8	0.8	0	0	0	59
210	13:30 - 13:40	30	30	0	89	89	0	1378	1385	1381.5	0.8	1.2	0.4	0	0	59
220	13:40 - 13:50	30	30	0	89	89	0	1385	1354	1369.5	1.2	1.2	0	0	0	59
230	13:50 - 14:00	30	30	0	89	90	1	1354	1323	1338.5	1.2	1	-0.2	27.9066667	14.59444652	60
240	14:00 - 14:10	30	30	0	90	90	0	1323	1350	1336.5	1	1	0	0	0	60

De los resultados obtenidos de la prueba se puede observar el cambio de la temperatura del agua en la gráfica (10).



Gráfica 10- Cambio de la temperatura del agua con respecto al tiempo y radiación solar del día 9 de junio del 2021.

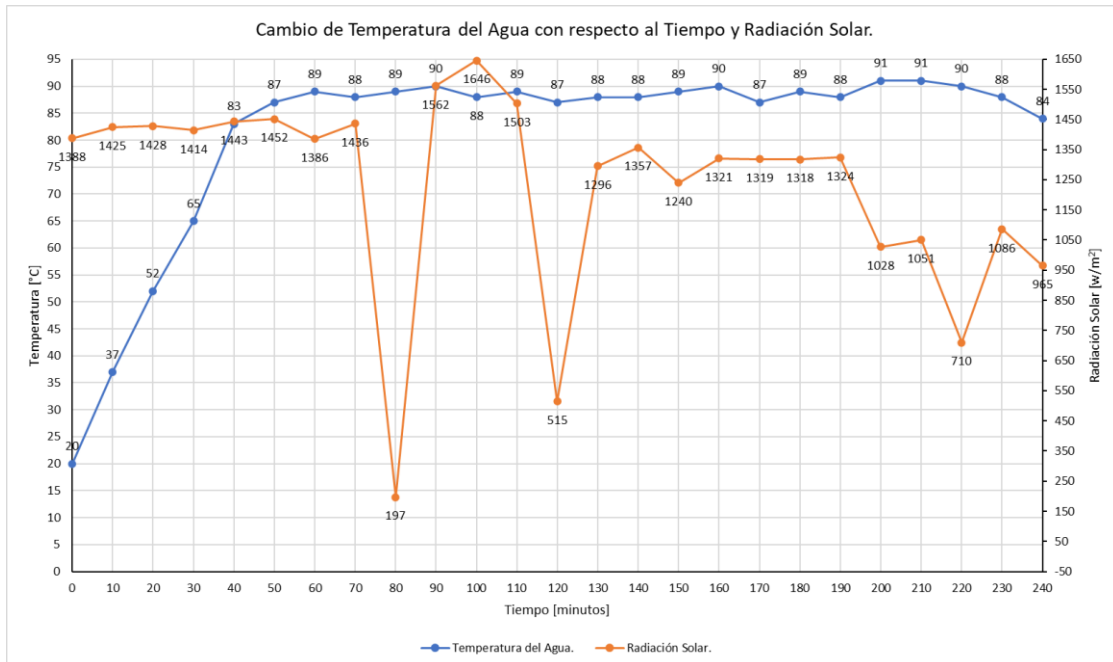
Diseño y valoración exergética de una estufa solar de alta eficiencia

En el segundo día de pruebas 10 de junio del 2021 con el papel Mylar en su comienzo con 4 kg de agua y al término con una masa de 2.830 kg teniendo una pérdida de 1.170 kg, obteniendo el siguiente comportamiento de la temperatura del agua como se puede observar en la tabla (8).

Tabla 8- Datos obtenidos del día 10 de junio del 2021.

Protocolo de Prueba (Mylar)																			
Lugar		La Vega Cardonal, Hidalgo.				Fecha		10/06/2021		Masa_i		4 kg		Masa_f		2.830 kg			
Altitud		1946 msnm		Latitud		20.5945888°		Longitud		(-99.1331518)		Masa_p		1.170 kg		C _v		4186 J/[kg*°C]	
		°C						W/m ²			m/s			W		°C			
Minutos	Hora	T _{a_i}	T _{a_f}	ΔT _a	T _{w_i}	T _{w_f}	ΔT _w	Rad_i	Rad_f	ΔRad	V _{v_i}	V _{v_f}	ΔV	P _i	P _s	T _d = T _w - T _a			
0	10:00 - 10:10	23	23	0	20	37	17	1388	1425	1406.5	0.8	0.8	0	474.4133333	236.1104396	14			
10	10:10 - 10:20	23	23	0	37	52	15	1425	1428	1426.5	0.8	0.9	0.1	418.6	205.4118472	29			
20	10:20 - 10:30	23	23	0	52	65	13	1428	1414	1421	0.9	1.1	0.2	362.7866667	178.7126437	42			
30	10:30 - 10:40	23	24	1	65	83	18	1414	1443	1428.5	1.1	1.2	0.1	502.32	246.1491075	59			
40	10:40 - 10:50	24	24	0	83	87	4	1443	1452	1447.5	1.2	1	-0.2	111.6266667	53.98180771	63			
50	10:50 - 11:00	24	25	1	87	89	2	1452	1386	1419	1	1.4	0.4	55.81333333	27.53300446	64			
60	11:00 - 11:10	25	25	0	89	88	-1	1386	1436	1411	1.4	1.4	0	-27.90666667	-13.84455469	63			
70	11:10 - 11:20	25	25	0	88	89	1	1436	197	816.5	1.4	1.2	-0.2	27.90666667	23.92488263	64			
80	11:20 - 11:30	25	24	-1	89	90	1	197	1562	879.5	1.2	1.5	0.3	27.90666667	22.21110479	66			
90	11:30 - 11:40	24	25	1	90	88	-2	1562	1646	1604	1.5	0.8	-0.7	-55.81333333	-24.35743973	63			
100	11:40 - 11:50	25	25	0	88	89	1	1646	1503	1574.5	0.8	1.4	0.6	27.90666667	12.40690166	64			
110	11:50 - 12:00	25	26	1	89	87	-2	1503	515	1009	1.4	1.2	-0.2	-55.81333333	-38.72084572	61			
120	12:00 - 12:10	26	26	0	87	88	1	515	1296	905.5	1.2	0.9	-0.3	27.90666667	21.57334806	62			
130	12:10 - 12:20	26	27	1	88	88	0	1296	1357	1326.5	0.9	0	-0.9	0	0	61			
140	12:20 - 12:30	27	27	0	88	89	1	1357	1240	1298.5	0	1.1	1.1	27.90666667	15.04402516	62			
150	12:30 - 12:40	27	27	0	89	89	1	1240	1321	1280.5	1.1	0	-1.1	27.90666667	15.2549915	63			
160	12:40 - 12:50	27	28	1	90	87	-3	1321	1319	1320	0	0.8	0.8	-83.72	-44.3969697	59			
170	12:50 - 13:00	28	28	0	87	89	2	1319	1318	1318.5	0.8	1.3	0.5	55.81333333	29.63165213	61			
180	13:00 - 13:10	28	28	0	89	88	-1	1318	1324	1321	1.3	1.4	0.1	-27.90666667	-14.78778703	60			
190	13:10 - 13:20	28	27	-1	88	91	3	1324	1028	1176	1.4	1.5	0.1	83.72	49.83333333	64			
200	13:20 - 13:30	27	27	0	91	91	0	1028	1051	1039.5	1.5	1.6	0.1	0	0	64			
210	13:30 - 13:40	27	27	0	91	90	-1	1051	710	880.5	1.6	1.4	-0.2	-27.90666667	-22.18587924	63			
220	13:40 - 13:50	27	27	0	90	88	-2	710	1086	898	1.4	1.6	0.2	-55.81333333	-43.50705271	61			
230	13:50 - 14:00	27	27	0	88	84	-4	1086	965	1025.5	1.6	1.3	-0.3	-111.6266667	-76.19567691	57			
240	14:00 - 14:10	27		-27	84		-84	965		482.5	1.3		-1.3	-2344.16	-3400.853886	0			

Graficando los resultados obtenidos en el cual se muestra el cambio de la temperatura del agua se observan en la gráfica (11).



Gráfica 11- Cambio de la temperatura del agua con respecto al tiempo y radiación solar del día 10 de junio del 2021.

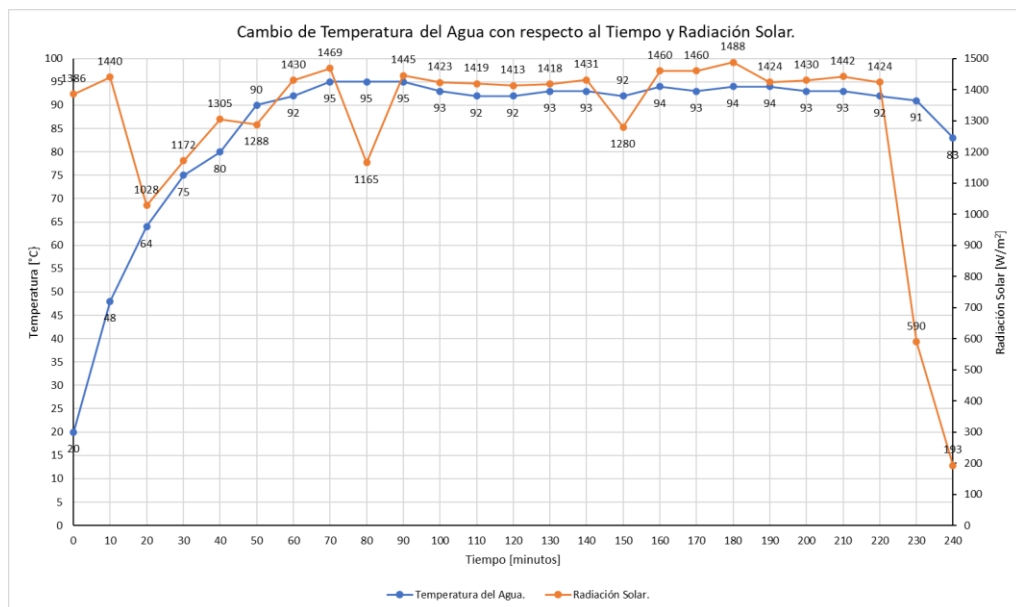
Diseño y valoración exergética de una estufa solar de alta eficiencia

En el tercer día de pruebas se realizó el día 25 de junio del 2021, por las condiciones climatológicas se suspendieron algunos días, comenzando con la carga inicial de 4 kg de agua y teniendo una masa final de 2.226 kg con una pérdida de 1.774 kg de masa de agua, obteniendo el siguiente comportamiento de la temperatura del agua como se puede observar en la tabla (9).

Tabla 9-Datos obtenidos del día 25 de junio del 2021.

Protocolo de Prueba (Mylar)																
Lugar		La Vega Cardonal, Hidalgo.				Fecha	25/06/2021		Masa_i	4 kg		Masa_f	2.226 kg			
Altitud		1946 msnm		Latitud	20.5945888°		Longitud	-99.1331518		Masa_p	1.774 kg		C _p	4186 J/(kg*°C)		
		°C						W/m ²			m/s		W		°C	
Minutos	Hora	T _{a_i}	T _{a_f}	ΔT _a	T _{w_i}	T _{w_f}	ΔT _w	Rad _i	Rad _f	ΔRad	V _{v_i}	V _{v_f}	ΔV	P _i	P _f	T _d = T _w - T _a
0	10:00 - 10:10	20	20	0	20	48	28	1386	1440	1413	1.4	1	-0.4	781.3866667	387.0988441	28
10	10:10 - 10:20	20	20	0	48	64	16	1440	1028	1234	1	0.8	-0.2	446.5066667	253.2857915	44
20	10:20 - 10:30	20	20	0	64	75	11	1028	1172	1100	0.8	0.8	0	306.9733333	195.3466667	55
30	10:30 - 10:40	20	20	0	75	80	5	1172	1305	1238.5	0.8	1	0.2	139.5333333	78.86421747	60
40	10:40 - 10:50	20	20	0	80	90	10	1305	1288	1296.5	1	1.6	0.6	279.0666667	150.6723229	70
50	10:50 - 11:00	20	21	1	90	92	2	1288	1430	1359	1.6	1.2	-0.4	55.81333333	28.74858965	71
60	11:00 - 11:10	21	21	0	92	95	3	1430	1469	1449.5	1.2	1.2	0	83.72	40.43049327	74
70	11:10 - 11:20	21	21	0	95	95	0	1469	1165	1317	1.2	1.3	0.1	0	0	74
80	11:20 - 11:30	21	21	0	95	95	0	1165	1445	1305	1.3	0.8	-0.5	0	0	74
90	11:30 - 11:40	21	22	1	95	93	-2	1445	1423	1434	0.8	0.8	0	-55.81333333	-27.24500232	71
100	11:40 - 11:50	22	22	0	93	92	-1	1423	1419	1421	0.8	1.5	0.7	-27.90666667	-13.74712644	70
110	11:50 - 12:00	22	22	0	92	92	0	1419	1413	1416	1.5	0.9	-0.6	0	0	70
120	12:00 - 12:10	22	22	0	92	93	1	1413	1418	1415.5	0.9	1.1	0.2	27.90666667	13.80054162	71
130	12:10 - 12:20	22	23	1	93	93	0	1418	1431	1424.5	1.1	1.5	0.4	0	0	70
140	12:20 - 12:30	23	23	0	93	92	-1	1431	1280	1355.5	1.5	0.8	-0.7	-27.90666667	-14.4114103	69
150	12:30 - 12:40	23	23	0	92	94	2	1280	1460	1370	0.8	1.5	0.7	55.81333333	28.51776156	71
160	12:40 - 12:50	23	23	0	94	93	-1	1460	1460	1460	1.5	1.2	-0.3	-27.90666667	-13.37990868	70
170	12:50 - 13:00	23	24	1	93	94	1	1460	1488	1474	1.2	1.2	0	27.90666667	13.25282678	70
180	13:00 - 13:10	24	24	0	94	94	0	1488	1424	1456	1.2	1.8	0.6	0	0	70
190	13:10 - 13:20	24	24	0	94	93	-1	1424	1430	1427	1.8	2	0.2	-27.90666667	-13.68932492	69
200	13:20 - 13:30	24	24	0	93	93	0	1430	1442	1436	2	1	-1	0	0	69
210	13:30 - 13:40	24	24	0	93	92	-1	1442	1424	1433	1	1.3	0.3	-27.90666667	-13.63200744	68
220	13:40 - 13:50	24	24	0	92	91	-1	1424	590	1007	1.3	1.5	0.2	-27.90666667	-19.39887454	67
230	13:50 - 14:00	24	23	-1	91	83	-8	590	193	391.5	1.5	2	0.5	-223.2533333	-399.1758195	60
240	14:00 - 14:10	23	23	0	83	83	0	193	650	421.5	2	1.8	-0.2	0	0	60

Graficando el comportamiento de la temperatura del agua y la radiación solar, como se puede observar momentos en los cuales son tuvo presente nubosidad por la disminución de la radiación solar en la gráfica (12).



Gráfica 12- Cambio de la temperatura del agua con respecto al tiempo y radiación solar del día 10 de junio del 2021.

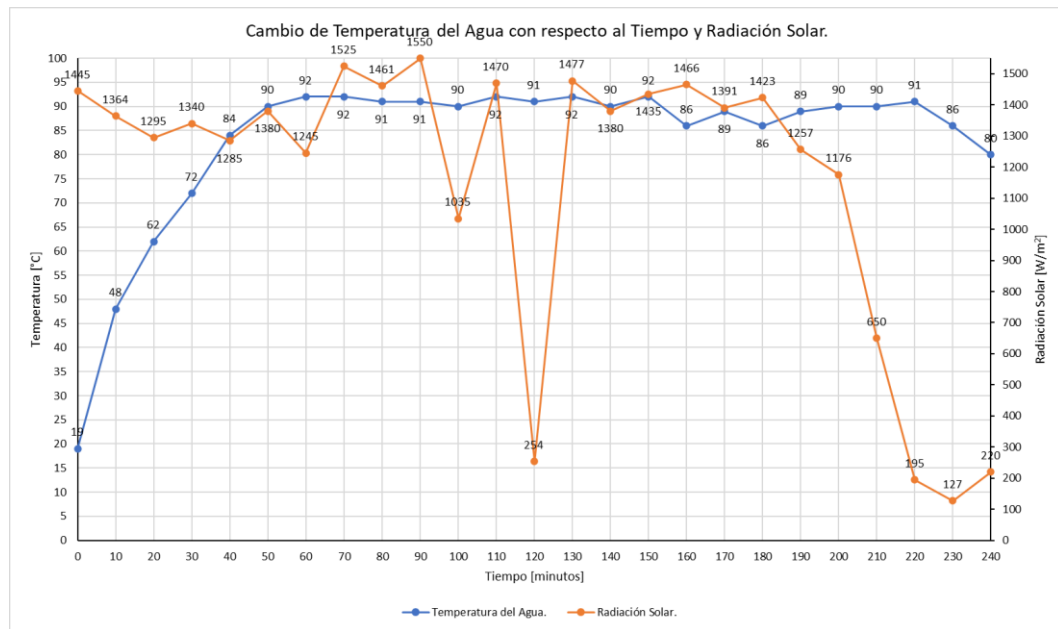
Diseño y valoración exergética de una estufa solar de alta eficiencia

En el cuarto día de pruebas se realizaron el día 26 de junio del 2021 con el papel Mylar como reflejante, con la carga inicial de 4 kg de agua con una pérdida de 0.672 kg, se registraron los resultados mostrados en la tabla (10).

Tabla 10- Datos obtenidos del día 26 de junio del 2021.

Protocolo de Prueba (Mylar)																
Lugar		La Vega Cardonal, Hidalgo.					Fecha	26/06/2021		Masa_i	4 kg		Masa_f	3.328 kg		
Altitud		1946 msnm		Latitud	20.5945888°		Longitud	-(99.1331518)		Masa_p	0.672 kg		C _v	4186 J/(kg**C)		
		°C					W/m ²			m/s			W		°C	
Minutos	Hora	T _{a_i}	T _{a_f}	ΔT _a	T _{w_i}	T _{w_f}	ΔT _w	Rad_i	Rad_f	ΔRad	V _{v_i}	V _{v_f}	ΔV	P _i	P _s	T _d = T _w - T _a
0	10:00 - 10:10	20	20	0	19	48	29	1445	1364	1404.5	0	0	0	809.2933333	403.3501839	28
10	10:10 - 10:20	20	20	0	48	62	14	1364	1295	1329.5	0	0	0	390.6933333	205.705403	42
20	10:20 - 10:30	20	20	0	62	72	10	1295	1340	1317.5	0	0	0	279.0666667	148.2707147	52
30	10:30 - 10:40	20	21	1	72	84	12	1340	1285	1312.5	0	0	0	334.88	178.6026667	63
40	10:40 - 10:50	21	21	0	84	90	6	1285	1380	1332.5	0	0.8	0.8	167.44	87.96097561	69
50	10:50 - 11:00	21	21	0	90	92	2	1380	1245	1312.5	0.8	0.2	-0.6	55.81333333	29.76711111	71
60	11:00 - 11:10	21	21	0	92	92	0	1245	1525	1385	0.2	0.7	0.5	0	0	71
70	11:10 - 11:20	21	21	0	92	91	-1	1525	1461	1493	0.7	0.8	0.1	-27.90666667	-13.08417057	70
80	11:20 - 11:30	21	22	1	91	91	0	1461	1550	1505.5	0.8	1	0.2	0	0	69
90	11:30 - 11:40	22	22	0	91	90	-1	1550	1035	1292.5	1	0.4	-0.6	-27.90666667	-15.11386202	68
100	11:40 - 11:50	22	22	0	90	92	2	1035	1470	1252.5	0.4	0.6	0.2	55.81333333	31.19308051	70
110	11:50 - 12:00	22	22	0	92	91	-1	1470	254	862	0.6	0	-0.6	-27.90666667	-22.6620263	69
120	12:00 - 12:10	22	22	0	91	92	1	254	1477	865.5	0	0.9	0.9	27.90666667	22.57038321	70
130	12:10 - 12:20	22	22	0	92	90	-2	1477	1380	1428.5	0.9	0.7	-0.2	-55.81333333	-27.34990083	68
140	12:20 - 12:30	22	22	0	90	92	2	1380	1435	1407.5	0.7	0.8	0.1	55.81333333	27.75796329	70
150	12:30 - 12:40	22	23	1	92	86	-6	1435	1466	1450.5	0.8	0.8	0	-167.44	-80.80523957	63
160	12:40 - 12:50	23	23	0	86	89	3	1466	1391	1428.5	0.8	0.9	0.1	83.72	41.02485124	66
170	12:50 - 13:00	23	23	0	89	86	-3	1391	1423	1407	0.9	1.1	0.2	-83.72	-41.65174129	63
180	13:00 - 13:10	23	24	1	86	89	3	1423	1257	1340	1.1	0.8	-0.3	83.72	43.73432836	65
190	13:10 - 13:20	24	24	0	89	90	1	1257	1176	1216.5	0.8	1.1	0.3	27.90666667	16.05809015	66
200	13:20 - 13:30	24	24	0	90	90	0	1176	650	913	1.1	1.2	0.1	0	0	66
210	13:30 - 13:40	24	23	-1	90	91	1	650	195	422.5	1.2	1.4	0.2	27.90666667	46.23589744	68
220	13:40 - 13:50	23	23	0	91	86	-5	195	127	161	1.4	1.2	-0.2	-139.5333333	-606.6666667	63
230	13:50 - 14:00	23	23	0	86	80	-6	127	220	173.5	1.2	1.2	0	-167.44	-675.5504323	57
240	14:00 - 14:10	23	23	0	80	85	5	220	456	338	1.2	1.4	0.2	139.5333333	288.974359	62

Durante la prueba se tuvo un cielo con intervalos nubosos que afectaron a los resultados de estas mismas las cuales se observan en el comportamiento de la radiación solar y el cambio de temperatura del agua en la gráfica (12).



Gráfica 13- Cambio de la temperatura del agua con respecto al tiempo y radiación solar del día 26 de junio del 2021.

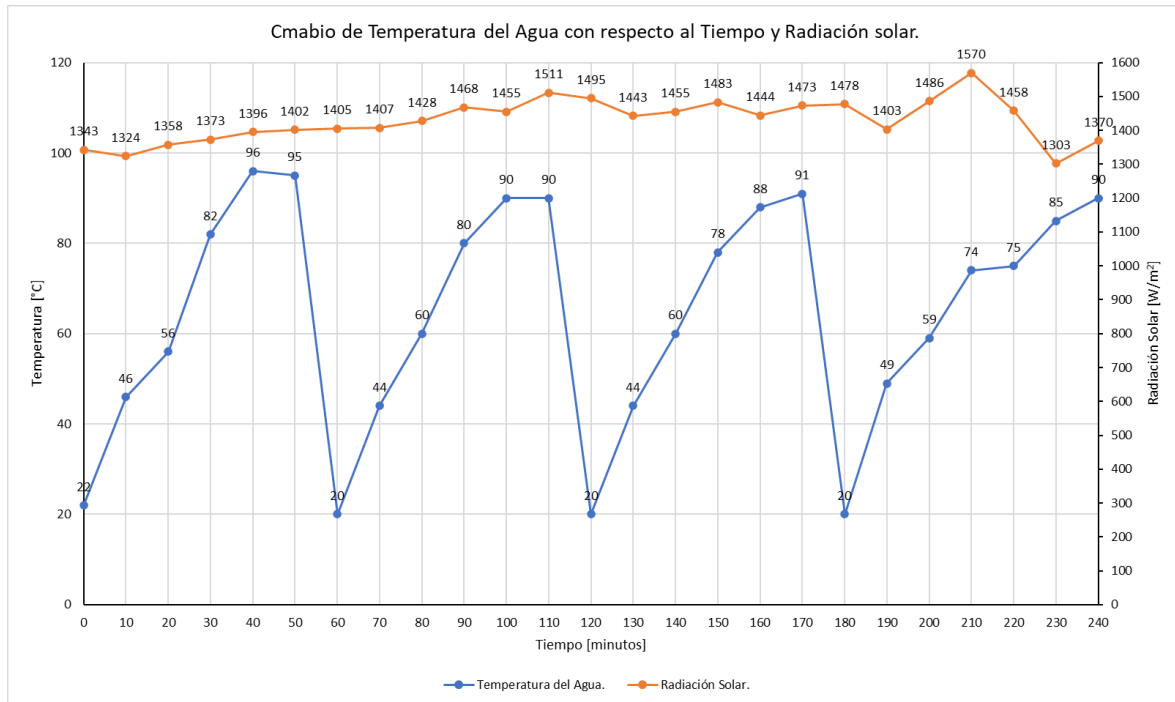
Diseño y valoración exergética de una estufa solar de alta eficiencia

El día 20 de julio del 2021 fue el último día de pruebas con el papel Mylar como reflejante se realizó con 2 ollas intercambiándolas cada hora tomando en cuenta la pérdida de masa del agua, se puede observar los datos recabados en la tabla (11).

Tabla 11- Datos obtenidos del día 20 de julio del 2021.

Protocolo de Prueba																
Lugar		La Vega Cardonal, Hidalgo.				Fecha	Masa		4		kg					
Altitud		1946 msnm	Latitud	20.5945888°		Longitud	-(99.1331518)		C _v	4186		J/[kg**C]				
		°C				W/m ²			m/s			W				
Minutos	Hora	T _{a_i}	T _{a_f}	ΔT _a	T _{w_i}	T _{w_f}	ΔT _w	Rad _i	Rad _f	ΔRad	V _{v_i}	V _{v_f}	ΔV	P _i	P _f	
0	10:00 - 10:10	22	22	0	22	46	24	1343	1324	1333.5	0.8	0	-0.8	669.76	351.5800525	4 kg
10	10:10 - 10:20	22	23	1	46	56	10	1324	1358	1341	0	0.1	0.1	279.0666667	145.6723838	
20	10:20 - 10:30	23	23	0	56	82	26	1358	1373	1365.5	0.1	0	-0.1	725.5733333	371.9526425	
30	10:30 - 10:40	23	23	0	82	96	14	1373	1396	1384.5	0	0.1	0.1	390.6933333	197.5336463	
40	10:40 - 10:50	23	24	1	96	95	-1	1396	1402	1399	0.1	0.2	0.1	-27.90666667	-13.96330712	
50	10:50 - 11:00	24	24	0	95	95	0	1402	1405	1403.5	0.2	1	0.8	0	0	3.682 kg
60	11:00 - 11:10	24	24	0	20	44	24	1405	1407	1406	1	0	-1	669.76	333.4509246	4 kg
70	11:10 - 11:20	24	24	0	44	60	16	1407	1428	1417.5	0	0	0	446.5066667	220.4971193	
80	11:20 - 11:30	24	25	1	60	80	20	1428	1468	1448	0	0	0	558.1333333	269.8158379	
90	11:30 - 11:40	25	25	0	80	90	10	1468	1455	1461.5	0	0	0	279.0666667	133.661763	
100	11:40 - 11:50	25	26	1	90	90	0	1455	1511	1483	0	0.8	0.8	0	0	
110	11:50 - 12:00	26	26	0	90	96	6	1511	1495	1503	0.8	0.8	0	167.44	77.98270126	3.727 kg
120	12:00 - 12:10	26	26	0	20	44	24	1495	1443	1469	0.8	1.3	0.5	669.76	319.1504425	4kg
130	12:10 - 12:20	26	26	0	44	60	16	1443	1455	1449	1.3	1	-0.3	446.5066667	215.7037037	
140	12:20 - 12:30	26	26	0	60	78	18	1455	1483	1469	1	1	0	502.32	239.3628319	
150	12:30 - 12:40	26	26	0	78	88	10	1483	1444	1463.5	1	1.8	0.8	279.0666667	133.4791026	
160	12:40 - 12:50	26	26	0	88	91	3	1444	1473	1458.5	1.8	1.5	-0.3	83.72	40.1810788	
170	12:50 - 13:00	26	26	0	91	88	-3	1473	1478	1475.5	1.5	1.2	-0.3	-83.72	-39.71806167	3.637 kg
180	13:00 - 13:10	26	26	0	20	49	29	1478	1403	1440.5	1.2	1.8	0.6	809.2933333	393.2699294	4 kg
190	13:10 - 13:20	26	26	0	49	59	10	1403	1486	1444.5	1.8	0.9	-0.9	279.0666667	135.2347987	
200	13:20 - 13:30	26	25	-1	59	74	15	1486	1570	1528	0.9	1.5	0.6	418.6	191.7670157	
210	13:30 - 13:40	25	25	0	74	75	1	1570	1458	1514	1.5	1.2	-0.3	27.90666667	12.90268604	
220	13:40 - 13:50	25	25	0	75	85	10	1458	1303	1380.5	1.2	1.5	0.3	279.0666667	141.5042859	
230	13:50 - 14:00	25	25	0	85	90	5	1303	1370	1336.5	1.5	1.5	0	139.5333333	73.0814316	
240	14:00 - 14:10	25	25	0	90	95	5	1370	1485	1427.5	1.5	1.6	0.1	139.5333333	68.42265032	3.778 kg

Graficando los datos obtenidos de la prueba lo podemos observar a en la gráfica (14).



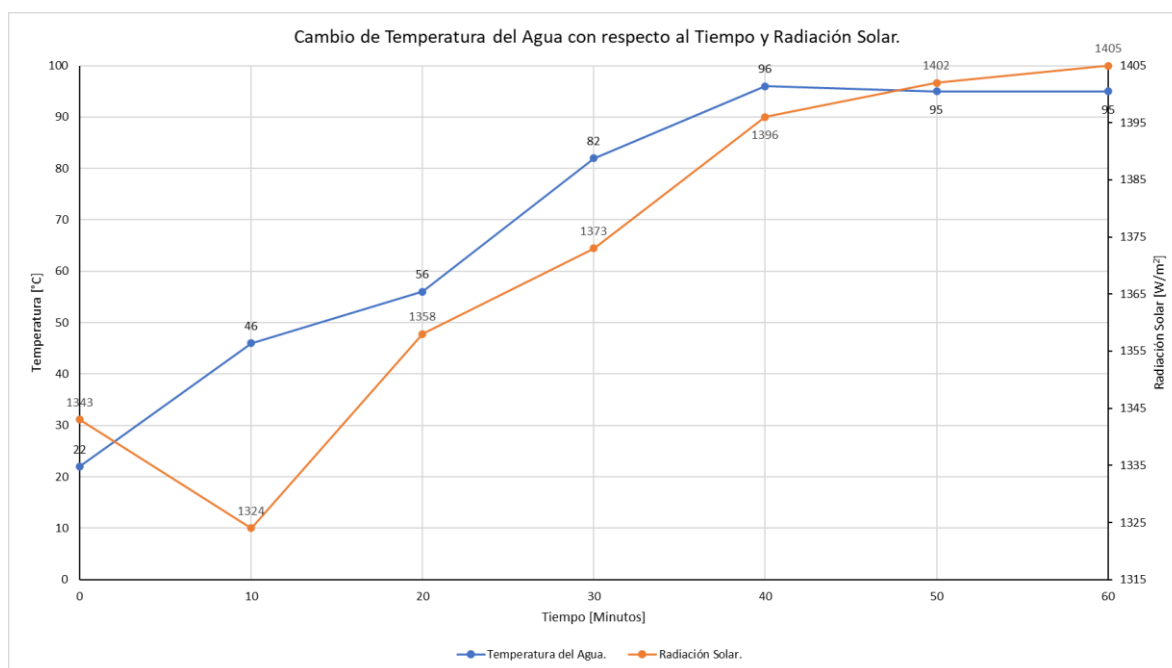
Gráfica 14- Cambio de la temperatura del agua con respecto al tiempo y radiación solar del día 20 de julio del 2021.

En forma independiente por cada hora de la prueba se desglosan a continuación, en la primera hora de los 4 kg de agua de inicio, al término de la hora tenemos 3.682 kg con una pérdida de 0.318 kg, como se observa en la tabla (12).

Tabla 12- Datos obtenidos del día 20 de julio del 2021, primera hora.

Protocolo de Prueba																	
Lugar		La Vega Cardonal, Hidalgo.				Fecha				Masa		4		kg			
Altitud		1946 msnm		Latitud		20.5945888°		Longitud		-(99.1331518)		C _v		4186		J/[kg**C]	
		°C				W/m ²			m/s			W					
Minutos	Hora	T _{a_i}	T _{a_f}	ΔT _a	T _{w_i}	T _{w_f}	ΔT _w	Rad _i	Rad _f	ΔRad	V _{v_i}	V _{v_f}	ΔV	P _i	P _f		
0	10:00 - 10:10	22	22	0	22	46	24	1343	1324	1333.5	0.8	0	-0.8	669.76	351.5800525	4 kg	
10	10:10 - 10:20	22	23	1	46	56	10	1324	1358	1341	0	0.1	0.1	279.0666667	145.6723838		
20	10:20 - 10:30	23	23	0	56	82	26	1358	1373	1365.5	0.1	0	-0.1	725.5733333	371.9526425		
30	10:30 - 10:40	23	23	0	82	96	14	1373	1396	1384.5	0	0.1	0.1	390.6933333	197.5336463		
40	10:40 - 10:50	23	24	1	96	95	-1	1396	1402	1399	0.1	0.2	0.1	-27.90666667	-13.96330712		
50	10:50 - 11:00	24	24	0	95	95	0	1402	1405	1403.5	0.2	1	0.8	0	0		
60	11:00 - 11:10	24	24	0	95		-95	1405	1407	1406	1	0	-1	-2651.133333	-1319.90991	3.682 kg	

Graficando la primera hora de prueba tenemos la gráfica (15).



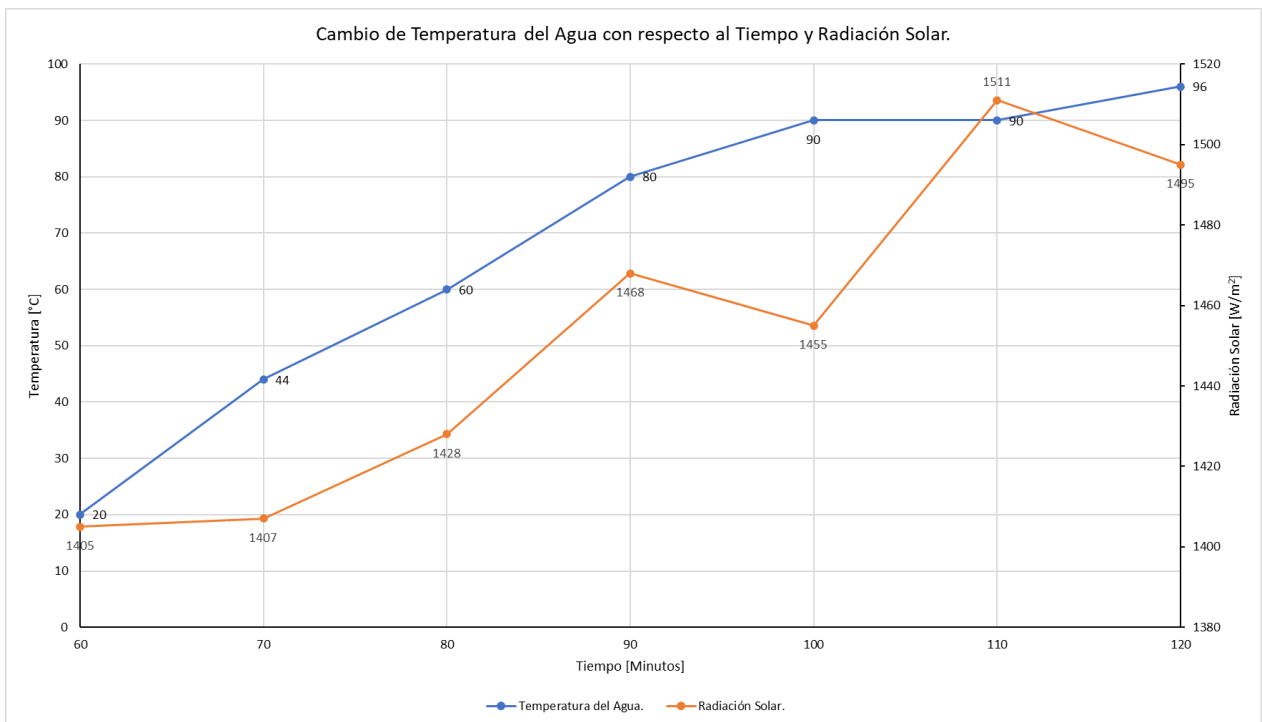
Gráfica 15- Cambio de la temperatura del agua con respecto al tiempo y radiación solar del día 20 de julio del 2021, primera hora.

En la segunda hora de la prueba se realiza con la olla 2 con 4 kg de carga inicial, teniendo una masa final de 3.727 kg, con una pérdida de 0.273 kg. Mostrando los resultados de la tabla (13).

Tabla 13- Datos obtenidos del día 20 de julio del 2021, segunda hora.

Protocolo de Prueba																
Lugar		La Vega Cardonal, Hidalgo.					Fecha	20/07/2021		Masa	4		kg			
Altitud		1946 msnm		Latitud	20.5945888°		Longitud	-(99.1331518)		C _v	4186		J/[kg**C]			
		°C					W/m ²			m/s			W			
Minutos	Hora	T _{a_i}	T _{a_f}	ΔT _a	T _{w_i}	T _{w_f}	ΔT _w	Rad _i	Rad _f	ΔRad	V _{v_i}	V _{v_f}	ΔV	P _i	P _s	
60	11:00 - 11:10	24	24	0	20	44	24	1405	1407	1406	1	0	-1	669.76	333.4509246	4 kg
70	11:10 - 11:20	24	24	0	44	60	16	1407	1428	1417.5	0	0	0	446.5066667	220.4971193	
80	11:20 - 11:30	24	25	1	60	80	20	1428	1468	1448	0	0	0	558.1333333	269.8158379	
90	11:30 - 11:40	25	25	0	80	90	10	1468	1455	1461.5	0	0	0	279.0666667	133.661763	
100	11:40 - 11:50	25	26	1	90	90	0	1455	1511	1483	0	0.8	0.8	0	0	
110	11:50 - 12:00	26	26	0	90	96	6	1511	1495	1503	0.8	0.8	0	167.44	77.98270126	
120	12:00 - 12:10	26	26	0	96	0	-96	1495	1443	1469	0.8	1.3	0.5	-2679.04	-1276.60177	3.727 kg

Graficando los datos obtenidos en la segunda hora de la prueba tenemos la gráfica (16).



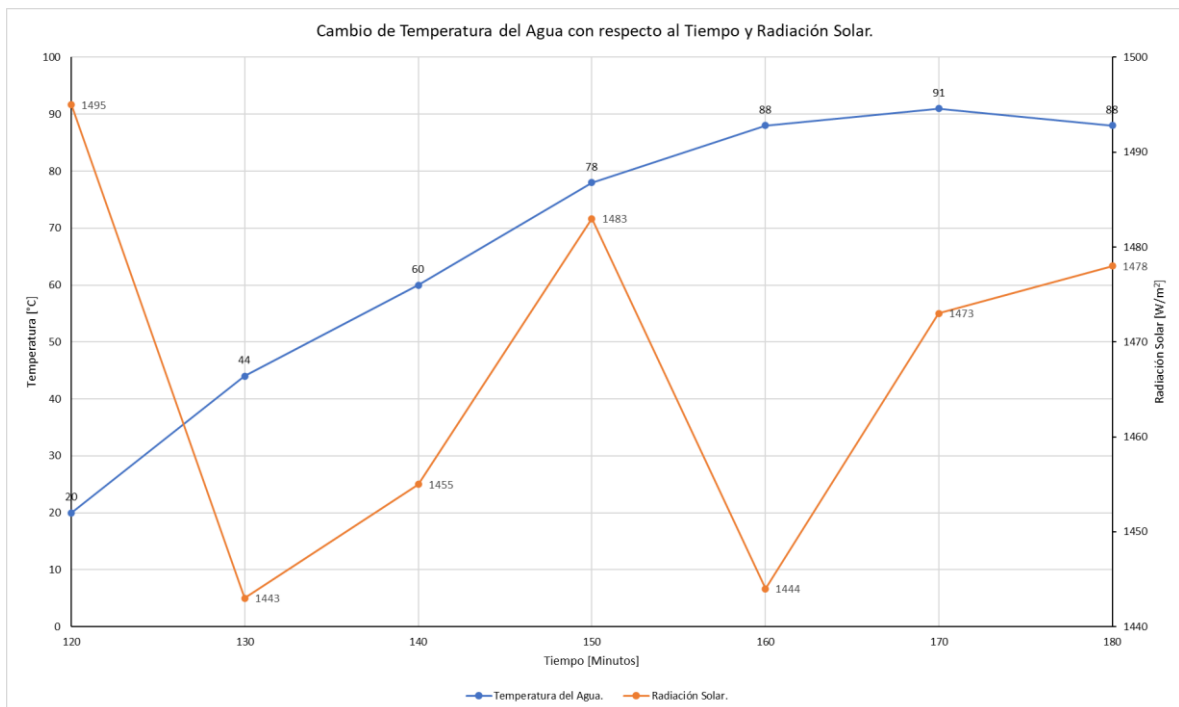
Gráfica 16- Cambio de la temperatura del agua con respecto al tiempo y radiación solar del día 20 de julio del 2021, segunda hora.

Continuando con la prueba, en la tercera hora nuevamente se vuelve a cargar 4 kg de agua, para el término de la prueba se obtuvo 3.637 kg de agua con una pérdida de 0.363 kg, con los siguientes resultados de la temperatura del agua y radiación solar mostrados en la tabla (14).

Tabla 14- Datos obtenidos del día 20 de julio del 2021, tercera hora.

Protocolo de Prueba																	
Lugar		La Vega Cardonal, Hidalgo.				Fecha		20/07/2021		Masa		4		kg			
Altitud		1946 msnm		Latitud		20.5945888°		Longitud		-(99.1331518)		C _v		4186		J/(kg**C)	
		°C				W/m ²			m/s			W					
Minutos	Hora	T _{a_i}	T _{a_f}	ΔT _a	T _{w_i}	T _{w_f}	ΔT _w	Rad _i	Rad _f	ΔRad	V _{v_i}	V _{v_f}	ΔV	P _i	P _s		
120	12:00 - 12:10	26	26	0	20	44	24	1495	1443	1469	0.8	1.3	0.5	669.76	319.1504425	4kg	
130	12:10 - 12:20	26	26	0	44	60	16	1443	1455	1449	1.3	1	-0.3	446.5066667	215.7037037		
140	12:20 - 12:30	26	26	0	60	78	18	1455	1483	1469	1	1	0	502.32	239.3628319		
150	12:30 - 12:40	26	26	0	78	88	10	1483	1444	1463.5	1	1.8	0.8	279.0666667	133.4791026		
160	12:40 - 12:50	26	26	0	88	91	3	1444	1473	1458.5	1.8	1.5	-0.3	83.72	40.18100788		
170	12:50 - 13:00	26	26	0	91	88	-3	1473	1478	1475.5	1.5	1.2	-0.3	-83.72	-39.71806167		
180	13:00 - 13:10	26	26	0	88	0	-88	1478	1403	1440.5	1.2	1.8	0.6	-2455.786667	-1193.37082	3.637 kg	

Graficando los datos obtenidos, los podemos observar en la gráfica (17).



Gráfica 17- Cambio de la temperatura del agua con respecto al tiempo y radiación solar del día 20 de julio del 2021, tercera hora.

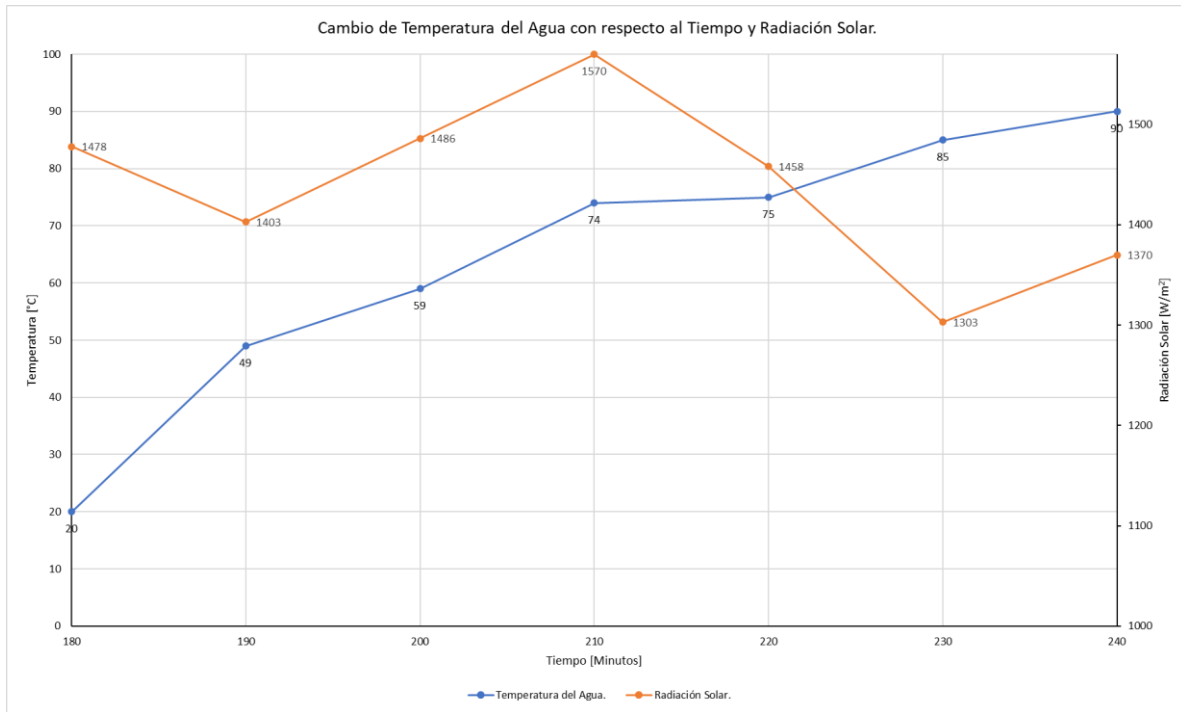
Diseño y valoración exergética de una estufa solar de alta eficiencia

En la última hora de prueba se realiza con la olla 2 con los 4 kg de carga inicial con una masa final de 3.778 kg, teniendo una pérdida de 0.222 kg. Obteniendo los siguientes datos en la tabla (15).

Tabla 15- Datos obtenidos del día 20 de julio del 2021, cuarta hora.

Protocolo de Prueba																
Lugar		La Vega Cardonal, Hidalgo.					Fecha				Masa	4	kg			
Altitud		1946 msnm	Latitud		20.5945888°	Longitud		-(99.1331518)		C _v	4186	J/(kg*°C)				
		°C					W/m ²			m/s			W			
Minutos	Hora	T _{a_i}	T _{a_f}	ΔT _a	T _{w_i}	T _{w_f}	ΔT _w	Rad _i	Rad _f	ΔRad	V _{v_i}	V _{v_f}	ΔV	P _i	P _f	
180	13:00 - 13:10	26	26	0	20	49	29	1478	1403	1440.5	1.2	1.8	0.6	809.2933333	393.2699294	4 kg
190	13:10 - 13:20	26	26	0	49	59	10	1403	1486	1444.5	1.8	0.9	-0.9	279.0666667	135.2347987	
200	13:20 - 13:30	26	25	-1	59	74	15	1486	1570	1528	0.9	1.5	0.6	418.6	191.7670157	
210	13:30 - 13:40	25	25	0	74	75	1	1570	1458	1514	1.5	1.2	-0.3	27.9066667	12.90268604	
220	13:40 - 13:50	25	25	0	75	85	10	1458	1303	1380.5	1.2	1.5	0.3	279.0666667	141.5042859	
230	13:50 - 14:00	25	25	0	85	90	5	1303	1370	1336.5	1.5	1.5	0	139.5333333	73.0814316	
240	14:00 - 14:10	25	25	0	90	95	5	1370	1485	1427.5	1.5	1.6	0.1	139.5333333	68.42265032	3.778 kg

De los datos obtenidos graficamos el cambio de temperatura del agua con respecto a tiempo y la radiación solar, como lo podemos observar en la gráfica (18).



Gráfica 18- Cambio de la temperatura del agua con respecto al tiempo y radiación solar del día 20 de julio del 2021, cuarta hora.

5. Resultados

Se tomó en cuenta una radiación solar de que incide en las instalaciones del Instituto Tecnológico de Pachuca, que tiene las siguientes coordenadas de latitud 20.083438 y longitud -98.773938 y GMT -6, en un horario de 8:00 a 14:00 horas, la cual es de un promedio de 675.861 W/m^2 , de acuerdo a la tabla (1) [21], mostrado en el Apéndice 1.

El área del colector solar es de 1.7671 m^2 , el diámetro de la olla de cocción es de 0.26 m , por lo tanto, tiene un área de recepción de 0.2123 m^2 , con una emisividad del colector de aluminio de 0.6, un coeficiente de convectividad h de $50 \text{ W/m}^2 \text{ }^\circ\text{C}$, así como una absorptividad de la olla de cocción considerándolo como un cuerpo negro de 0.9.

Calculando T_s que se define como la temperatura de la superficie de la olla de cocción nos apoyamos de la siguiente formula:

$$T_s = T_a + \alpha \frac{\dot{q}_{\text{incidente solar}}}{h}$$

En donde T_a es la temperatura ambiente, $\dot{q}_{\text{incidente solar}}$ se determina con la radiación solar por área de colector solar sobre el área de recepción de la olla de cocción, dando un resultado de 5625.59 W/m^2 , obteniendo un valor para $T_s = 125.8 \text{ }^\circ\text{C}$. Tomando en cuenta la constante solar de Stefan – Boltzman $\sigma = 5.670 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2\text{K}^4$ podemos conocer el valor de la potencia de la radiación solar en la base de la olla de cocción calculándola con la ecuación (12), obteniendo una potencia de 128.89 W .

Tomaremos en cuenta un sistema en el cual no tomamos solo tenemos ganancia y no perdidas para la simulación, lo que quiere decir que solo la potencia de entrada y no se salida, recordemos el calor específico del agua igual a $4186 \text{ J/kg}^\circ\text{C}$, la masa del agua, que en este caso lo tomaremos de 4 kg , el tiempo de simulación se tomó 10 minutos, 600 s , para conocer la evolución de la temperatura del agua como se muestra en la tabla (16).

Tabla 16- Evolución de la temperatura del agua en la olla de cocción en 600 s.

Tiempo (s)	Ti(°C)	m (kg)	Cv(J/kg*°C)	\dot{Q}_{rad} (W)	T(i+1)°C
0	25	4	4186	128.89	25.00
60	25	4	4186	128.89	25.46
120	25	4	4186	128.89	25.92
180	25	4	4186	128.89	26.39
240	25	4	4186	128.89	26.85
300	25	4	4186	128.89	27.31
360	25	4	4186	128.89	27.77
420	25	4	4186	128.89	28.23
480	25	4	4186	128.89	28.69
540	25	4	4186	128.89	29.16
600	25	4	4186	128.89	29.62

A continuación, se muestran los resultados de la simulación del análisis térmico transitorio con un lapso de tiempo de 600 s, como se observa en la imagen (56).

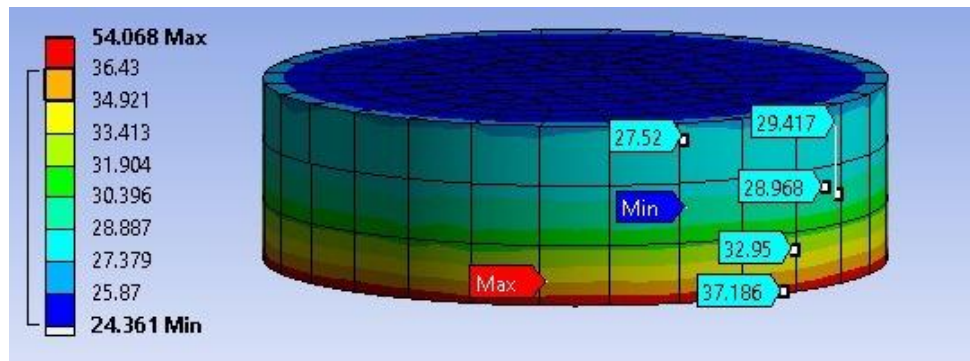


Figura 57- Distribución de las temperaturas del agua en un lapso de 600 s.

Tomando temperatura desde la superficie del agua nos muestra las siguientes lecturas, resultado del mismo análisis, tenemos la figura (57).

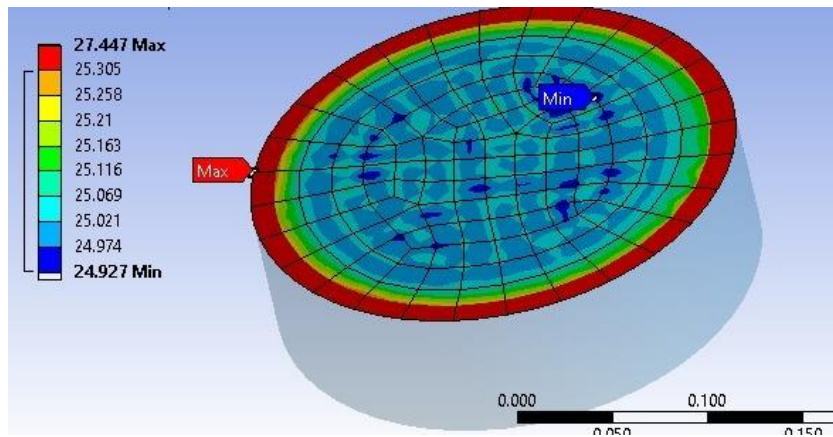


Figura 58- Distribución de temperaturas desde la superficie del agua.

Regresión lineal y cálculo de eficiencias.

El protocolo de pruebas utilizado refiere a la realización de una regresión lineal de los puntos graficados para encontrar la relación de la potencia de cocción estandarizada y la diferencia de temperatura del medio ambiente y la del agua en la olla de cocción, con estos mismos resultados se obtiene el coeficiente de determinación (R^2) o proporción de variación en la potencia de cocción, el cual deberá ser mayor a 0.75.

Otro de los resultados importantes para nuestro dispositivo es la medida única de desempeño, el cual es el valor de la potencia de cocción estandarizada en donde la diferencia de temperaturas T_d de 50 ° C, utilizando la regresión lineal antes calculada.

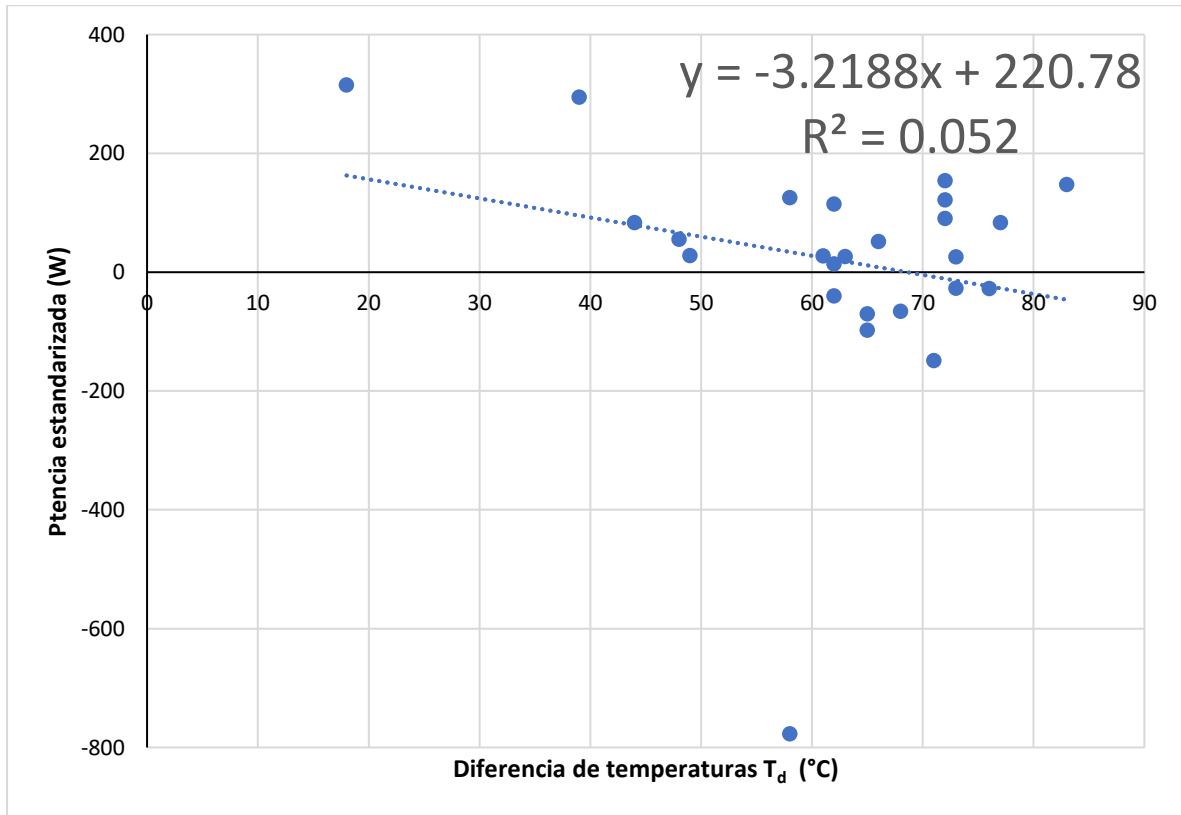
Utilizando vinil automotriz como material reflejante de nuestra estufa solar, se muestra la obtención de la regresión lineal, el coeficiente de determinación (R^2) y la medida única de desempeño para el día 19 de mayo de 2021, como se muestra en la tabla (17).

Diseño y valoración exérgica de una estufa solar de alta eficiencia

Tabla 17- Datos obtenidos del día 19 de mayo del 2021, tomado en cuenta P_i , P_s y la diferencia de temperaturas.

Protocolo de Prueba (Vinil)																
Lugar	La Vega Cardonal, Hidalgo.						Fecha	19/05/2021			Masa_i	4 kg		Masa_f	2.385 kg	
Altitud	1946 msnm		Latitud	20.5945888°			Longitud	-(99.1331518)°			Masa_p	1.615 kg		C_v	4186 J/(kg*°C)	
°C																
W/m ²																
m/s																
W																
°C																
Minutos	Hora	T _{a_i}	T _{a_f}	ΔT _a	T _{w_i}	T _{w_f}	ΔT _w	Rad_i	Rad_f	ΔRad	V _{v_i}	V _{v_f}	ΔV	P _i	P _s	T _d = T _w - T _a
0	10:00 - 10:10	24	24	0	20	42	22	1340	1384	1362	0.8	0.9	0.1	613.946667	315.537934	18
10	10:10 - 10:20	24	24	0	42	63	21	1384	1400	1392	0.9	1.6	0.7	586.04	294.704023	39
20	10:20 - 10:30	24	25	1	63	69	6	1400	1402	1401	1.6	1.2	-0.4	167.44	83.6602427	44
30	10:30 - 10:40	25	25	0	69	73	4	1402	1400	1401	1.2	1	-0.2	111.626667	55.7734951	48
40	10:40 - 10:50	25	26	1	73	75	2	1400	1396	1398	1	0.9	-0.1	55.8133333	27.9465904	49
50	10:50 - 11:00	26	26	0	75	84	9	1396	1406	1401	0.9	1.3	0.4	251.16	125.490364	58
60	11:00 - 11:10	26	25	-1	84	86	2	1406	1406	1406	1.3	1.7	0.4	55.8133333	27.7875771	61
70	11:10 - 11:20	25	25	0	86	87	1	1406	1404	1405	1.7	1	-0.7	27.9066667	13.9036773	62
80	11:20 - 11:30	25	26	1	87	98	11	1404	1380	1392	1	0	-1	306.973333	154.368774	72
90	11:30 - 11:40	26	26	0	98	91	-7	1380	1429	1404.5	0	1	1	-195.346667	-97.3603892	65
100	11:40 - 11:50	26	26	0	91	88	-3	1429	1510	1469.5	1	0	-1	-83.72	-39.8802314	62
110	11:50 - 12:00	26	27	1	88	90	2	1510	1460	1485	0	1.2	1.2	55.8133333	26.3093154	63
120	12:00 - 12:10	27	27	0	90	99	9	1460	1431	1445.5	1.2	1.2	0	251.16	121.627119	72
130	12:10 - 12:20	27	27	0	99	110	11	1431	1480	1455.5	1.2	1.7	0.5	306.973333	147.634032	83
140	12:20 - 12:30	27	28	1	110	99	-11	1480	1408	1444	1.7	1.3	-0.4	-306.973333	-148.809788	71
150	12:30 - 12:40	28	28	0	99	105	6	1408	1404	1406	1.3	1.8	0.5	167.44	83.3627312	77
160	12:40 - 12:50	28	27	-1	105	103	-2	1404	1443	1423.5	1.8	1.7	-0.1	-55.8133333	-27.4459665	76
170	12:50 - 13:00	27	28	1	103	101	-2	1443	1456	1449.5	1.7	1	-0.7	-55.8133333	-26.9536622	73
180	13:00 - 13:10	28	28	0	101	96	-5	1456	1512	1484	1	1.3	0.3	-139.533333	-65.8176101	68
190	13:10 - 13:20	28	28	0	96	93	-3	1512	161	836.5	1.3	1.5	0.2	-83.72	-70.0585774	65
200	13:20 - 13:30	28	28	0	93	86	-7	161	191	176	1.5	0.8	-0.7	-195.346667	-77.94697	58
210	13:30 - 13:40	28	29	1	86	91	5	191	1506	848.5	0.8	1	0.2	139.533333	115.112944	62
220	13:40 - 13:50	29	29	0	91	95	4	1506	1515	1510.5	1	0.7	-0.3	111.626667	51.7303321	66
230	13:50 - 14:00	29	30	1	95	102	7	1515	1510	1512.5	0.7	1.4	0.7	195.346667	90.4083747	72
240	14:00 - 14:10	30	31	1	102	104	2	1510	1506	1508	1.4	1	-0.4	55.8133333	25.908046	73

En la gráfica (19) se muestra la regresión lineal y el coeficiente de determinación.



Gráfica 19-Regresión lineal y coeficiente de determinación R^2 para el día 19 de mayo del 2021.

Obteniendo la medida única de desempeño para la diferencia de temperaturas en 50 °C en la regresión lineal $y = -3.2188x + 220.78$, tenemos.

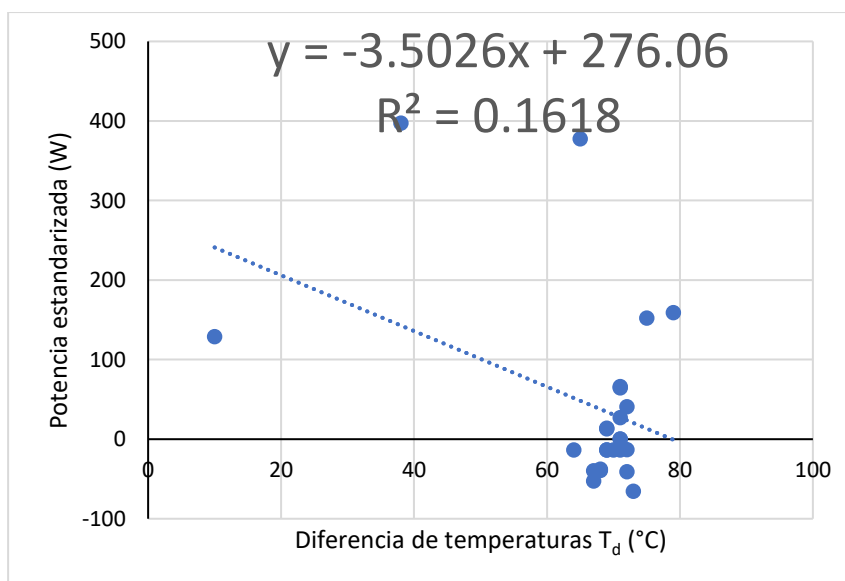
$$P_{s,50^{\circ}C} = 59.84 \text{ W}$$

Obtención de la regresión lineal, el coeficiente de determinación (R^2) y la medida única de desempeño para el día 20 de mayo de 2021, se muestra en la tabla (18) los datos obtenidos.

Tabla 18-Datos obtenidos del día 20 de mayo del 2021, tomado en cuenta P_i , P_s y la diferencia de temperaturas.

Protocolo de Prueba (Vinil)																			
Lugar		La Vega Cardonal, Hidaigo.						Fecha		20/05/2021		Masa_i		4 kg		Masa_f		1.772 kg	
Altitud		1946 msnm		Latitud		20.5945888°		Longitud		-99.1331518°		Masa_p		2.228 kg		C _v		4186 J/(kg*°C)	
		°C						W/m ²			m/s			W		°C			
Minutos	Hora	T _{a_i}	T _{a_f}	ΔT _a	T _{w_i}	T _{w_f}	ΔT _w	Rad _i	Rad _f	ΔRad	V _{v_i}	V _{v_f}	ΔV	P _i	P _s	T _d = T _w - T _a			
0	10:00 - 10:10	20	20	0	21	30	9	1353	1377	1365	1.2	0.8	-0.4	251.16	128.8				
10	10:10 - 10:20	20	20	0	30	58	28	1377	1377	1377	0.8	0.8	0	781.386667	397.219075	38			
20	10:20 - 10:30	20	20	0	58	85	27	1377	1419	1398	0.8	1.1	0.3	753.48	377.27897	65			
30	10:30 - 10:40	20	20	0	85	84	-1	1419	1406	1412.5	1.1	0	-1.1	-27.9066667	-13.8298525	64			
40	10:40 - 10:50	20	20	0	84	95	11	1406	1418	1412	0	1	1	306.973333	152.182247	75			
50	10:50 - 11:00	20	20	0	95	92	-3	1418	1430	1424	1	1.2	0.2	-83.72	-41.1544944	72			
60	11:00 - 11:10	20	21	1	92	92	0	1430	1429	1429.5	1.2	0.8	-0.4	0	0	71			
70	11:10 - 11:20	21	21	0	92	91	-1	1429	1432	1430.5	0.8	1.2	0.4	-27.9066667	-13.6558313	70			
80	11:20 - 11:30	21	21	0	91	90	-1	1432	1421	1426.5	1.2	0.8	-0.4	-27.9066667	-13.6941231	69			
90	11:30 - 11:40	21	22	1	90	91	1	1421	1445	1433	0.8	0.8	0	27.9066667	13.6320074	69			
100	11:40 - 11:50	22	22	0	91	94	3	1445	1440	1442.5	0.8	0.7	-0.1	83.72	40.6266898	72			
110	11:50 - 12:00	22	22	0	94	93	-1	1440	1430	1435	0.7	0.8	0.1	-27.9066667	-13.6130081	71			
120	12:00 - 12:10	22	23	1	93	92	-1	1430	1452	1441	0.8	0.8	0	-27.9066667	-13.5563266	69			
130	12:10 - 12:20	23	23	0	92	94	2	1452	1460	1456	0.8	1	0.2	55.8133333	26.8333333	71			
140	12:20 - 12:30	23	24	1	94	91	-3	1460	1470	1465	1	1.2	0.2	-83.72	-40.0027304	67			
150	12:30 - 12:40	24	24	0	91	103	12	1470	1483	1476.5	1.2	2	0.8	334.88	158.764646	79			
160	12:40 - 12:50	24	25	1	103	98	-5	1483	1500	1491.5	2	0.9	-1.1	-139.533333	-65.4866466	73			
170	12:50 - 13:00	25	25	0	98	97	-1	1500	1483	1491.5	0.9	1	0.1	-27.9066667	-13.0973293	72			
180	13:00 - 13:10	25	26	1	97	97	0	1483	1475	1479	1	1.1	0.1	0	0	71			
190	13:10 - 13:20	26	26	0	97	93	-4	1475	1480	1477.5	1.1	1.3	0.2	-111.626667	-52.8857304	67			
200	13:20 - 13:30	26	27	1	93	98	5	1480	1474	1477	1.3	0.8	-0.5	139.533333	66.1295419	71			
210	13:30 - 13:40	27	27	0	98	95	-3	1474	1491	1482.5	0.8	1.8	1	-83.72	-39.5305228	68			
220	13:40 - 13:50	27	29	2	95	100	5	1491	1540	1515.5	1.8	1.3	-0.5	139.533333	64.4495766	71			
230	13:50 - 14:00	29	29	0	100	97	-3	1540	1550	1545	1.3	1	-0.3	-83.72	-37.9313916	68			
240	14:00 - 14:10	29	29	0	97	98	1	1550	1520	1535	1	2	1	27.9066667	12.7261672	69			

En la gráfica (20) se muestra la regresión lineal y el coeficiente de determinación.



Gráfica 20- Regresión lineal y coeficiente de determinación R^2 para el día 20 de mayo del 2021.

Obteniendo la medida única de desempeño para la diferencia de temperaturas en 50 °C en la regresión lineal $y = -3.5026x + 276.06$, tenemos.

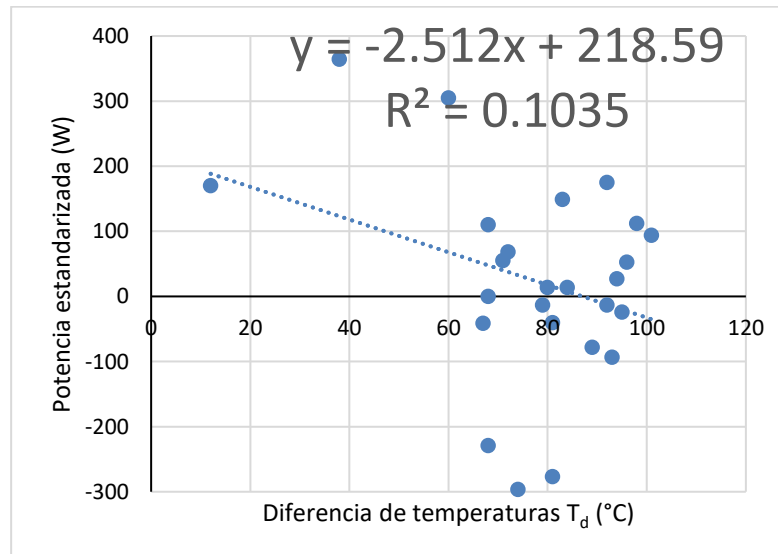
$$P_{s,50^{\circ}C} = 100.93 W$$

Obtención de la regresión lineal, el coeficiente de determinación (R^2) y la medida única de desempeño para el día 21 de mayo de 2021, con los datos mostrados en la tabla (19).

Tabla 19- Datos obtenidos del día 21 de mayo del 2021, tomado en cuenta P_i , P_s y la diferencia de temperaturas.

Protocolo de Prueba (Vinil)																	
Lugar		La Vega Cardonal, Hidalgo.						Fecha	21/05/2021			Masa_i	4 kg		Masa_f	1.625 kg	
Altitud		1946 msnm		Latitud	20.5945888°			Longitud	-99.1331518°			Masa_p	2.375 kg		C_v	4186 J/(kg*°C)	
		°C						W/m ²			m/s			W		°C	
Minutos	Hora	T _{a_i}	T _{a_f}	ΔT_a	T _{w_i}	T _{w_f}	ΔT_w	Rad_i	Rad_f	ΔRad	V _{v_i}	V _{v_f}	ΔV	P_i	P_s	$T_d = T_w - T_a$	
0	10:00 - 10:10	20	20	0	20	20	32	12	1379	1381	1380	0.8	1.1	0.3	334.88	169.866667	12
10	10:10 - 10:20	20	20	0	32	58	26	1381	1408	1394.5	1.1	1	-0.1	725.573333	364.217521	38	
20	10:20 - 10:30	20	20	0	58	80	22	1408	1410	1409	1	1.1	0.1	613.946667	305.012538	60	
30	10:30 - 10:40	20	20	0	80	88	8	1410	1425	1417.5	1.1	0	-1.1	223.253333	110.24856	68	
40	10:40 - 10:50	20	21	1	88	92	4	1425	1422	1423.5	0	0	0	111.626667	54.891933	71	
50	10:50 - 11:00	21	22	1	92	89	-3	1422	1425	1423.5	0	0	0	-83.72	-41.1689498	67	
60	11:00 - 11:10	22	22	0	89	94	5	1425	1443	1434	0	0.8	0.8	139.533333	68.1125058	72	
70	11:10 - 11:20	22	22	0	94	105	11	1443	1445	1444	0.8	0	-0.8	306.973333	148.809788	83	
80	11:20 - 11:30	22	22	0	105	106	1	1445	1451	1448	0	1	1	27.9066667	13.4907919	84	
90	11:30 - 11:40	22	22	0	106	103	-3	1451	1441	1446	1	0	-1	-83.72	-40.5283541	81	
100	11:40 - 11:50	22	23	1	103	102	-1	1441	1443	1442	0	1.2	1.2	-27.9066667	-13.5469256	79	
110	11:50 - 12:00	23	23	0	102	103	1	1443	1454	1448.5	1.2	0.7	-0.5	27.9066667	13.4861351	80	
120	12:00 - 12:10	23	24	1	103	116	13	1454	1452	1453	0.7	1.2	0.5	362.786667	174.776784	92	
130	12:10 - 12:20	24	24	0	116	118	2	1452	1460	1456	1.2	2	0.8	55.8133333	26.8333333	94	
140	12:20 - 12:30	24	24	0	118	125	7	1460	1455	1457.5	2	1.2	-0.8	195.346667	93.8200114	101	
150	12:30 - 12:40	24	25	1	125	118	-7	1455	1470	1462.5	1.2	1.8	0.6	-195.346667	-93.4992593	93	
160	12:40 - 12:50	25	25	0	118	117	-1	1470	1470	1470	1.8	1.2	-0.6	-27.9066667	-13.2888889	92	
170	12:50 - 13:00	25	25	0	117	121	4	1470	1491	1480.5	1.2	1.2	0	111.626667	52.7785658	96	
180	13:00 - 13:10	25	26	1	121	115	-6	1491	1511	1501	1.2	1.2	0	-167.44	-78.0866089	89	
190	13:10 - 13:20	26	26	0	115	124	9	1511	1632	1571.5	1.2	1.4	0.2	251.16	111.875278	98	
200	13:20 - 13:30	26	27	1	124	122	-2	1632	1615	1623.5	1.4	1	-0.4	-55.8133333	-24.0648804	95	
210	13:30 - 13:40	27	27	0	122	108	-14	1615	360	987.5	1	0.8	-0.2	-390.693333	-276.947173	81	
220	13:40 - 13:50	27	27	0	108	101	-7	360	563	461.5	0.8	1.4	0.6	-195.346667	-296.300469	74	
230	13:50 - 14:00	27	27	0	101	95	-6	563	460	511.5	1.4	1.4	0	-167.44	-229.14565	68	
240	14:00 - 14:10	27	27	0	95	95	0	460	520	490	1.4	1.2	-0.2	0	0	68	

En la gráfica (21) se muestra la regresión lineal y el coeficiente de determinación.



Gráfica 21- Regresión lineal y coeficiente de determinación R^2 para el día 21 de mayo del 2021.

Obteniendo la medida única de desempeño para la diferencia de temperaturas en 50 °C en la regresión lineal $y = -2.512x + 218.59$, tenemos.

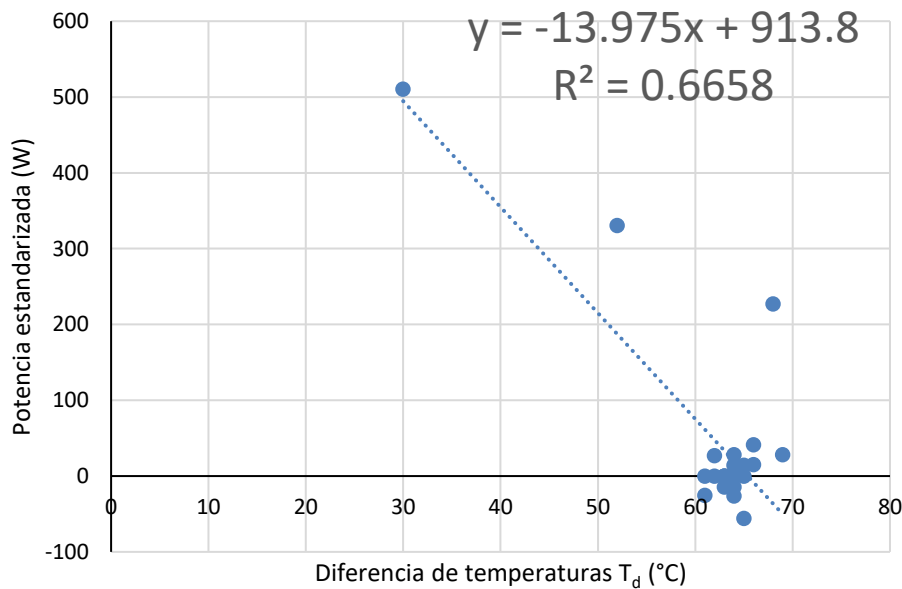
$$P_{s,50^{\circ}\text{C}} = 92.99 \text{ W}$$

Obtención de la regresión lineal, el coeficiente de determinación (R^2) y la medida única de desempeño para el día 27 de mayo de 2021, con los datos mostrados en la tabla (20).

Tabla 20- Datos obtenidos del día 27 de mayo del 2021, tomado en cuenta P_i , P_s y la diferencia de temperaturas.

Protocolo de Prueba (Vinil)																
Lugar	La Vega Cardonal, Hidalgo.						Fecha	27/05/2021			Masa_i	4 kg		Masa_f	1.618 kg	
Altitud	1946 msnm		Latitud	20.5945888°			Longitud	-99.1331518°			Masa_p	2.382 kg		C_v	4186 J/[kg*°C]	
			°C				W/m ²			m/s			W		°C	
Minutos	Hora	T_{a_i}	T_{a_f}	ΔT_a	T_{w_i}	T_{w_f}	ΔT_w	Rad_i	Rad_f	ΔRad	V_{v_i}	V_{v_f}	ΔV	P_i	P_s	$T_d = T_w - T_a$
0	10:00 - 10:10	25	25	0	20	55	35	1340	1338	1339	0	1.5	1.5	976.733333	510.614887	30
10	10:10 - 10:20	25	26	1	55	78	23	1338	1382	1360	1.5	0	-1.5	641.853333	330.365686	52
20	10:20 - 10:30	26	26	0	78	94	16	1382	1368	1375	0	0	0	446.506667	227.312485	68
30	10:30 - 10:40	26	27	1	94	96	2	1368	1392	1380	0	0	0	55.8133333	28.3111111	69
40	10:40 - 10:50	27	27	0	96	92	-4	1392	1402	1397	0	0	0	-111.626667	-55.9331902	65
50	10:50 - 11:00	27	28	1	92	91	-1	1402	1318	1360	0	0	0	-27.9066667	-14.3637255	63
60	11:00 - 11:10	28	28	0	91	91	0	1318	1365	1341.5	0	0	0	0	0	63
70	11:10 - 11:20	28	28	0	91	92	1	1365	1358	1361.5	0	1.1	1.1	27.9066667	14.3479006	64
80	11:20 - 11:30	28	29	1	92	92	0	1358	1392	1375	1.1	0.9	-0.2	0	0	63
90	11:30 - 11:40	29	29	0	92	92	0	1392	1414	1403	0.9	1.7	0.8	0	0	63
100	11:40 - 11:50	29	29	0	92	95	3	1414	1421	1417.5	1.7	0.9	-0.8	83.72	41.3432099	66
110	11:50 - 12:00	29	29	0	95	93	-2	1421	1549	1485	0.9	1	0.1	-55.8133333	-26.3093154	64
120	12:00 - 12:10	29	30	1	93	91	-2	1549	1530	1539.5	1	0	-1	-55.8133333	-25.3779366	61
130	12:10 - 12:20	30	30	0	91	91	0	1530	1440	1485	0	0.7	0.7	0	0	61
140	12:20 - 12:30	30	31	1	91	93	2	1440	1448	1444	0.7	0.9	0.2	55.8133333	27.056325	62
150	12:30 - 12:40	31	31	0	93	93	0	1448	1410	1429	0.9	1.2	0.3	0	0	62
160	12:40 - 12:50	31	31	0	93	95	2	1410	1378	1394	1.2	1.2	0	55.8133333	28.0267814	64
170	12:50 - 13:00	31	31	0	95	95	0	1378	1385	1381.5	1.2	0.8	-0.4	0	0	64
180	13:00 - 13:10	31	31	0	95	95	0	1385	1402	1393.5	0.8	0.8	0	0	0	64
190	13:10 - 13:20	31	31	0	95	95	0	1402	1398	1400	0.8	1.5	0.7	0	0	64
200	13:20 - 13:30	31	31	0	95	96	1	1398	1334	1366	1.5	1.2	-0.3	27.9066667	14.3006345	65
210	13:30 - 13:40	31	31	0	96	96	0	1334	1342	1338	1.2	1	-0.2	0	0	65
220	13:40 - 13:50	31	31	0	96	95	-1	1342	1333	1337.5	1	1	0	-27.9066667	-14.6053583	64
230	13:50 - 14:00	31	31	0	95	95	0	1333	1281	1307	1	1.6	0.6	0	0	64
240	14:00 - 14:10	31	30	-1	95	96	1	1281	1332	1306.5	1.6	1.6	0	27.9066667	14.9519071	66

En la gráfica (22) se muestra la regresión lineal y el coeficiente de determinación.



Gráfica 22- Regresión lineal y coeficiente de determinación R^2 para el día 27 de mayo del 2021.

Diseño y valoración exergética de una estufa solar de alta eficiencia

Obteniendo la medida única de desempeño para la diferencia de temperaturas en 50 °C en la regresión lineal $y = -13.975x + 913.8$, tenemos.

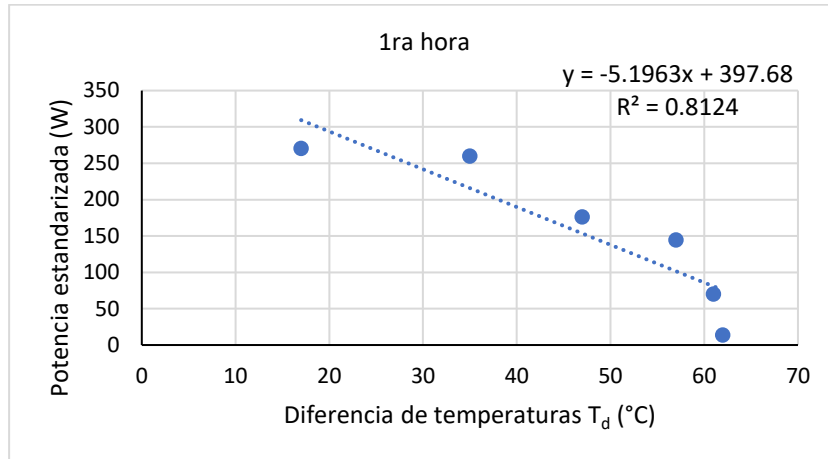
$$P_{s,50^{\circ}C} = 215.05 W$$

Obtención de la regresión lineal, el coeficiente de determinación (R^2) y la medida única de desempeño para el día 28 de mayo de 2021, las pruebas se realizaron con dos ollas de cocción las cuales se cambiaron cada hora con la misma carga de 4 kg de agua, se realizó la gráfica independiente por cada hora, así como la obtención de la regresión lineal y el cálculo de la medida única de desempeño, se muestran los datos obtenidos en la tabla (21).

Tabla 21- Datos obtenidos del día 28 de mayo del 2021, tomado en cuenta P_i , P_s y la diferencia de temperaturas.

Protocolo de Prueba (Vinil)																
Lugar		La Vega Cardonal, Hidalgo.						Fecha	28/05/2021		Masa_i	4 kg		Masa_f	1.618 kg	
Altitud		1946 msnm		Latitud	20.5945888°			Longitud	-(99.1331518)°		Masa_p	2.382 kg		C_w	4186 J/(kg*°C)	
		°C						W/m ²			m/s			W	°C	
Minutos	Hora	T_{a_i}	T_{a_f}	ΔT_a	T_{w_i}	T_{w_f}	ΔT_w	Rad_i	Rad_f	ΔRad	V_{v_i}	V_{v_f}	ΔV	P_i	P_s	$T_d = T_w - T_a$
0	10:00 - 10:10	24	25	1	23	42	19	1372	1372	1372	0	0	0	530.226667	270.52381	17
10	10:10 - 10:20	25	25	0	42	60	18	1372	1333	1352.5	0	0	0	502.32	259.980776	35
20	10:20 - 10:30	25	25	0	60	72	12	1333	1321	1327	0	0.8	0.8	334.88	176.651093	47
30	10:30 - 10:40	25	25	0	72	82	10	1321	1378	1349.5	0.8	0	-0.8	279.066667	144.754847	57
40	10:40 - 10:50	25	26	1	82	87	5	1378	1400	1389	0	0.8	0.8	139.533333	70.3191745	61
50	10:50 - 11:00	26	26	0	87	88	1	1400	1378	1389	0.8	0	-0.8	27.9066667	14.0638349	62
60	11:00 - 11:10	26	26	0	17	41	24	1378	1377	1377.5	0	0	0	669.76	340.349909	15
70	11:10 - 11:20	26	26	0	41	62	21	1377	1396	1386.5	0	1.1	1.1	586.04	295.873062	36
80	11:20 - 11:30	26	27	1	62	78	16	1396	1340	1368	1.1	0.8	-0.3	446.506667	228.475634	51
90	11:30 - 11:40	27	27	0	78	88	10	1340	1351	1345.5	0.8	0.8	0	279.066667	145.185185	61
100	11:40 - 11:50	27	27	0	88	87	-1	1351	1372	1361.5	0.8	0.8	0	-27.9066667	-14.3479006	60
110	11:50 - 12:00	27	27	0	87	87	0	1372	1372	1372	0.8	0.7	-0.1	0	0	60
120	12:00 - 12:10	27	28	1	16	43	27	1372	1392	1382	0.7	0.8	0.1	753.48	381.646889	15
130	12:10 - 12:20	28	28	0	43	60	17	1392	1325	1358.5	0.8	0.4	-0.4	474.413333	244.452951	32
140	12:20 - 12:30	28	28	0	60	76	16	1325	1396	1360.5	0.4	0.7	0.3	446.506667	229.735146	48
150	12:30 - 12:40	28	29	1	76	84	8	1396	1318	1357	0.7	0	-0.7	223.253333	115.163842	55
160	12:40 - 12:50	29	29	0	84	86	2	1318	1410	1364	0	0	0	55.8133333	28.6432063	57
170	12:50 - 13:00	29	29	0	86	86	0	1410	1437	1423.5	0	0	0	0	0	57
180	13:00 - 13:10	29	30	1	16	44	28	1437	1421	1429	0	1.4	1.4	781.386667	382.764637	14
190	13:10 - 13:20	30	30	0	44	65	21	1421	1383	1402	1.4	1.1	-0.3	586.04	292.601997	35
200	13:20 - 13:30	30	30	0	65	86	21	1383	1388	1385.5	1.1	1.2	0.1	586.04	296.086611	56
210	13:30 - 13:40	30	30	0	86	90	4	1388	1380	1384	1.2	1.2	0	111.626667	56.4585742	60
220	13:40 - 13:50	30	31	1	90	92	2	1380	1352	1366	1.2	0.8	-0.4	55.8133333	28.6012689	61
230	13:50 - 14:00	31	31	0	92	91	-1	1352	1363	1357.5	0.8	1	0.2	-27.9066667	-14.390178	60
240	14:00 - 14:10	31	31	0	91	91	0	1363	1368	1365.5	1	0.8	-0.2	0	0	60

En la gráfica (23) se muestra la regresión lineal y el coeficiente de determinación en la primera hora de prueba.

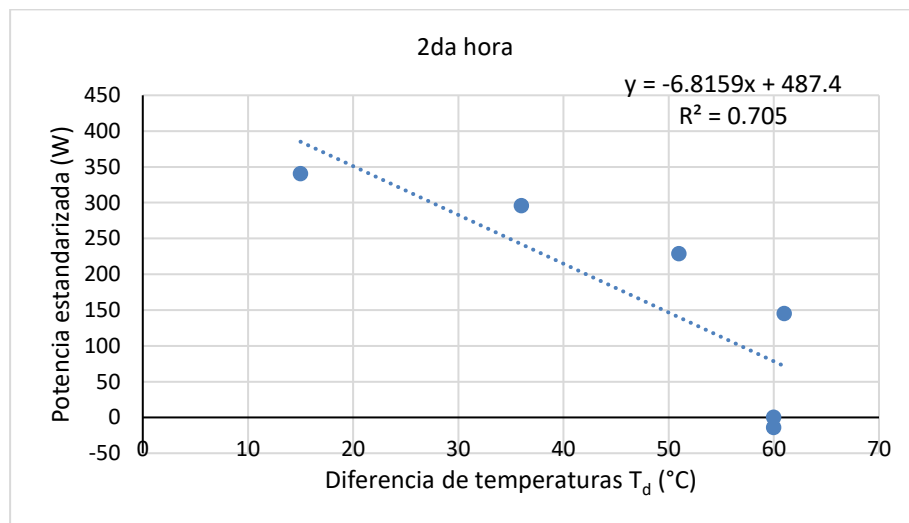


Gráfica 23- Regresión lineal y coeficiente de determinación R^2 para el día 28 de mayo del 2021, primera hora.

Obteniendo la medida única de desempeño en la primera hora para la diferencia de temperaturas en 50 °C en la regresión lineal $y = -5.1963x + 397.68$, tenemos.

$$P_{s,50^{\circ}C} = 137.865 W$$

En la gráfica (24) se muestra la regresión lineal y el coeficiente de determinación en la segunda hora de prueba.

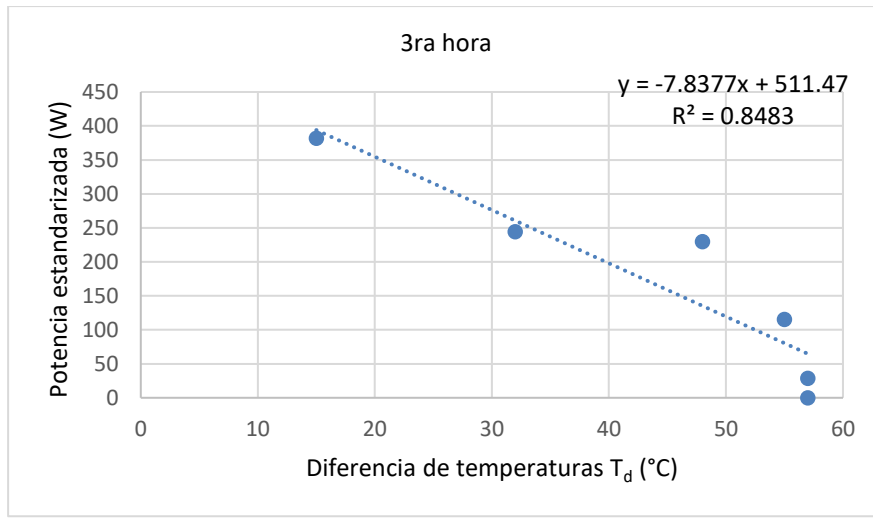


Gráfica 24- Regresión lineal y coeficiente de determinación R^2 para el día 28 de mayo del 2021, segunda hora.

Obteniendo la medida única de desempeño en la segunda hora para la diferencia de temperaturas en 50 °C en la regresión lineal $y = -6.8159x + 487.4$, tenemos.

$$P_{s,50^{\circ}C} = 146.605 W$$

En la gráfica (25) se muestra la regresión lineal y el coeficiente de determinación en la tercera hora de prueba.

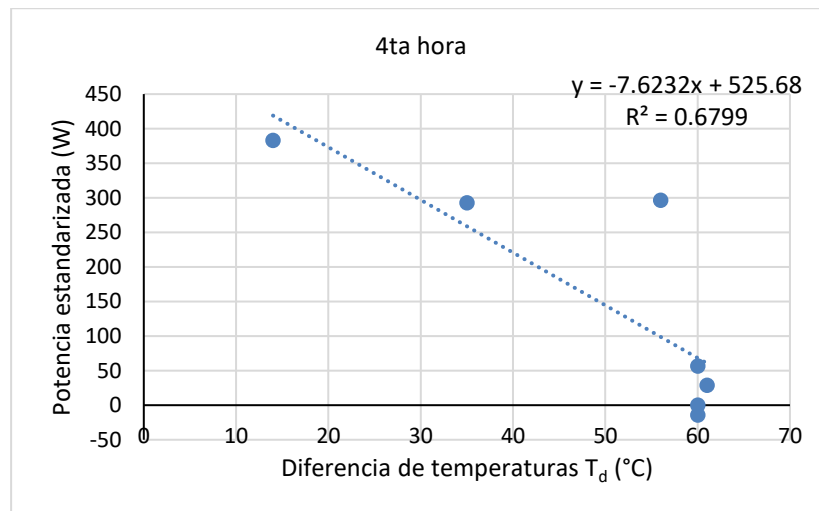


Gráfica 25- Regresión lineal y coeficiente de determinación R^2 para el día 28 de mayo del 2021, tercera hora.

Obteniendo la medida única de desempeño en la tercera hora para la diferencia de temperaturas en $50\text{ }^\circ\text{C}$ en la regresión lineal $y = -7.8377x + 511.47$, tenemos.

$$P_{s,50^\circ\text{C}} = 119.585\text{ W}$$

En la gráfica (26) se muestra la regresión lineal y el coeficiente de determinación en la cuarta hora de prueba.

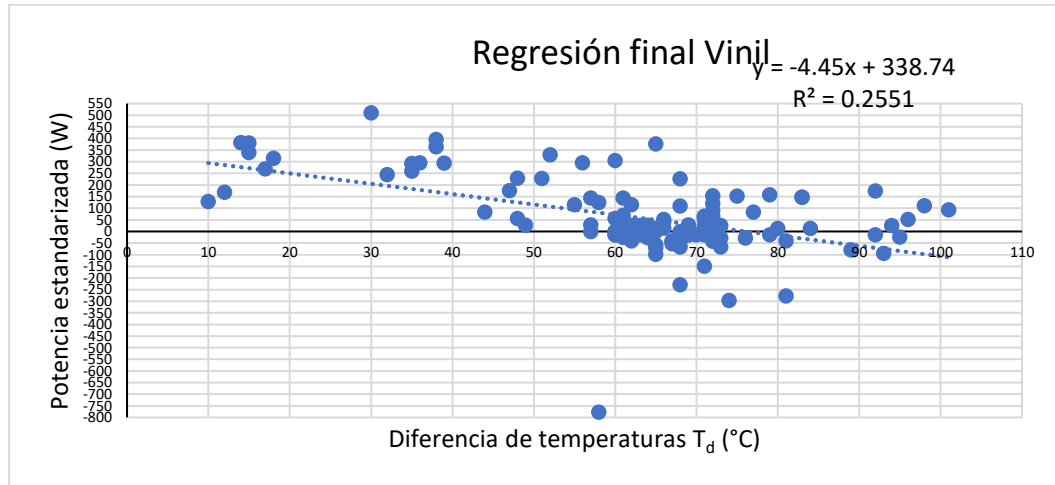


Gráfica 26- Regresión lineal y coeficiente de determinación R^2 para el día 28 de mayo del 2021, cuarta hora.

Obteniendo la medida única de desempeño en la cuarta hora para la diferencia de temperaturas en $50\text{ }^\circ\text{C}$ en la regresión lineal $y = -7.6232x + 525.68$, tenemos.

$$P_{s,50^\circ\text{C}} = 144.52\text{ W}$$

Se realizó una regresión lineal con todos los datos recabados en los días de pruebas con el vinil automotriz como material reflejante y se obtuvo la gráfica (27).



Gráfica 27- Regresión lineal y coeficiente de determinación R^2 para los días de pruebas con el vinil automotriz.

Obteniendo la medida única de desempeño en la cuarta hora para la diferencia de temperaturas en 50 °C en la regresión lineal $y = -4.45x + 338.74$, tenemos.

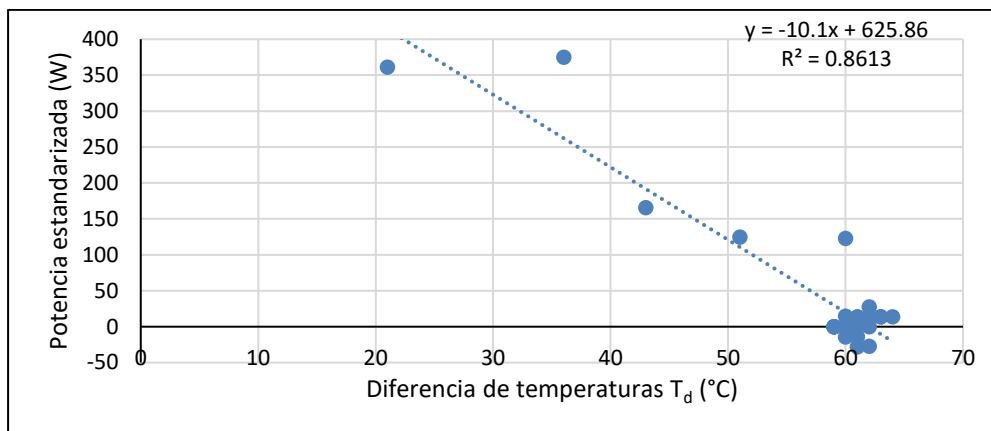
$$P_{s,50^{\circ}C} = 116.24 W$$

Se realizó el cambio del material reflejante implementando papel Mylar en la estufa solar, se procede a la obtención de la regresión lineal, el coeficiente de determinación (R^2) y la medida única de desempeño para el día 9 de junio de 2021 como se muestra en la tabla (22).

Tabla 22- Datos obtenidos del día 9 de junio del 2021, tomado en cuenta P_i , P_s y la diferencia de temperaturas.

Protocolo de Prueba (Mylar)																	
Lugar		La Vega Cardonal, Hidalgo.						Fecha	09/06/2021		Masa_i	4 kg		Masa_f	2.434 kg		
Altitud		1946 msnm		Latitud		20.5945888°		Longitud		-(99.1331518) °		Masa_p	1.566 kg		C_w	4186 J/(kg°C)	
°C																	
W/m ²																	
m/s																	
W																	
°C																	
Minutos	Hora	T_{a_i}	T_{a_f}	ΔT_a	T_{w_i}	T_{w_f}	ΔT_w	Rad_i	Rad_f	ΔRad	V_{v_i}	V_{v_f}	ΔV	P_i	P_s	$T_d = T_w - T_a$	
0	10:00 - 10:10	25	25	0	20	20	46	26	1397	1413	1405	0.1	0.1	0	725.573333	361.495611	21
10	10:10 - 10:20	25	26	1	46	62	62	16	1413	253	833	0.1	0	-0.1	446.506667	375.215686	36
20	10:20 - 10:30	26	26	0	62	69	69	7	253	1396	824.5	0	1.3	1.3	195.346667	165.849202	43
30	10:30 - 10:40	26	27	1	69	78	78	9	1396	1420	1408	1.3	0.7	-0.6	251.16	124.866477	51
40	10:40 - 10:50	27	27	0	78	87	87	9	1420	1442	1431	0.7	0.4	-0.3	251.16	122.859539	60
50	10:50 - 11:00	27	27	0	87	88	88	1	1442	1413	1427.5	0.4	0.9	0.5	27.9066667	13.6845301	61
60	11:00 - 11:10	27	28	1	88	90	90	2	1413	1401	1407	0.9	0.8	-0.1	55.8133333	27.7678275	62
70	11:10 - 11:20	28	28	0	90	91	91	1	1401	1419	1410	0.8	1.2	0.4	27.9066667	13.8543735	63
80	11:20 - 11:30	28	28	0	91	92	92	1	1419	1423	1421	1.2	0.7	-0.5	27.9066667	13.7471264	64
90	11:30 - 11:40	28	28	0	92	90	90	-2	1423	1477	1450	0.7	1.2	0.5	-55.8133333	-26.9443678	62
100	11:40 - 11:50	28	28	0	90	90	90	0	1477	1406	1441.5	1.2	0.7	-0.5	0	0	62
110	11:50 - 12:00	28	28	0	90	89	89	-1	1406	1417	1411.5	0.7	1.8	1.1	-27.9066667	-13.8396505	61
120	12:00 - 12:10	28	29	1	89	90	90	1	1417	1416	1416.5	1.8	0	-1.8	27.9066667	13.7907989	61
130	12:10 - 12:20	29	29	0	90	90	90	0	1416	1440	1428	0	0.8	0.8	0	0	61
140	12:20 - 12:30	29	29	0	90	90	90	0	1440	1394	1417	0.8	0	-0.8	0	0	61
150	12:30 - 12:40	29	29	0	90	91	91	1	1394	1386	1390	0	1.6	1.6	27.9066667	14.053717	62
160	12:40 - 12:50	29	29	0	91	92	92	1	1386	1382	1384	1.6	0.9	-0.7	27.9066667	14.1146435	63
170	12:50 - 13:00	29	29	0	92	90	90	-2	1382	1404	1393	0.9	1.5	0.6	-55.8133333	-28.0469012	61
180	13:00 - 13:10	29	29	0	90	89	89	-1	1404	1388	1396	1.5	0.8	-0.7	-27.9066667	-13.9933142	60
190	13:10 - 13:20	29	30	1	89	89	89	0	1388	1404	1396	0.8	0.8	0	0	0	59
200	13:20 - 13:30	30	30	0	89	89	89	0	1404	1378	1391	0.8	0.8	0	0	0	59
210	13:30 - 13:40	30	30	0	89	89	89	0	1378	1385	1381.5	0.8	1.2	0.4	0	0	59
220	13:40 - 13:50	30	30	0	89	89	89	0	1385	1354	1369.5	1.2	1.2	0	0	0	59
230	13:50 - 14:00	30	30	0	89	90	90	1	1354	1323	1338.5	1.2	1	-0.2	27.9066667	14.5944465	60
240	14:00 - 14:10	30	30	0	90	90	90	0	1323	1350	1336.5	1	1	0	0	0	60

En la gráfica (28) se muestra la regresión lineal y el coeficiente de determinación.



Obteniendo la medida única de desempeño para la diferencia de temperaturas en 50 °C en la regresión lineal $y = -10.1x + 625.86$, tenemos.

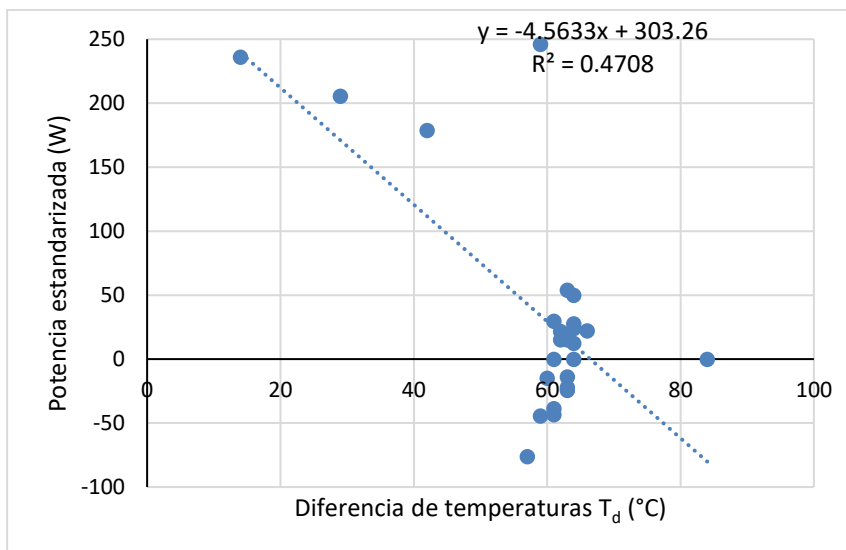
$$P_{s,50^{\circ}C} = 120.86 W$$

Obtención de la regresión lineal, el coeficiente de determinación (R^2) y la medida única de desempeño para el día 10 de junio de 2021, con los datos obtenidos en la tabla (23).

Tabla 23- Datos obtenidos del día 10 de junio del 2021, tomado en cuenta P_i , P_s y la diferencia de temperaturas.

Protocolo de Prueba (MyIar)																
Lugar		La Vega Cardonal, Hidalgo.					Fecha	10/06/2021			Masa_i	4 kg		Masa_f	2.830 kg	
Altitud		1946 msnm		Latitud	20.5945888°		Longitud	-(99.1331518)°			Masa_p	1.170 kg		C_v	4186 J/(kg*°C)	
		°C					W/m ²			m/s			W		°C	
Minutos	Hora	T _{a_i}	T _{a_f}	ΔT _a	T _{w_i}	T _{w_f}	ΔT _w	Rad _i	Rad _f	ΔRad	V _{v_i}	V _{v_f}	ΔV	P _i	P _s	T _g = T _w - T _a
0	10:00 - 10:10	23	23	0	20	37	17	1388	1425	1406.5	0.8	0.8	0	474.413333	236.11044	14
10	10:10 - 10:20	23	23	0	37	52	15	1425	1428	1426.5	0.8	0.9	0.1	418.6	205.411847	29
20	10:20 - 10:30	23	23	0	52	65	13	1428	1414	1421	0.9	1.1	0.2	362.786667	178.712644	42
30	10:30 - 10:40	23	24	1	65	83	18	1414	1443	1428.5	1.1	1.2	0.1	502.32	246.149107	59
40	10:40 - 10:50	24	24	0	83	87	4	1443	1452	1447.5	1.2	1	-0.2	111.626667	53.9818077	63
50	10:50 - 11:00	24	25	1	87	89	2	1452	1386	1419	1	1.4	0.4	55.8133333	27.5330045	64
60	11:00 - 11:10	25	25	0	89	88	-1	1386	1436	1411	1.4	1.4	0	-27.9066667	-13.8445547	63
70	11:10 - 11:20	25	25	0	88	89	1	1436	197	816.5	1.4	1.2	-0.2	27.9066667	23.9248826	64
80	11:20 - 11:30	25	24	-1	89	90	1	197	1562	879.5	1.2	1.5	0.3	27.9066667	22.2111048	66
90	11:30 - 11:40	24	25	1	90	88	-2	1562	1646	1604	1.5	0.8	-0.7	-55.8133333	-24.3574397	63
100	11:40 - 11:50	25	25	0	88	89	1	1646	1503	1574.5	0.8	1.4	0.6	27.9066667	12.4069017	64
110	11:50 - 12:00	25	26	1	89	87	-2	1503	515	1009	1.4	1.2	-0.2	-55.8133333	-38.7208457	61
120	12:00 - 12:10	26	26	0	87	88	1	515	1296	905.5	1.2	0.9	-0.3	27.9066667	21.5733481	62
130	12:10 - 12:20	26	27	1	88	88	0	1296	1357	1326.5	0.9	0	-0.9	0	0	61
140	12:20 - 12:30	27	27	0	88	89	1	1357	1240	1298.5	0	1.1	1.1	27.9066667	15.0440252	62
150	12:30 - 12:40	27	27	0	89	90	1	1240	1321	1280.5	1.1	0	-1.1	27.9066667	15.2554992	63
160	12:40 - 12:50	27	28	1	90	87	-3	1321	1319	1320	0	0.8	0.8	-83.72	-44.3969697	59
170	12:50 - 13:00	28	28	0	87	89	2	1319	1318	1318.5	0.8	1.3	0.5	55.8133333	29.6316521	61
180	13:00 - 13:10	28	28	0	89	88	-1	1318	1324	1321	1.3	1.4	0.1	-27.9066667	-14.787787	60
190	13:10 - 13:20	28	27	-1	88	91	3	1324	1028	1176	1.4	1.5	0.1	83.72	49.8333333	64
200	13:20 - 13:30	27	27	0	91	91	0	1028	1051	1039.5	1.5	1.6	0.1	0	0	64
210	13:30 - 13:40	27	27	0	91	90	-1	1051	710	880.5	1.6	1.4	-0.2	-27.9066667	-22.1858792	63
220	13:40 - 13:50	27	27	0	90	88	-2	710	1086	898	1.4	1.6	0.2	-55.8133333	-43.5070527	61
230	13:50 - 14:00	27	27	0	88	84	-4	1086	965	1025.5	1.6	1.3	-0.3	-111.626667	-76.1956769	57
240	14:00 - 14:10	27		-27	84	84	0	965		482.5	1.3		-1.3	0	0	84

En la gráfica (29) se muestra la regresión lineal y el coeficiente de determinación.



Gráfica 29- Regresión lineal y coeficiente de determinación R^2 para el día 10 de junio del 2021.

Obteniendo la medida única de desempeño para la diferencia de temperaturas en 50 °C en la regresión lineal $y = -4.5633x + 303.26$, tenemos.

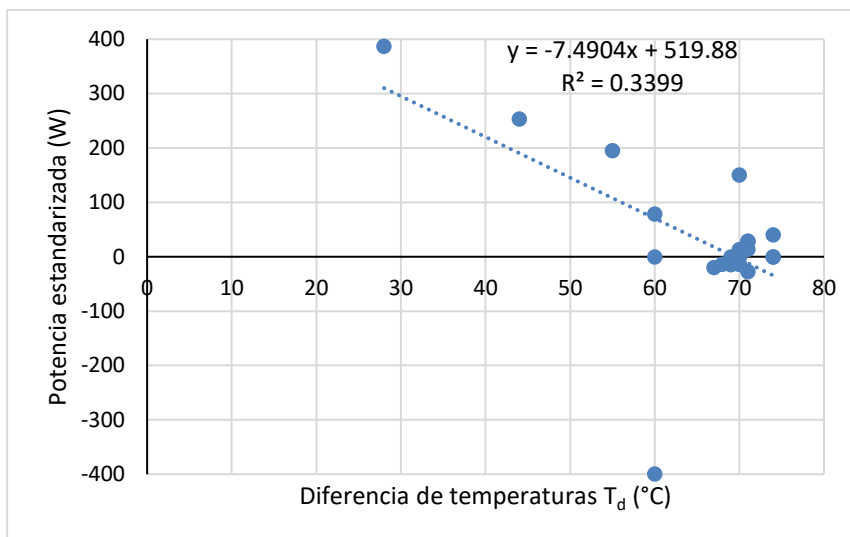
$$P_{s,50^{\circ}C} = 75.095 W$$

Obtención de la regresión lineal, el coeficiente de determinación (R^2) y la medida única de desempeño para el día 25 de junio de 2021, con los datos obtenidos en la tabla (24).

Tabla 24- Datos obtenidos del día 25 de junio del 2021, tomado en cuenta P_i , P_s y la diferencia de temperaturas.

Protocolo de Prueba (Mylar)																	
Lugar		La Vega Cardonal, Hidalgo.						Fecha	25/06/2021		Masa i	4 kg		Masa f	2.226 kg		
Altitud		1946 msnm		Latitud		20.5945888°		Longitud	-(99.1331518) °		Masa p	1.774 kg		C_w	4186 J/(kg*°C)		
		°C						W/m ²			m/s			W		°C	
Minutos	Hora	T _{a_i}	T _{a_f}	ΔT _a	T _{w_i}	T _{w_f}	ΔT _w	Rad _i	Rad _f	ΔRad	V _{v_i}	V _{v_f}	ΔV	P _i	P _s	T _d = T _w - T _a	
0	10:00 - 10:10	20	20	0	20	48	28	1386	1440	1413	1.4	1	-0.4	781.386667	387.098844	28	
10	10:10 - 10:20	20	20	0	48	64	16	1440	1028	1234	1	0.8	-0.2	446.506667	253.285791	44	
20	10:20 - 10:30	20	20	0	64	75	11	1028	1172	1100	0.8	0.8	0	306.973333	195.346667	55	
30	10:30 - 10:40	20	20	0	75	80	5	1172	1305	1238.5	0.8	1	0.2	139.533333	78.8642175	60	
40	10:40 - 10:50	20	20	0	80	90	10	1305	1288	1296.5	1	1.6	0.6	279.066667	150.672323	70	
50	10:50 - 11:00	20	21	1	90	92	2	1288	1430	1359	1.6	1.2	-0.4	55.8133333	28.7485896	71	
60	11:00 - 11:10	21	21	0	92	95	3	1430	1469	1449.5	1.2	1.2	0	83.72	40.4304933	74	
70	11:10 - 11:20	21	21	0	95	95	0	1469	1165	1317	1.2	1.3	0.1	0	0	74	
80	11:20 - 11:30	21	21	0	95	95	0	1165	1445	1305	1.3	0.8	-0.5	0	0	74	
90	11:30 - 11:40	21	22	1	95	93	-2	1445	1423	1434	0.8	0.8	0	-55.8133333	-27.2450023	71	
100	11:40 - 11:50	22	22	0	93	92	-1	1423	1419	1421	0.8	1.5	0.7	-27.9066667	-13.7471264	70	
110	11:50 - 12:00	22	22	0	92	92	0	1419	1413	1416	1.5	0.9	-0.6	0	0	70	
120	12:00 - 12:10	22	22	0	92	93	1	1413	1418	1415.5	0.9	1.1	0.2	27.9066667	13.8005416	71	
130	12:10 - 12:20	22	23	1	93	93	0	1418	1431	1424.5	1.1	1.5	0.4	0	0	70	
140	12:20 - 12:30	23	23	0	93	92	-1	1431	1280	1355.5	1.5	0.8	-0.7	-27.9066667	-14.4114103	69	
150	12:30 - 12:40	23	23	0	92	94	2	1280	1460	1370	0.8	1.5	0.7	55.8133333	28.5177616	71	
160	12:40 - 12:50	23	23	0	94	93	-1	1460	1460	1460	1.5	1.2	-0.3	-27.9066667	-13.3799087	70	
170	12:50 - 13:00	23	24	1	93	94	1	1460	1488	1474	1.2	1.2	0	27.9066667	13.2528268	70	
180	13:00 - 13:10	24	24	0	94	94	0	1488	1424	1456	1.2	1.8	0.6	0	0	70	
190	13:10 - 13:20	24	24	0	94	93	-1	1424	1430	1427	1.8	2	0.2	-27.9066667	-13.6893249	69	
200	13:20 - 13:30	24	24	0	93	93	0	1430	1442	1436	2	1	-1	0	0	69	
210	13:30 - 13:40	24	24	0	93	92	-1	1442	1424	1433	1	1.3	0.3	-27.9066667	-13.6320074	68	
220	13:40 - 13:50	24	24	0	92	91	-1	1424	590	1007	1.3	1.5	0.2	-27.9066667	-19.3988745	67	
230	13:50 - 14:00	24	23	-1	91	83	-8	590	193	391.5	1.5	2	0.5	-223.2533333	-399.175819	60	
240	14:00 - 14:10	23	23	0	83	83	0	193	650	421.5	2	1.8	-0.2	0	0	60	

En la gráfica (30) se muestra la regresión lineal y el coeficiente de determinación.



Gráfica 30- Regresión lineal y coeficiente de determinación R² para el día 25 de junio del 2021.

Obteniendo la medida única de desempeño para la diferencia de temperaturas en 50 °C en la regresión lineal $y = -7.4904x + 519.88$, tenemos.

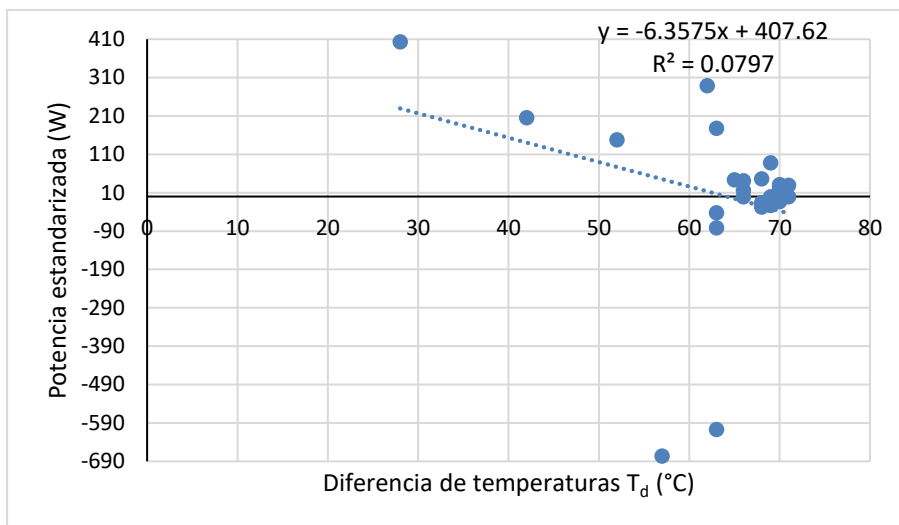
$$P_{s,50^{\circ}C} = 145.36 W$$

Obtención de la regresión lineal, el coeficiente de determinación (R²) y la medida única de desempeño para el día 26 de junio de 2021, con los datos mostrados en la tabla (25).

Tabla 25- Datos obtenidos del día 26 de junio del 2021, tomado en cuenta P_i, P_s y la diferencia de temperaturas.

Protocolo de Prueba (Mylar)																
Lugar		La Vega Cardonal, Hidalgo.					Fecha	26/06/2021			Masa i	4 kg	Masa f	3.328 kg		
Altitud		1946 msnm		Latitud		20.5945888°	Longitud		-99.1331518°			Masa p	0.672 kg	C _v	4186 J/[kg*°C]	
		°C					W/m ²			m/s			W		°C	
Minutos	Hora	T _{a_i}	T _{a_f}	ΔT _a	T _{w_i}	T _{w_f}	ΔT _w	Rad _i	Rad _f	ΔRad	V _{v_i}	V _{v_f}	ΔV	P _i	P _s	T _d = T _w - T _a
0	10:00 - 10:10	20	20	0	19	48	29	1445	1364	1404.5	0	0	0	809.293333	403.350184	28
10	10:10 - 10:20	20	20	0	48	62	14	1364	1295	1329.5	0	0	0	390.693333	205.705403	42
20	10:20 - 10:30	20	20	0	62	72	10	1295	1340	1317.5	0	0	0	279.066667	148.270715	52
30	10:30 - 10:40	20	21	1	72	84	12	1340	1285	1312.5	0	0	0	334.88	178.602667	63
40	10:40 - 10:50	21	21	0	84	90	6	1285	1380	1332.5	0	0.8	0.8	167.44	87.9609756	69
50	10:50 - 11:00	21	21	0	90	92	2	1380	1245	1312.5	0.8	0.2	-0.6	55.8133333	29.7671111	71
60	11:00 - 11:10	21	21	0	92	92	0	1245	1525	1385	0.2	0.7	0.5	0	0	71
70	11:10 - 11:20	21	21	0	92	91	-1	1525	1461	1493	0.7	0.8	0.1	-27.9066667	-13.0841706	70
80	11:20 - 11:30	21	22	1	91	91	0	1461	1550	1505.5	0.8	1	0.2	0	0	69
90	11:30 - 11:40	22	22	0	91	90	-1	1550	1035	1292.5	1	0.4	-0.6	-27.9066667	-15.113862	68
100	11:40 - 11:50	22	22	0	90	92	2	1035	1470	1252.5	0.4	0.6	0.2	55.8133333	31.1930805	70
110	11:50 - 12:00	22	22	0	92	91	-1	1470	254	862	0.6	0	-0.6	-27.9066667	-22.6620263	69
120	12:00 - 12:10	22	22	0	91	92	1	254	1477	865.5	0	0.9	0.9	27.9066667	22.5703832	70
130	12:10 - 12:20	22	22	0	92	90	-2	1477	1380	1428.5	0.9	0.7	-0.2	-55.8133333	-27.3499008	68
140	12:20 - 12:30	22	22	0	90	92	2	1380	1435	1407.5	0.7	0.8	0.1	55.8133333	27.7579633	70
150	12:30 - 12:40	22	23	1	92	86	-6	1435	1466	1450.5	0.8	0.8	0	-167.44	-80.8052396	63
160	12:40 - 12:50	23	23	0	86	89	3	1466	1391	1428.5	0.8	0.9	0.1	83.72	41.0248512	66
170	12:50 - 13:00	23	23	0	89	86	-3	1391	1423	1407	0.9	1.1	0.2	-83.72	-41.6517413	63
180	13:00 - 13:10	23	24	1	86	89	3	1423	1257	1340	1.1	0.8	-0.3	83.72	43.743284	65
190	13:10 - 13:20	24	24	0	89	90	1	1257	1176	1216.5	0.8	1.1	0.3	27.9066667	16.0580901	66
200	13:20 - 13:30	24	24	0	90	90	0	1176	650	913	1.1	1.2	0.1	0	0	66
210	13:30 - 13:40	24	23	-1	90	91	1	650	195	422.5	1.2	1.4	0.2	27.9066667	46.2358974	68
220	13:40 - 13:50	23	23	0	91	86	-5	195	127	161	1.4	1.2	-0.2	-139.533333	-606.666667	63
230	13:50 - 14:00	23	23	0	86	80	-6	127	220	173.5	1.2	1.2	0	-167.44	-675.550432	57
240	14:00 - 14:10	23	23	0	80	85	5	220	456	338	1.2	1.4	0.2	139.533333	288.974359	62

En la gráfica (31) se muestra la regresión lineal y el coeficiente de determinación.



Gráfica 31- Regresión lineal y coeficiente de determinación R2 para el día 26 de junio del 2021.

Obteniendo la medida única de desempeño para la diferencia de temperaturas en 50 °C en la regresión lineal $y = -6.3575x + 407.62$, tenemos.

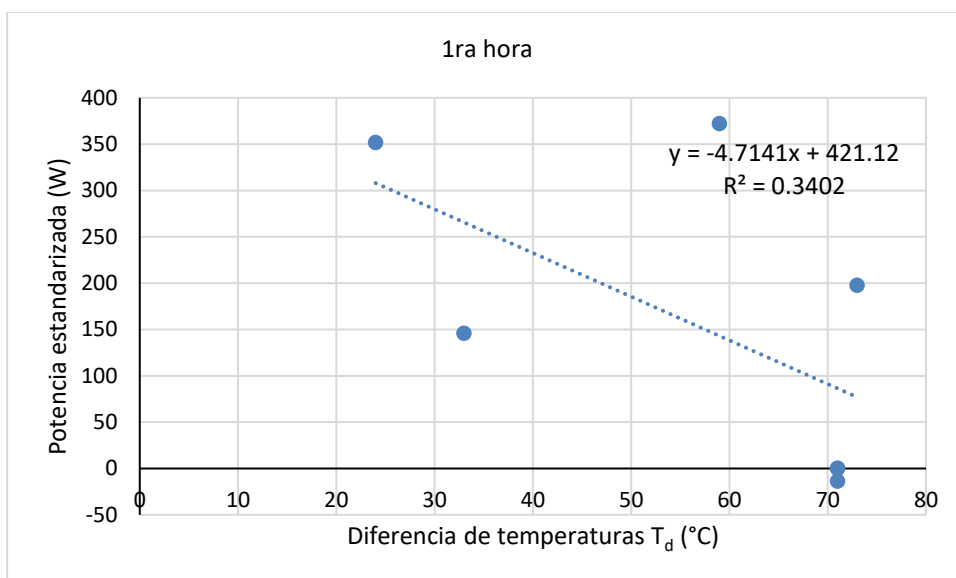
$$P_{s,50^{\circ}C} = 89.745 W$$

Obtención de la regresión lineal, el coeficiente de determinación (R^2) y la medida única de desempeño para el día 20 de julio de 2021, las pruebas se realizaron con dos ollas de cocción los cuales se cambiaron cada hora con la misma carga de 4 kg de agua, se realizó la gráfica independiente por cada hora, así como la obtención de la regresión lineal y el cálculo de la medida única de desempeño, los datos obtenidos se muestran en la tabla (26).

Tabla 26- Datos obtenidos del día 20 de julio del 2021, tomado en cuenta P_i , P_s y la diferencia de temperaturas.

Protocolo de Prueba																
Lugar		La Vega Cardonal, Hidalgo.						Fecha	20/07/2021		Masa	4		kg		
Altitud		1946 msnm		Latitud	20.5945888°		Longitud	-(99.1331518)°		C_p	4186		J/(kg°C)			
		°C						W/m ²			m/s		W	°C		
Minutos	Hora	T_{a_i}	T_{a_f}	ΔT_a	T_{w_i}	T_{w_f}	ΔT_w	Rad _i	Rad _f	ΔRad	V_{v_i}	V_{v_f}	ΔV	P_i	P_s	$T_d = T_w - T_a$
0	10:00 - 10:10	22	22	0	22	46	24	1343	1324	1333.5	0.8	0	-0.8	669.76	351.580052	24
10	10:10 - 10:20	22	23	1	46	56	10	1324	1358	1341	0	0.1	0.1	279.066667	145.672384	33
20	10:20 - 10:30	23	23	0	56	82	26	1358	1373	1365.5	0.1	0	-0.1	725.573333	371.952642	59
30	10:30 - 10:40	23	23	0	82	96	14	1373	1396	1384.5	0	0.1	0.1	390.693333	197.533646	73
40	10:40 - 10:50	23	24	1	96	95	-1	1396	1402	1399	0.1	0.2	0.1	-27.9066667	-13.9633071	71
50	10:50 - 11:00	24	24	0	95	95	0	1402	1405	1403.5	0.2	1	0.8	0	0	71
60	11:00 - 11:10	24	24	0	20	44	24	1405	1407	1406	1	0	-1	669.76	333.450925	20
70	11:10 - 11:20	24	24	0	44	60	16	1407	1428	1417.5	0	0	0	446.506667	220.497119	36
80	11:20 - 11:30	24	25	1	60	80	20	1428	1468	1448	0	0	0	558.133333	269.815838	55
90	11:30 - 11:40	25	25	0	80	90	10	1468	1455	1461.5	0	0	0	279.066667	133.661763	65
100	11:40 - 11:50	25	26	1	90	90	0	1455	1511	1483	0	0.8	0.8	0	0	64
110	11:50 - 12:00	26	26	0	90	96	6	1511	1495	1503	0.8	0.8	0	167.44	77.9827013	70
120	12:00 - 12:10	26	26	0	20	44	24	1495	1443	1469	0.8	1.3	0.5	669.76	319.150442	18
130	12:10 - 12:20	26	26	0	44	60	16	1443	1455	1449	1.3	1	-0.3	446.506667	215.703704	34
140	12:20 - 12:30	26	26	0	60	78	18	1455	1483	1469	1	1	0	502.32	239.362832	52
150	12:30 - 12:40	26	26	0	78	88	10	1483	1444	1463.5	1	1.8	0.8	279.066667	133.479103	62
160	12:40 - 12:50	26	26	0	88	91	3	1444	1473	1458.5	1.8	1.5	-0.3	83.72	40.1810079	65
170	12:50 - 13:00	26	26	0	91	88	-3	1473	1478	1475.5	1.5	1.2	-0.3	-83.72	-39.7180617	62
180	13:00 - 13:10	26	26	0	20	49	29	1478	1403	1440.5	1.2	1.8	0.6	809.293333	393.269929	23
190	13:10 - 13:20	26	26	0	49	59	10	1403	1486	1444.5	1.8	0.9	-0.9	279.066667	135.234799	33
200	13:20 - 13:30	26	25	-1	59	74	15	1486	1570	1528	0.9	1.5	0.6	418.6	191.767016	49
210	13:30 - 13:40	25	25	0	74	75	1	1570	1458	1514	1.5	1.2	-0.3	27.9066667	12.902686	50
220	13:40 - 13:50	25	25	0	75	85	10	1458	1303	1380.5	1.2	1.5	0.3	279.066667	141.504286	60
230	13:50 - 14:00	25	25	0	85	90	5	1303	1370	1336.5	1.5	1.5	0	139.533333	73.0814316	65
240	14:00 - 14:10	25	25	0	90	95	5	1370	1485	1427.5	1.5	1.6	0.1	139.533333	68.4226503	70

En la gráfica (32) se muestra la regresión lineal y el coeficiente de determinación en la primera hora de prueba.

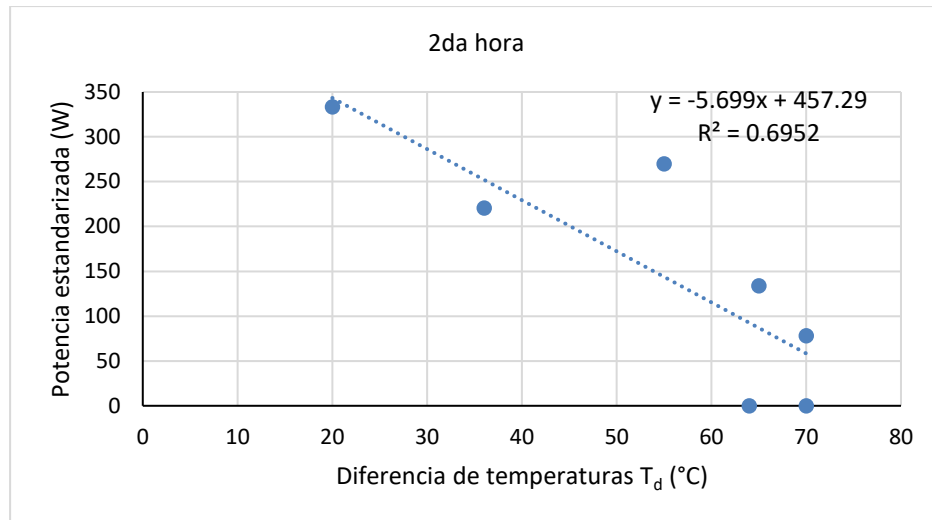


Gráfica 32- Regresión lineal y coeficiente de determinación R^2 para el día 20 de julio del 2021, primera hora.

Obteniendo la medida única de desempeño en la primera hora para la diferencia de temperaturas en 50 °C en la regresión lineal $y = -4.7141x + 421.12$, tenemos.

$$P_{s,50^{\circ}C} = 185.415 \text{ W}$$

En la gráfica (33) se muestra la regresión lineal y el coeficiente de determinación en la segunda hora de prueba.

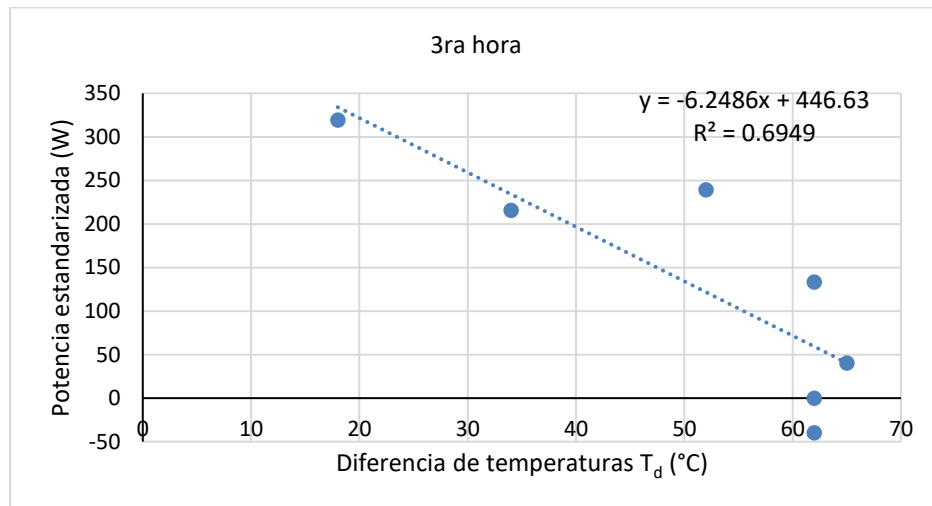


Gráfica 33- Regresión lineal y coeficiente de determinación R^2 para el día 20 de julio del 2021, segunda hora.

Obteniendo la medida única de desempeño en la segunda hora para la diferencia de temperaturas en 50 °C en la regresión lineal $y = -5,699x + 457,29$, tenemos.

$$P_{s,50^{\circ}C} = 172,34 W$$

En la gráfica (34) se muestra la regresión lineal y el coeficiente de determinación en la tercera hora de prueba.

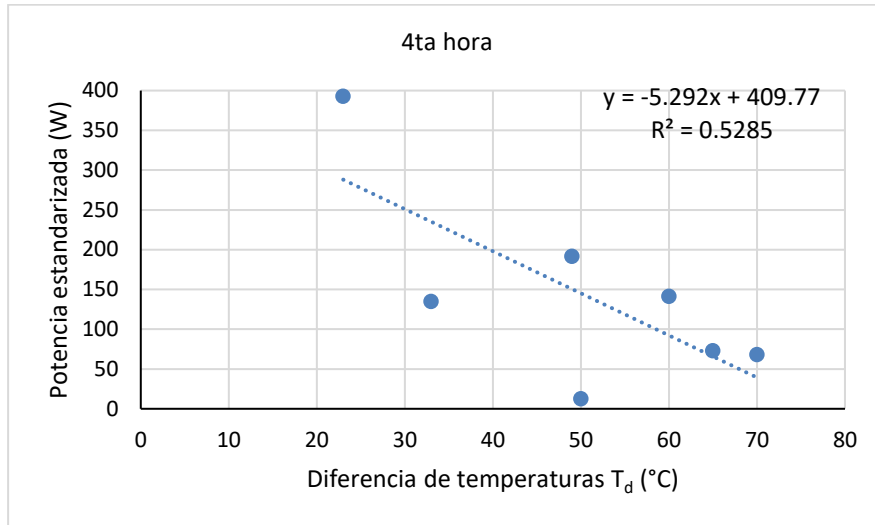


Gráfica 34- Regresión lineal y coeficiente de determinación R^2 para el día 20 de julio del 2021, tercera hora.

Obteniendo la medida única de desempeño en la tercera hora para la diferencia de temperaturas en 50 °C en la regresión lineal $y = -6,2486x + 446,63$, tenemos.

$$P_{s,50^{\circ}C} = 134,2 W$$

En la gráfica (35) se muestra la regresión lineal y el coeficiente de determinación en la cuarta hora de prueba.

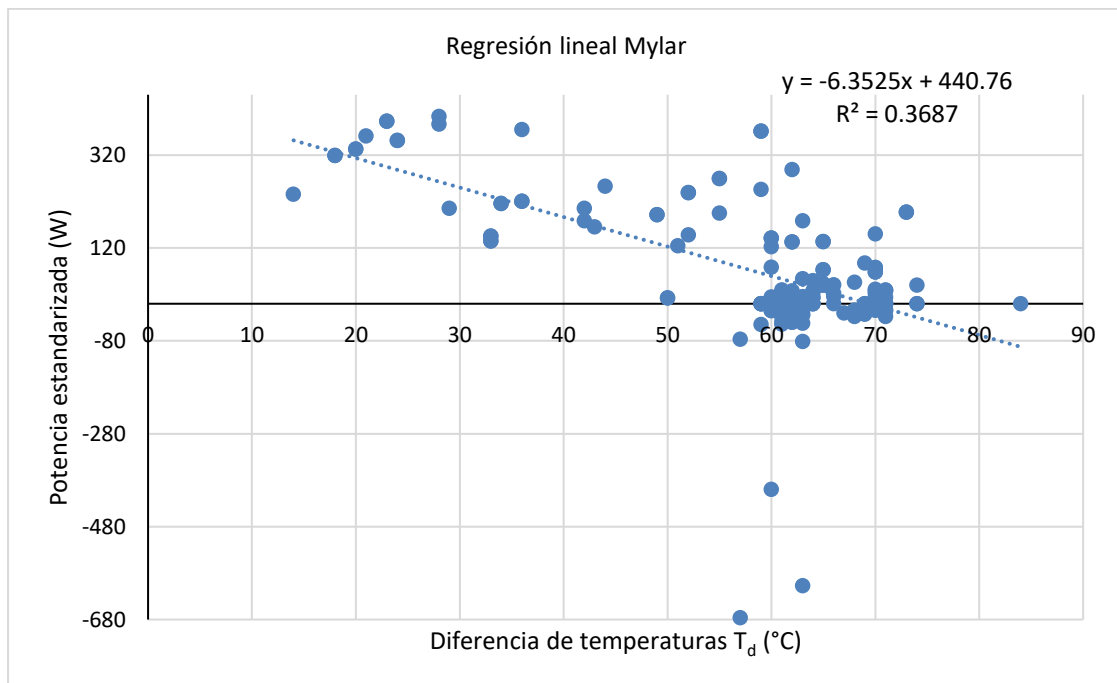


Gráfica 35- Regresión lineal y coeficiente de determinación R^2 para el día 20 de julio del 2021, cuarta hora.

Obteniendo la medida única de desempeño en la cuarta hora para la diferencia de temperaturas en 50 °C en la regresión lineal $y = -5.292x + 409.77$, tenemos.

$$P_{s,50^{\circ}C} = 145.17 \text{ W}$$

Se realizó una regresión lineal con todos los datos recabados en los días de pruebas con el papel Mylar como material reflejante y se obtuvo la gráfica (36).



Gráfica 36- Regresión lineal y coeficiente de determinación R^2 para los días de pruebas con el papel Mylar.

Obteniendo la medida única de desempeño en la cuarta hora para la diferencia de temperaturas en 50 °C en la regresión lineal $y = -6.3525x + 440.76$, tenemos.

$$P_{s,50^{\circ}C} = 123.135 W$$

Se determinó la potencia de la radiación solar de acuerdo con Pérez [17] como se muestra en la siguiente ecuación:

$$P = IA$$

Para conocer la eficiencia energética tomamos en cuenta lo aportado por Panwar [18], entonces la eficiencia energética se puede calcular con la siguiente ecuación:

$$\eta = \frac{E_{salida}}{E_{entrada}} = \frac{mC_v(T_2 - T_1)}{IA_a(t_2 - t_1)}$$

Para el cálculo de exergía de la estufa solar parabólica, se toma lo propuesto por Pandey [19], quien propuso la siguiente ecuación.

$$\psi = \frac{E_{xo}}{E_{xi}} = \frac{mC_v \left[(T_2 - T_1) - \left(T_a \ln \frac{T_2}{T_1} \right) \right]}{IA_a(t_2 - t_1) \left[1 + \frac{1}{3} \left(\frac{T_a}{T_s} \right)^4 - \frac{4}{3} \frac{T_a}{T_s} \right]}$$

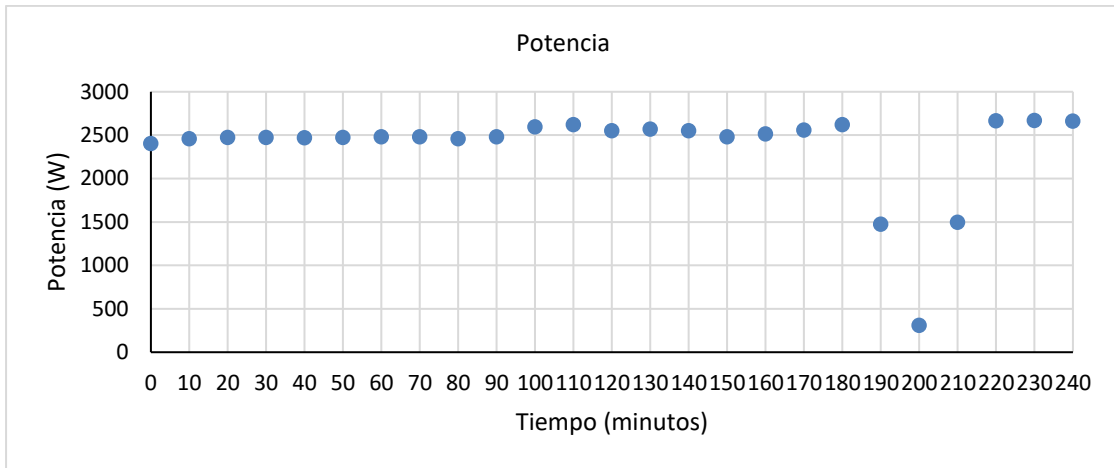
De los datos obtenidos en las pruebas realizadas a la estufa solar podemos conocer la potencia por metro cuadrado que nos otorga el sol, la eficiencia energética y la eficiencia exergética.

Para el día 19 de mayo de 2021 se realizaron las pruebas con el vinil automotriz como reflejante, se obtuvieron los valores de la tabla (27).

Tabla 27- Cálculo de la potencia, eficiencia energética y exergética del día 19 de mayo del 2021.

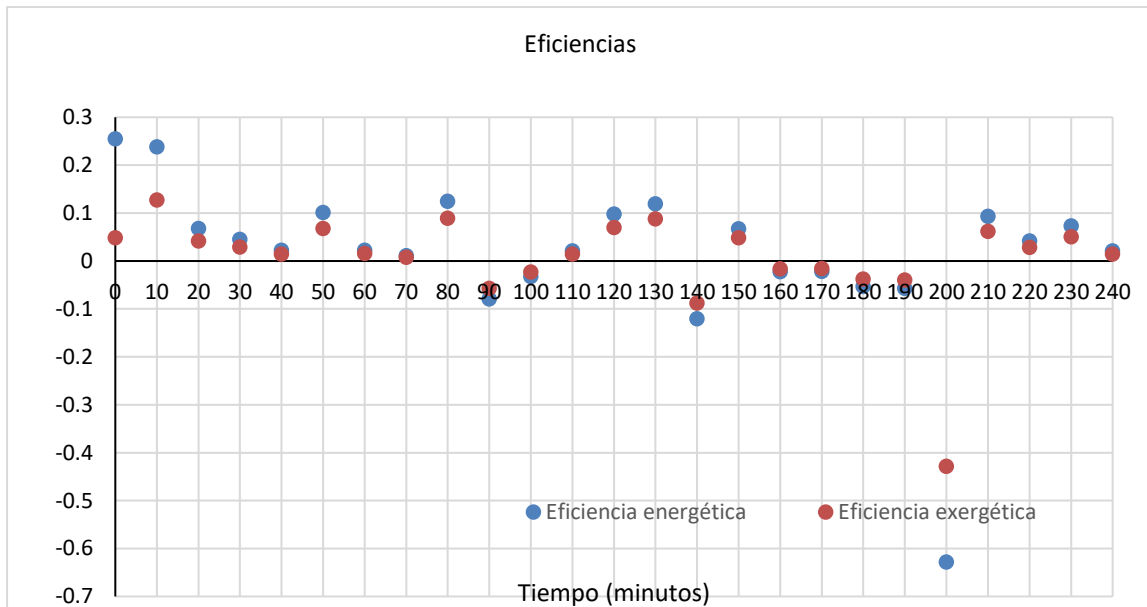
Potencia	Eficiencia	Exergia
2406.7902	0.255089399	0.048342551
2459.8032	0.238246702	0.127107014
2475.7071	0.067633203	0.041744135
2475.7071	0.045088802	0.029032467
2470.4058	0.022592779	0.014562588
2475.7071	0.101449804	0.067808737
2484.5426	0.022464229	0.015761361
2482.7755	0.011240109	0.007943388
2459.8032	0.124795892	0.089115514
2481.89195	-0.078708772	-0.056686566
2596.75345	-0.032240258	-0.022730356
2624.1435	0.021269162	0.014720185
2554.34305	0.098326652	0.06975589
2572.01405	0.119351344	0.08791074
2551.6924	-0.120301857	-0.087445026
2484.5426	0.067392686	0.048558089
2515.46685	-0.022188062	-0.016320792
2561.41145	-0.021790069	-0.015701805
2622.3764	-0.053208736	-0.037823652
1478.17915	-0.056637249	-0.039585971
311.0096	-0.628104942	-0.42859596
1499.38435	0.093060417	0.062121591
2669.20455	0.041820199	0.02857676
2672.73875	0.073088575	0.050452128
2664.7868	0.020944765	0.014531694

En la gráfica (37) se muestra la potencia de la estufa solar.



Gráfica 37- Potencia de la estufa solar en el día 19 de mayo de 2021.

En la gráfica (38) se muestra la eficiencia energética y exergética para el día 19 de mayo del 2021.



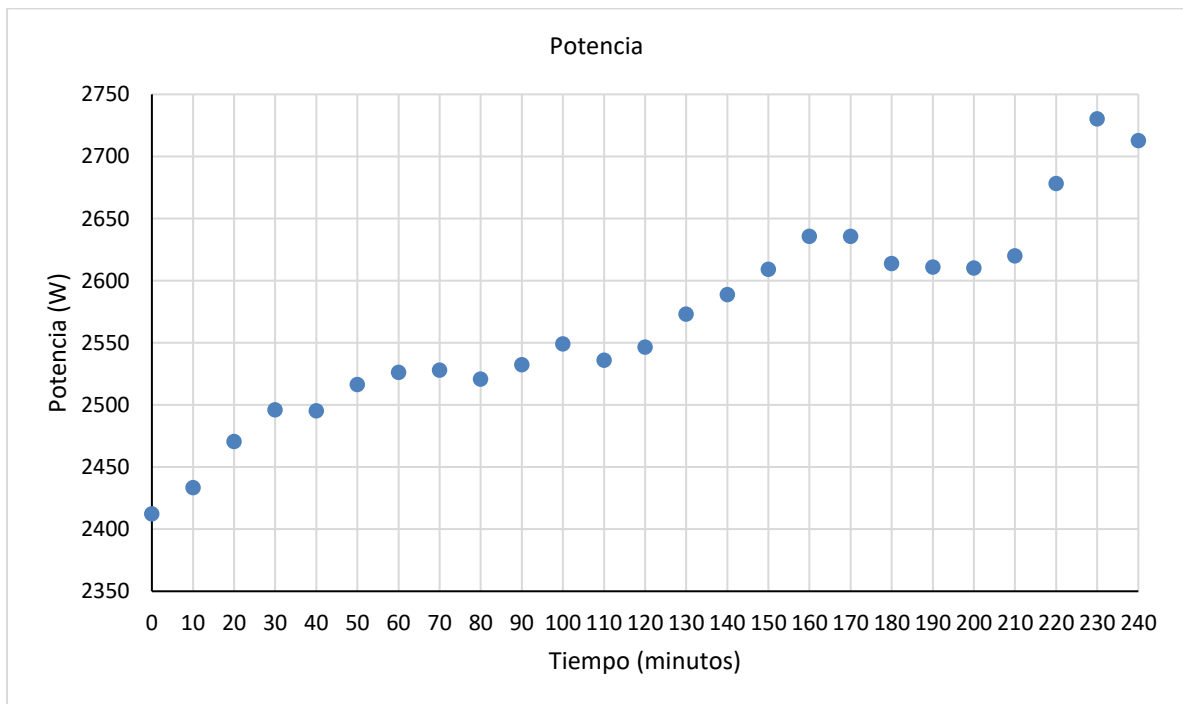
Gráfica 38- Eficiencia energética y exergética de la estufa solar en el día 19 de mayo del 2021.

Datos del día 20 de mayo se muestran en la tabla (28).

Tabla 28- Cálculo de la potencia, eficiencia energética y exergética del día 20 de mayo del 2021.

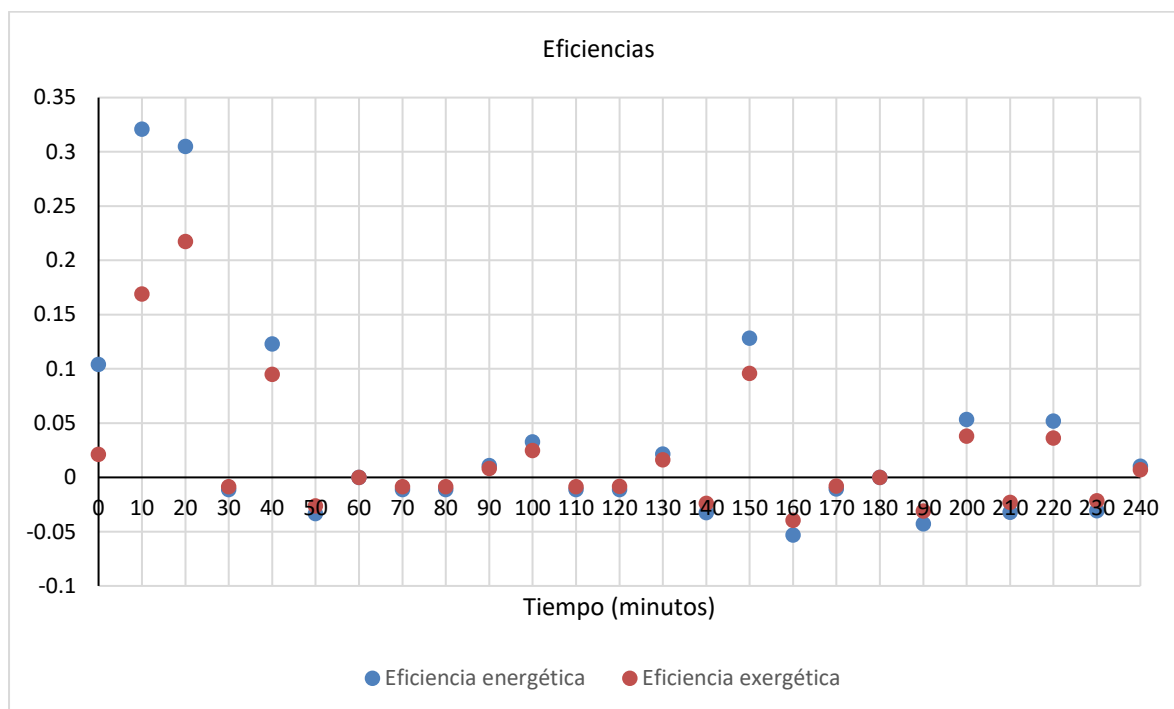
Potencia	Eficiencia	Exergia
2412.0915	0.104125403	0.021490364
2433.2967	0.321122643	0.1690902
2470.4058	0.305002522	0.217596999
2496.02875	-0.011180427	-0.008493
2495.1452	0.123028244	0.095040828
2516.3504	-0.033270406	-0.026027054
2526.06945	0	0
2527.83655	-0.011039743	-0.008462961
2520.76815	-0.011070699	-0.008458758
2532.2543	0.011020483	0.008297232
2549.04175	0.032843715	0.024898878
2535.7885	-0.011005124	-0.008371053
2546.3911	-0.010959301	-0.008188643
2572.8976	0.021692792	0.016237249
2588.8015	-0.032339289	-0.023809417
2609.12315	0.128349633	0.095994423
2635.62965	-0.052941176	-0.039529656
2635.62965	-0.010588235	-0.007825893
2613.5409	0	0
2610.89025	-0.042754255	-0.030857045
2610.0067	0.05346091	0.038093739
2619.72575	-0.031957544	-0.022865803
2678.04005	0.052102781	0.036346848
2730.1695	-0.030664763	-0.021484952
2712.4985	0.010288178	0.007177662

En la gráfica (39) se muestra la potencia de la estufa solar.



Gráfica 39- Potencia de la estufa solar en el día 20 de mayo de 2021.

En la gráfica (40) se muestra la eficiencia energética y exérgica para el día 20 de mayo del 2021.



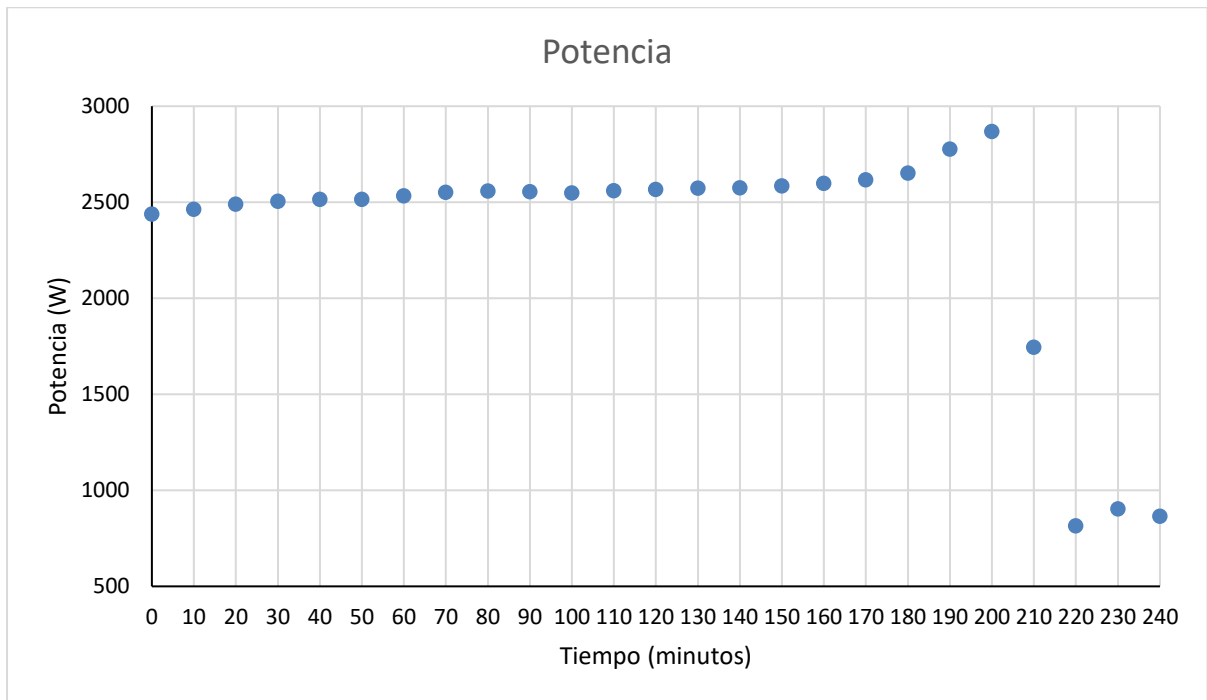
Gráfica 40-Eficiencia energética y exérgica de la estufa solar en el día 20 de mayo del 2021.

Datos del día 21 de mayo de 2021 se muestran en la tabla (29).

Tabla 29- Cálculo de la potencia, eficiencia energética y exérgica del día 21 de mayo del 2021.

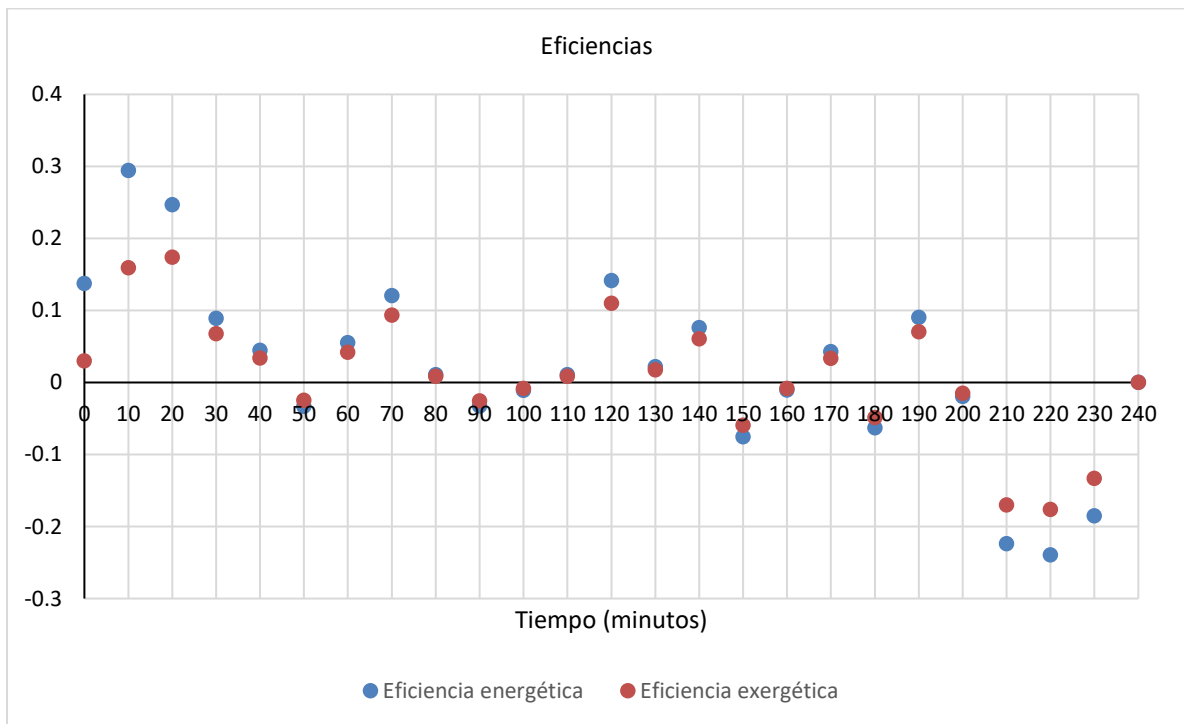
Potencia	Eficiencia	Exergía
2438.598	0.137324807	0.029609447
2464.22095	0.294443294	0.158975113
2489.8439	0.246580385	0.173651735
2504.86425	0.089127917	0.067563639
2515.46685	0.044376123	0.03384783
2515.46685	-0.033282092	-0.02505716
2534.0214	0.055063992	0.041599603
2551.6924	0.120301857	0.093178808
2558.7608	0.010906321	0.008586248
2555.2266	-0.032764217	-0.025728917
2548.1582	-0.010951701	-0.00844717
2559.64435	0.010902556	0.008409264
2567.5963	0.141294278	0.109651823
2572.8976	0.021692792	0.017143229
2575.54825	0.075846634	0.060508706
2584.38375	-0.07558733	-0.059668777
2597.637	-0.010743097	-0.008406416
2616.19155	0.04266762	0.033500143
2652.4171	-0.063127326	-0.048906936
2776.99765	0.090443001	0.070312934
2868.88685	-0.0194547	-0.015085411
1745.01125	-0.223891584	-0.170147984
815.51665	-0.239537313	-0.176470104
903.87165	-0.18524754	-0.13332214
865.879	0	0

En la gráfica (41) se muestra la potencia de la estufa solar.



Gráfica 41- Potencia de la estufa solar en el día 21 de mayo de 2021.

En la gráfica (42) se muestra la eficiencia energética y exergética para el día 20 de mayo del 2021.



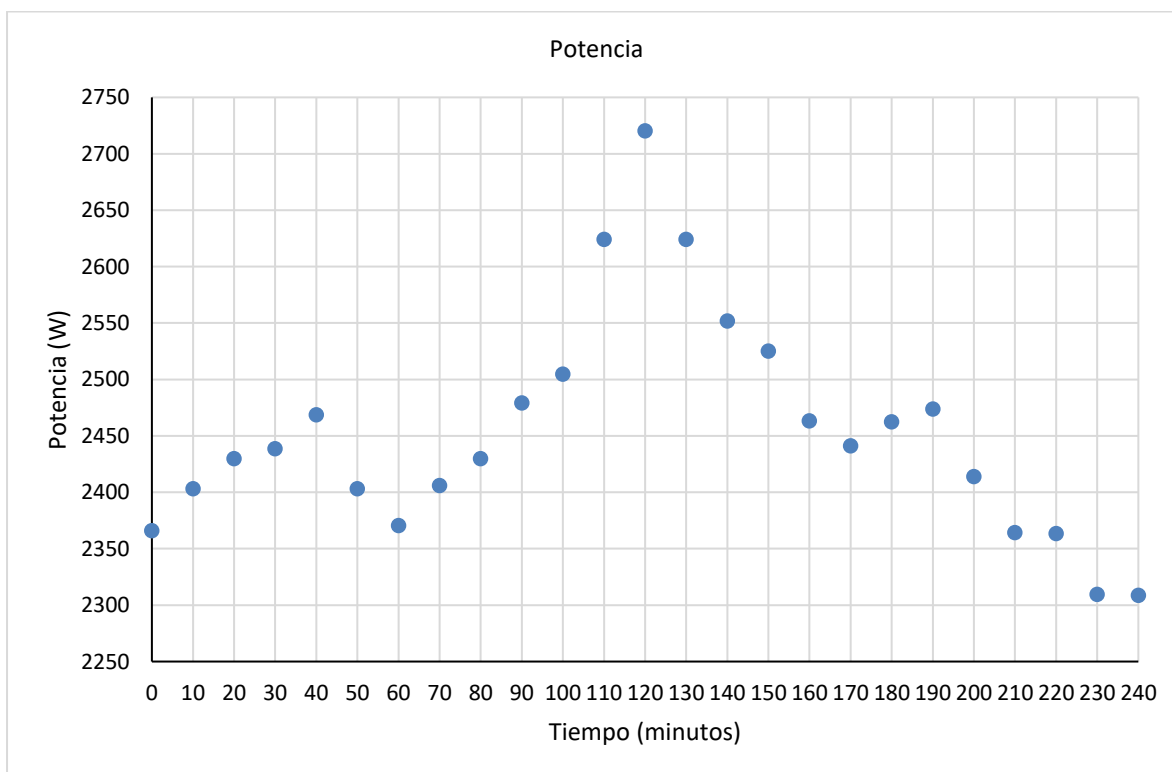
Gráfica 42- Eficiencia energética y exergética de la estufa solar en el día 21 de mayo del 2021.

Datos del día 27 de mayo de 2021 se muestran en la tabla (30).

Tabla 30- Cálculo de la potencia, eficiencia energética y exergética del día 27 de mayo del 2021.

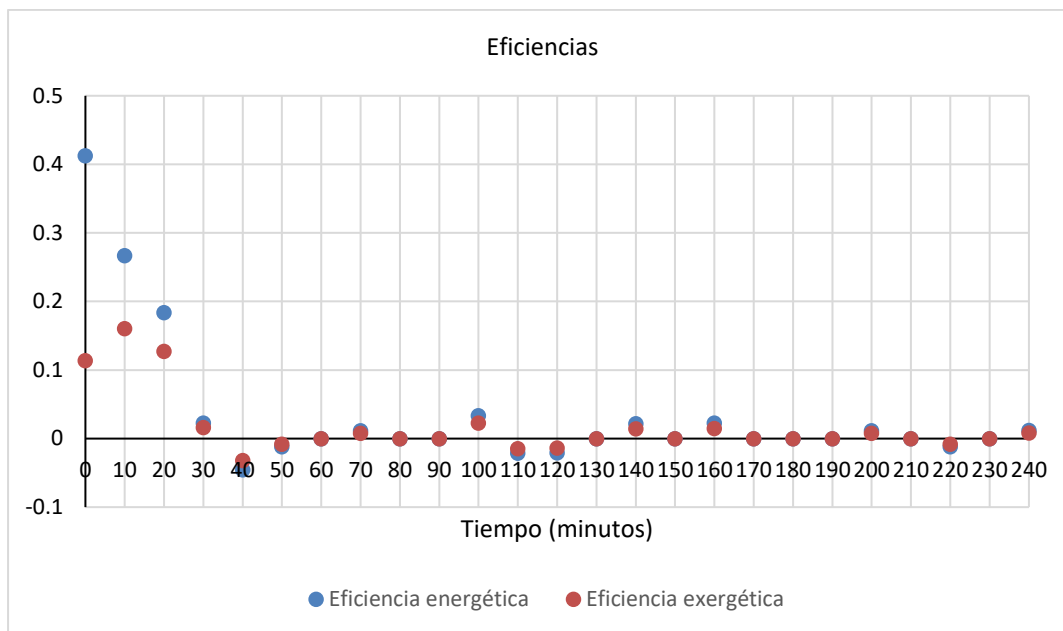
Potencia	Eficiencia	Exergia
2366.1469	0.412794883	0.113831564
2403.256	0.267076555	0.160584388
2429.7625	0.18376556	0.127246134
2438.598	0.022887468	0.016275932
2468.6387	-0.045217904	-0.032018437
2403.256	-0.011612024	-0.0080043
2370.56465	0	0
2405.90665	0.011599231	0.007995481
2429.7625	0	0
2479.2413	0	0
2504.86425	0.033422969	0.022894786
2624.1435	-0.021269162	-0.01460457
2720.45045	-0.02051621	-0.013726142
2624.1435	0	0
2551.6924	0.021873065	0.014394425
2525.1859	0	0
2463.3374	0.022657608	0.015071971
2441.24865	0	0
2462.45385	0	0
2473.94	0	0
2413.8586	0.01156102	0.007750004
2364.3798	0	0
2363.49625	-0.011807367	-0.007915144
2309.5997	0	0
2308.71615	0.012087526	0.008230559

En la gráfica (43) se muestra la potencia de la estufa solar.



Gráfica 43- Potencia de la estufa solar en el día 27 de mayo de 2021.

En la gráfica (44) se muestra la eficiencia energética y exergética para el día 27 de mayo del 2021.



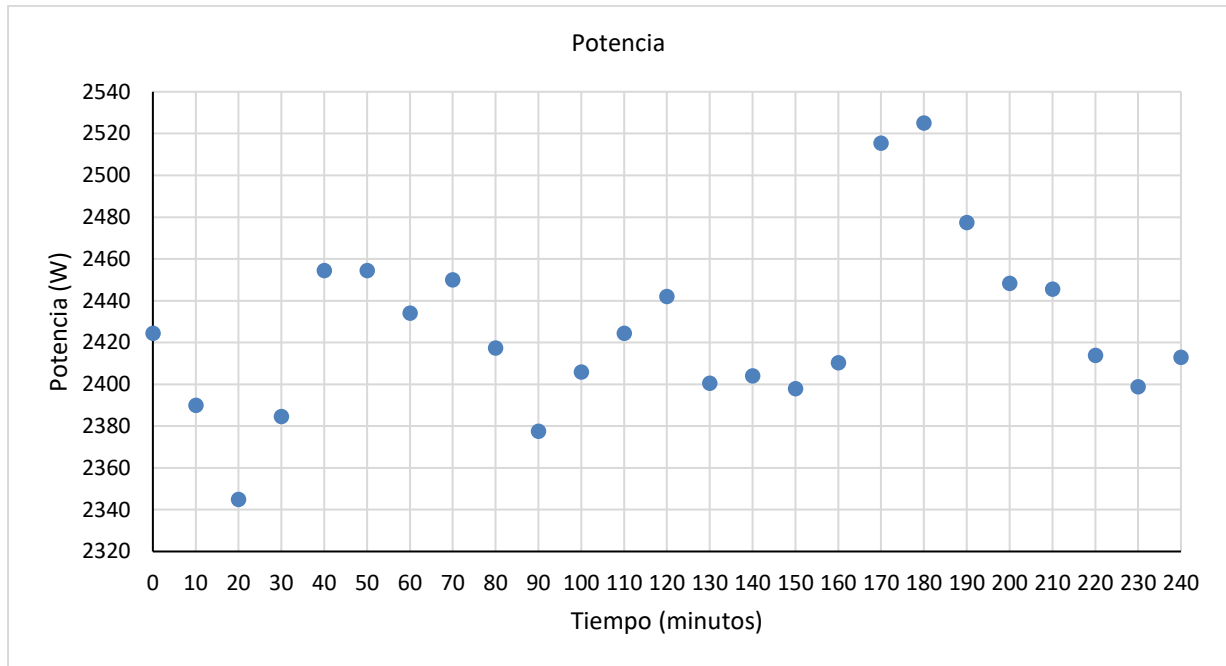
Gráfica 44-Eficiencia energética y exergética de la estufa solar en el día 27 de mayo del 2021.

Datos del día 28 de mayo de 2021 realizados con dos ollas de cocción que se cambiaron cada hora, se obtuvieron los datos de la tabla (31).

Tabla 31- Cálculo de la potencia, eficiencia energética y exergética del día 28 de mayo del 2021.

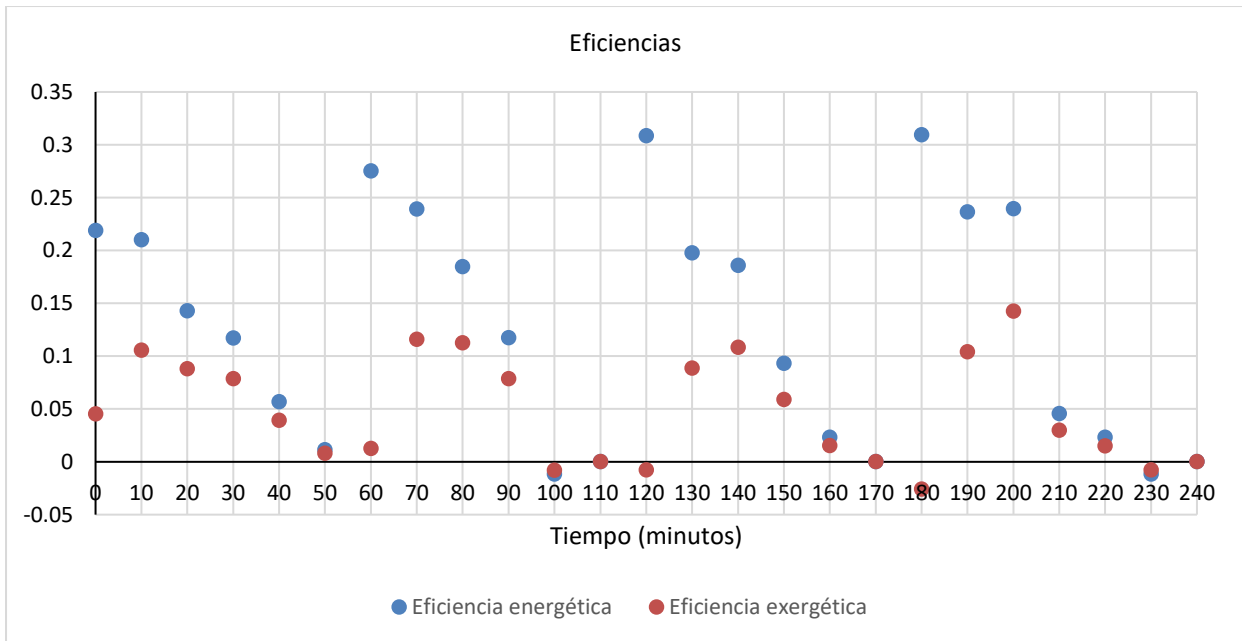
Potencia	Eficiencia	Exergia
2424.4612	0.218698764	0.045142505
2390.00275	0.21017549	0.105420035
2344.9417	0.142809521	0.088032197
2384.70145	0.117023733	0.078500151
2454.5019	0.056847922	0.039104892
2454.5019	0.011369584	0.007941149
2434.18025	0.275148071	0.012653633
2450.08415	0.239191784	0.115988113
2417.3928	0.184705881	0.112414419
2377.63305	0.11737163	0.078630009
2405.90665	-0.011599231	-0.007967895
2424.4612	0	0
2442.1322	0.308533666	-0.007730836
2400.60535	0.197622376	0.088584544
2404.13955	0.185724105	0.108160179
2397.9547	0.093101564	0.058910299
2410.3244	0.023155943	0.015148911
2515.46685	0	0
2525.1859	0.309437284	-0.025761642
2477.4742	0.236547367	0.103934703
2448.31705	0.239364424	0.142596202
2445.6664	0.045642638	0.02986298
2413.8586	0.023122039	0.015131372
2398.83825	-0.011633409	-0.007634673
2412.97505	0	0

En la gráfica (45) se muestra la potencia de la estufa solar.



Gráfica 45- Potencia de la estufa solar en el día 28 de mayo de 2021.

En la gráfica (46) se muestra la eficiencia energética y exergética para el día 28 de mayo del 2021.



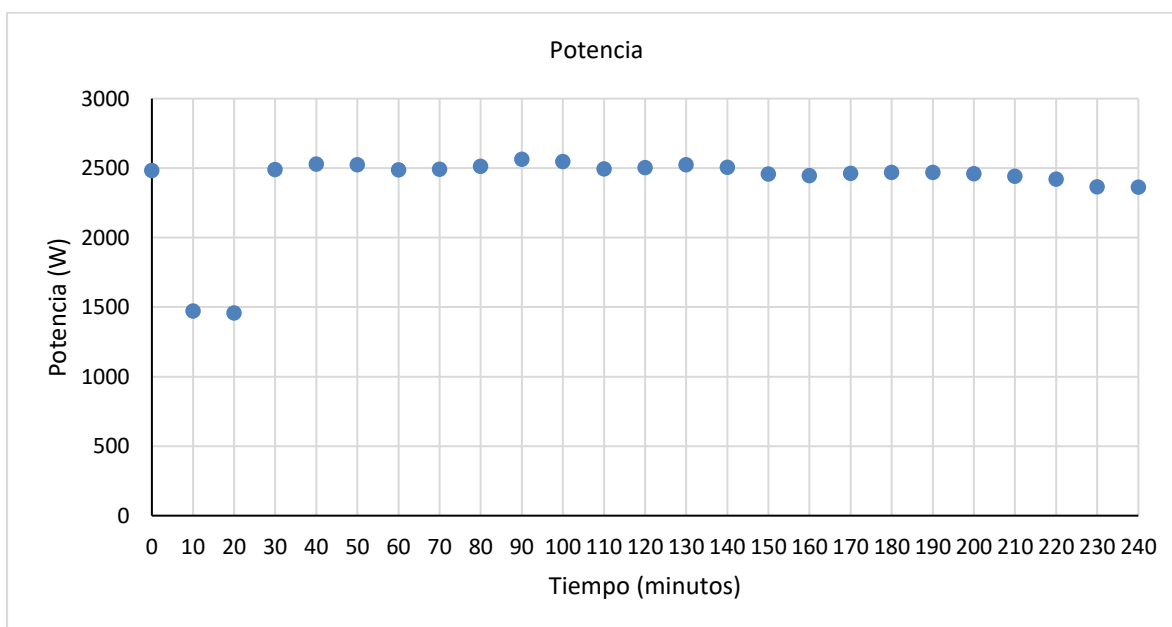
Gráfica 46- Eficiencia energética y exergética de la estufa solar en el día 28 de mayo del 2021.

Se realizaron pruebas haciendo el cambio del material reflejante del colector instalando papel Mylar, se comenzaron las pruebas el día 9 de junio de 2021, teniendo los resultados mostrados en la tabla (32).

Tabla 32-Cálculo de la potencia, eficiencia energética y exergética del día 9 de junio del 2021.

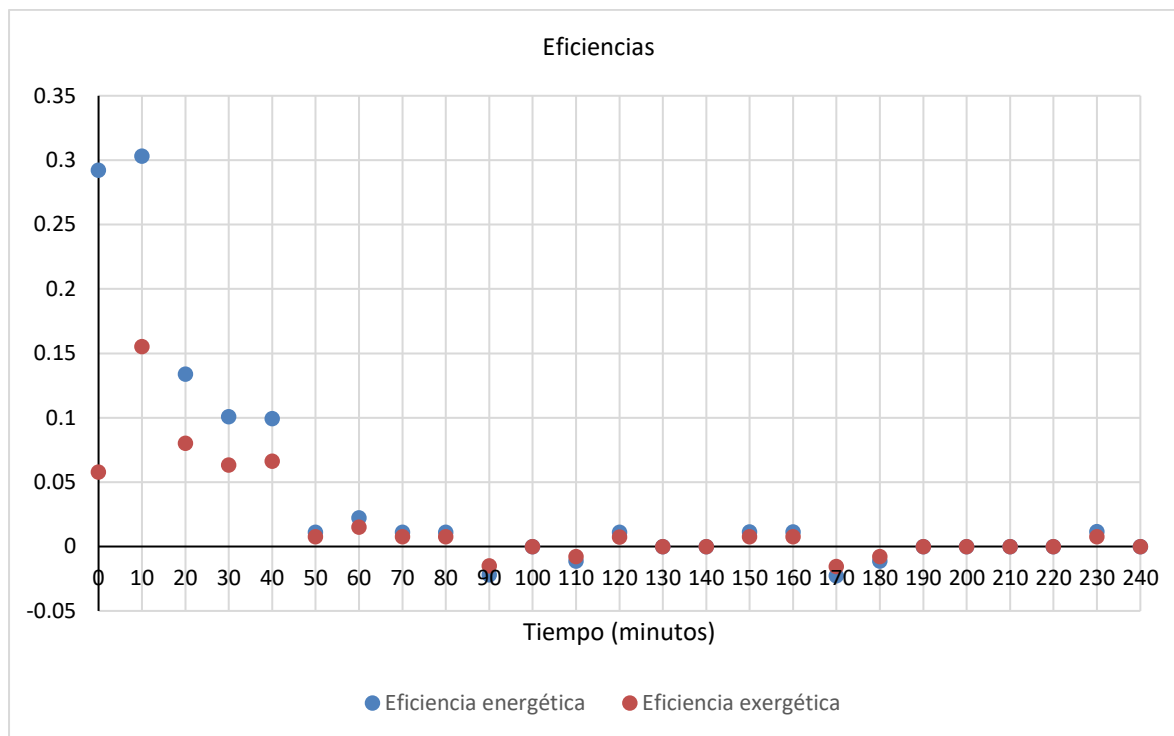
Potencia	Eficiencia	Exergia
2482.7755	0.292242828	0.057842855
1471.9943	0.303334508	0.155224275
1456.97395	0.13407698	0.080299173
2488.0768	0.100945437	0.063402382
2528.7201	0.099322974	0.066351075
2522.53525	0.011062944	0.007599502
2486.3097	0.022448263	0.015281953
2491.611	0.01120025	0.007682841
2511.0491	0.011113549	0.007660695
2562.295	-0.021782556	-0.014978382
2547.27465	0	0
2494.26165	-0.011188348	-0.007636259
2503.09715	0.011148855	0.007483774
2523.4188	0	0
2503.9807	0	0
2456.269	0.011361405	0.007666845
2445.6664	0.01141066	0.007739767
2461.5703	-0.022673873	-0.015340095
2466.8716	-0.011312574	-0.007593672
2466.8716	0	0
2458.0361	0	0
2441.24865	0	0
2420.04345	0	0
2365.26335	0.011798545	0.007787102
2361.72915	0	0

En la gráfica (47) se muestra la potencia de la estufa solar.



Gráfica 47- Potencia de la estufa solar en el día 9 de junio de 2021.

En la gráfica (48) se muestra la eficiencia energética y exergética para el día 9 de junio del 2021.



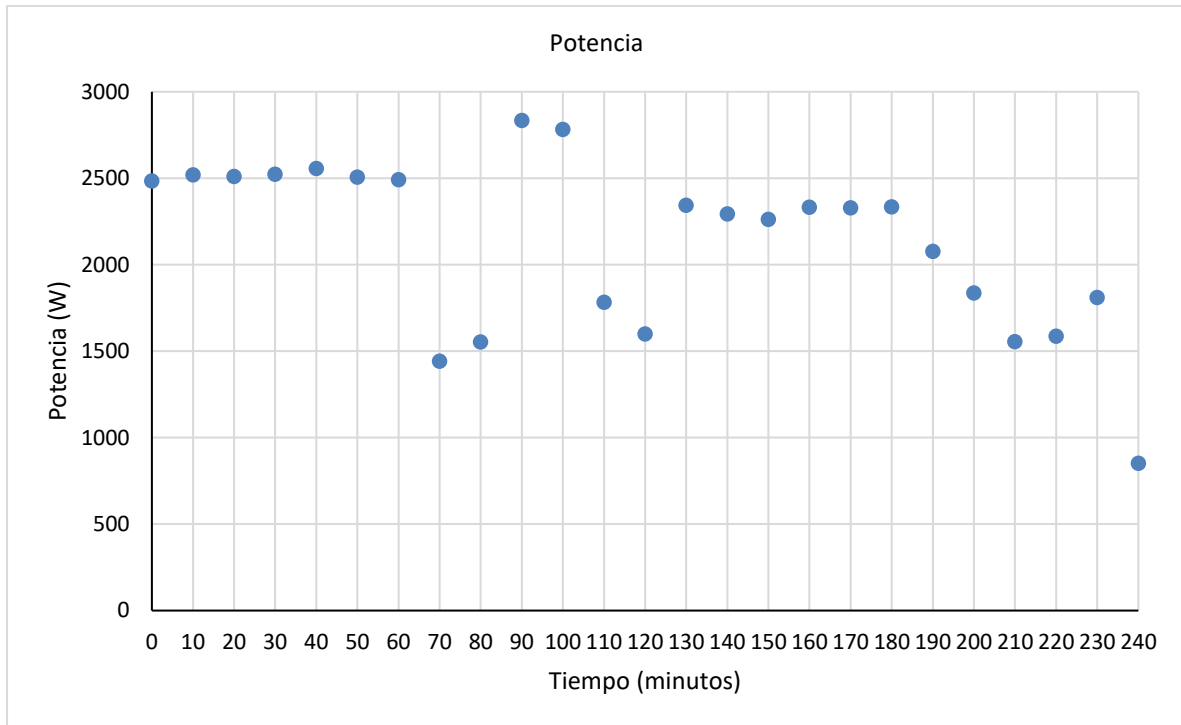
Gráfica 48- Eficiencia energética y exergética de la estufa solar en el día 9 de junio del 2021.

Datos del día 10 de junio de 2021 se muestran en la tabla (33).

Tabla 33- Cálculo de la potencia, eficiencia energética y exergética del día 10 de junio del 2021.

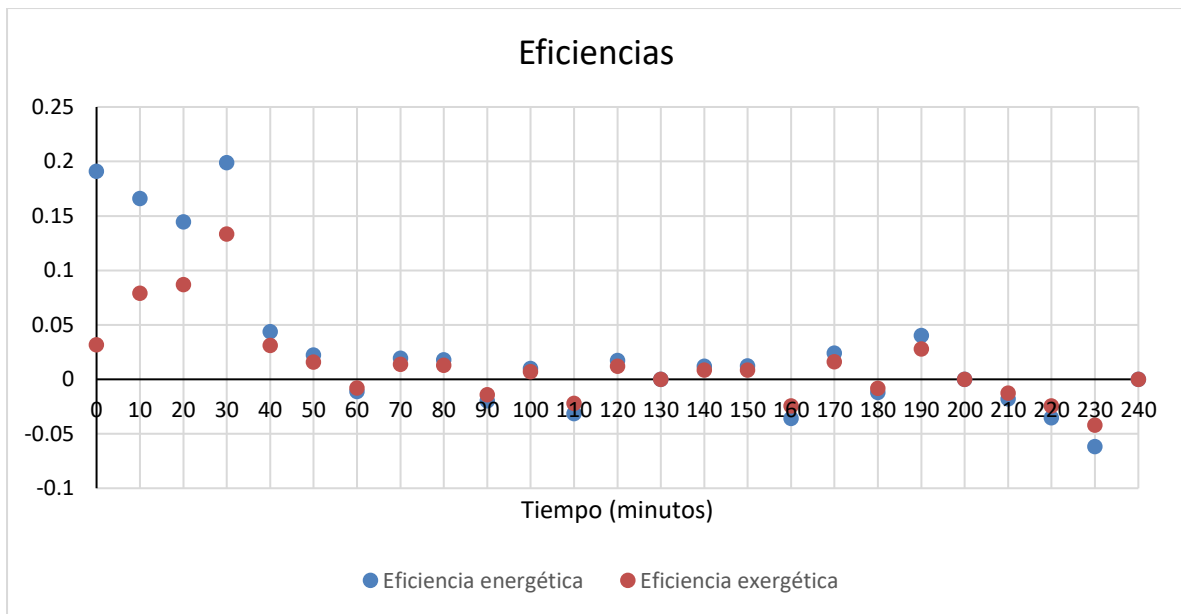
Potencia	Eficiencia	Exergia
2485.42615	0.190878065	0.031831025
2520.76815	0.166060492	0.078964775
2511.0491	0.144476134	0.086953657
2524.30235	0.198993595	0.133358862
2557.87725	0.043640353	0.031135111
2507.5149	0.022258425	0.015838831
2493.3781	-0.011192312	-0.007982275
1442.83715	0.019341522	0.013794232
1554.16445	0.017956058	0.01306503
2834.4284	-0.019691213	-0.014074518
2782.29895	0.010030075	0.007153376
1783.0039	-0.031302979	-0.021915962
1600.10905	0.017440478	0.012181398
2344.05815	0	0
2294.57935	0.012161997	0.008396608
2262.77155	0.012332958	0.008556407
2332.572	-0.035891711	-0.024369785
2329.92135	0.023955029	0.016222629
2334.3391	-0.011954847	-0.008117432
2078.1096	0.040286614	0.027949198
1836.90045	0	0
1555.93155	-0.017935665	-0.012502876
1586.8558	-0.035172278	-0.0243424
1812.16105	-0.061598646	-0.04198151
852.62575	0	0

En la gráfica (49) se muestra la potencia de la estufa solar.



Gráfica 49- Potencia de la estufa solar en el día 10 de junio de 2021.

En la gráfica (50) se muestra la eficiencia energética y exergética para el día 10 de junio del 2021.



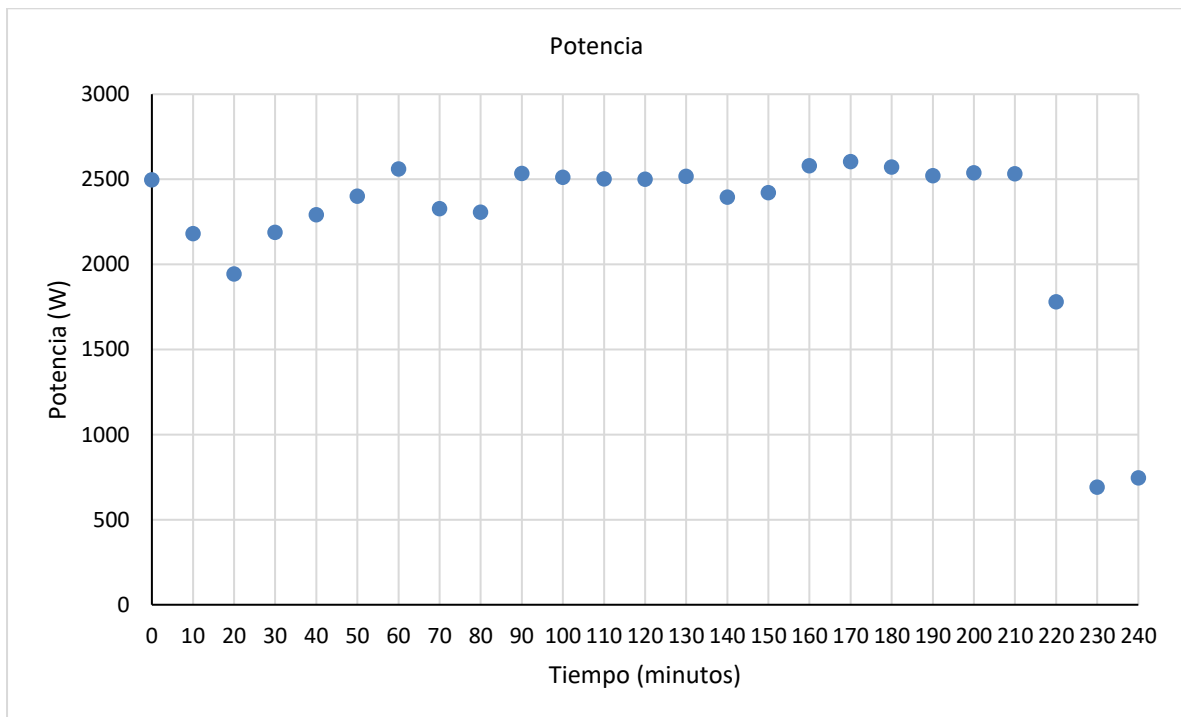
Gráfica 50- Eficiencia energética y exergética de la estufa solar en el día 10 de junio del 2021.

Datos del día 25 de junio de 2021 se muestran en la tabla (34).

Tabla 34- Cálculo de la potencia, eficiencia energética y exergética del día 25 de junio del 2021.

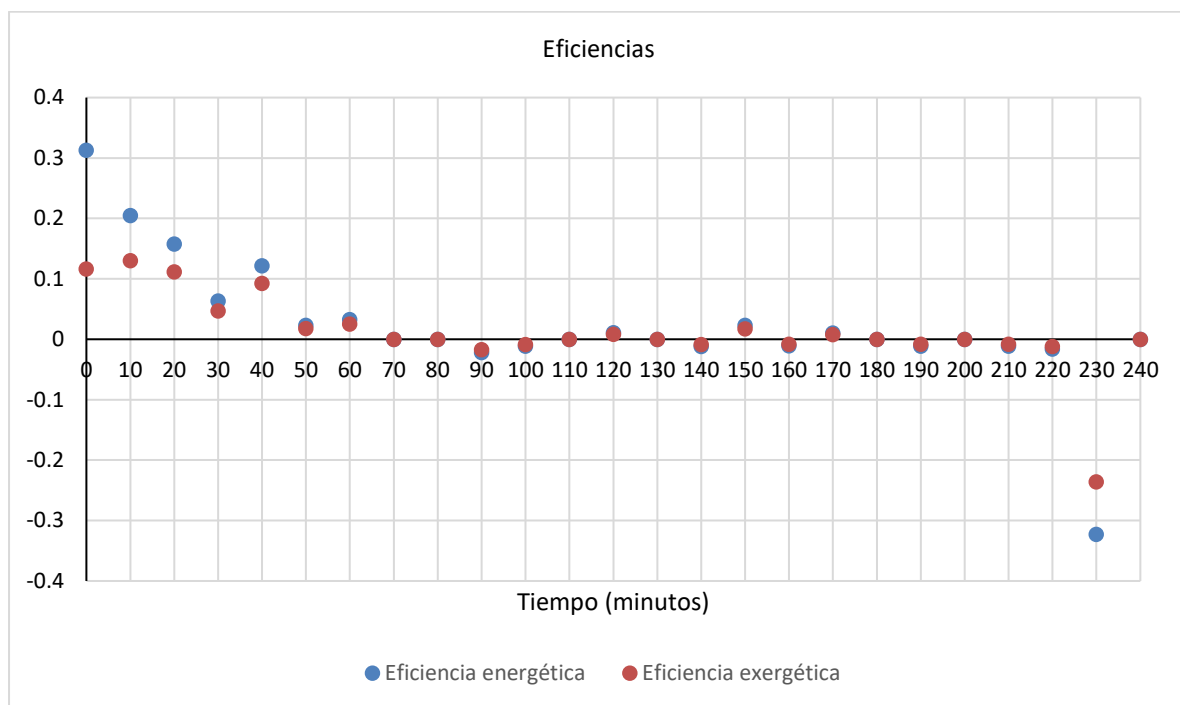
Potencia	Eficiencia	Exergia
2496.9123	0.312941174	0.116682942
2180.6014	0.204763084	0.130497607
1943.81	0.157923528	0.111840915
2188.55335	0.063755966	0.047069097
2291.04515	0.121807581	0.092664971
2401.4889	0.023241137	0.017787112
2561.41145	0.032685104	0.025215183
2327.2707	0	0
2306.0655	0	0
2534.0214	-0.022025597	-0.016781058
2511.0491	-0.011113549	-0.008425406
2502.2136	0	0
2501.33005	0.011156731	0.008458143
2517.23395	0	0
2395.30405	-0.011650574	-0.008705152
2420.927	0.02305453	0.017256521
2579.966	-0.01081668	-0.008110685
2604.7054	0.010713944	0.007917789
2572.8976	0	0
2521.6517	-0.01106682	-0.008178571
2537.5556	0	0
2532.2543	-0.011020483	-0.008113922
1779.4697	-0.015682575	-0.01150221
691.81965	-0.322704528	-0.236016869
744.83265	0	0

En la gráfica (51) se muestra la potencia de la estufa solar.



Gráfica 51- Potencia de la estufa solar en el día 25 de junio de 2021.

En la gráfica (52) se muestra la eficiencia energética y exergética para el día 25 de junio del 2021.



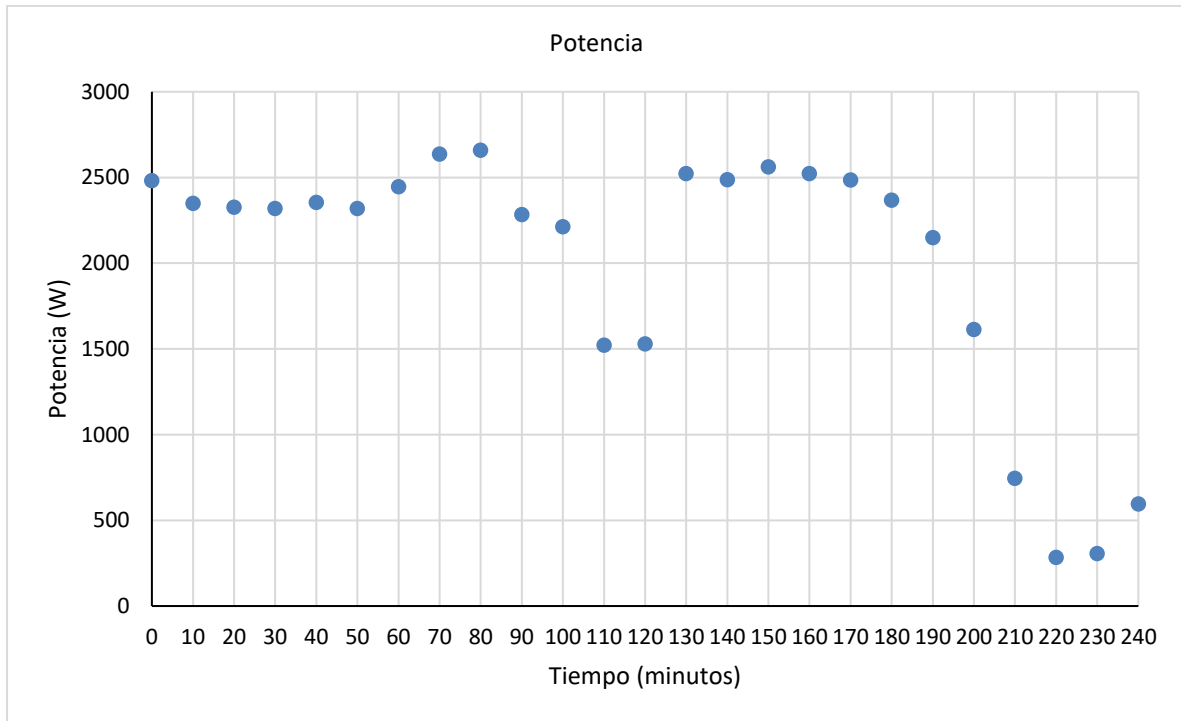
Gráfica 52- Eficiencia energética y exergética de la estufa solar en el día 25 de junio del 2021.

Datos del día 26 de junio de 2021 se muestran en la tabla (35).

Tabla 35- Cálculo de la potencia, eficiencia energética y exergética del día 26 de junio del 2021.

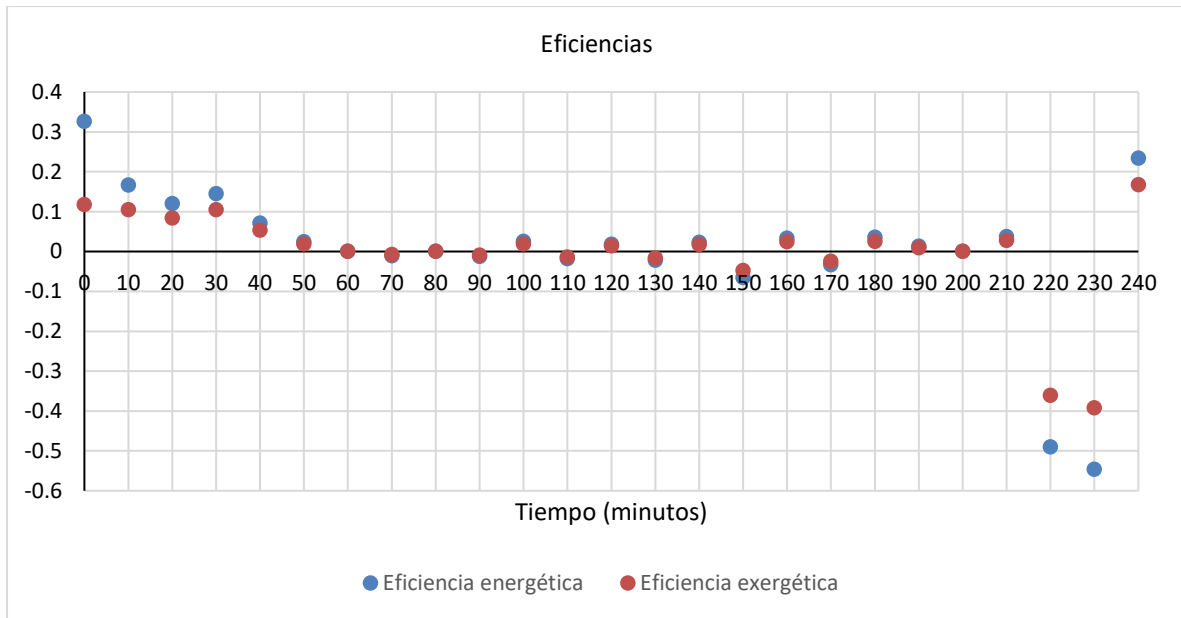
Potencia	Eficiencia	Exergia
2481.89195	0.326079197	0.117099668
2349.35945	0.166297811	0.104987586
2328.15425	0.119866056	0.083613467
2319.31875	0.144387226	0.104903227
2354.66075	0.071110031	0.053665774
2319.31875	0.024064538	0.018417284
2447.4335	0	0
2638.2803	-0.010577597	-0.008108685
2660.36905	0	0
2283.97675	-0.012218455	-0.009199175
2213.29275	0.02521733	0.019019243
1523.2402	-0.018320595	-0.013841843
1529.42505	0.018246508	0.013785868
2524.30235	-0.022110399	-0.016675955
2487.19325	0.022440288	0.016924762
2563.17855	-0.065325141	-0.048168632
2524.30235	0.033165599	0.024311499
2486.3097	-0.033672394	-0.024682996
2367.914	0.035356014	0.025509132
2149.67715	0.012981794	0.0094457
1613.3623	0	0
746.59975	0.03737835	0.027724339
284.5031	-0.49044574	-0.360940655
306.59185	-0.546133239	-0.392542423
597.2798	0.233614687	0.167532525

En la gráfica (53) se muestra la potencia de la estufa solar.



Gráfica 53- Potencia de la estufa solar en el día 26 de junio de 2021.

En la gráfica (54) se muestra la eficiencia energética y exergética para el día 26 de junio del 2021.



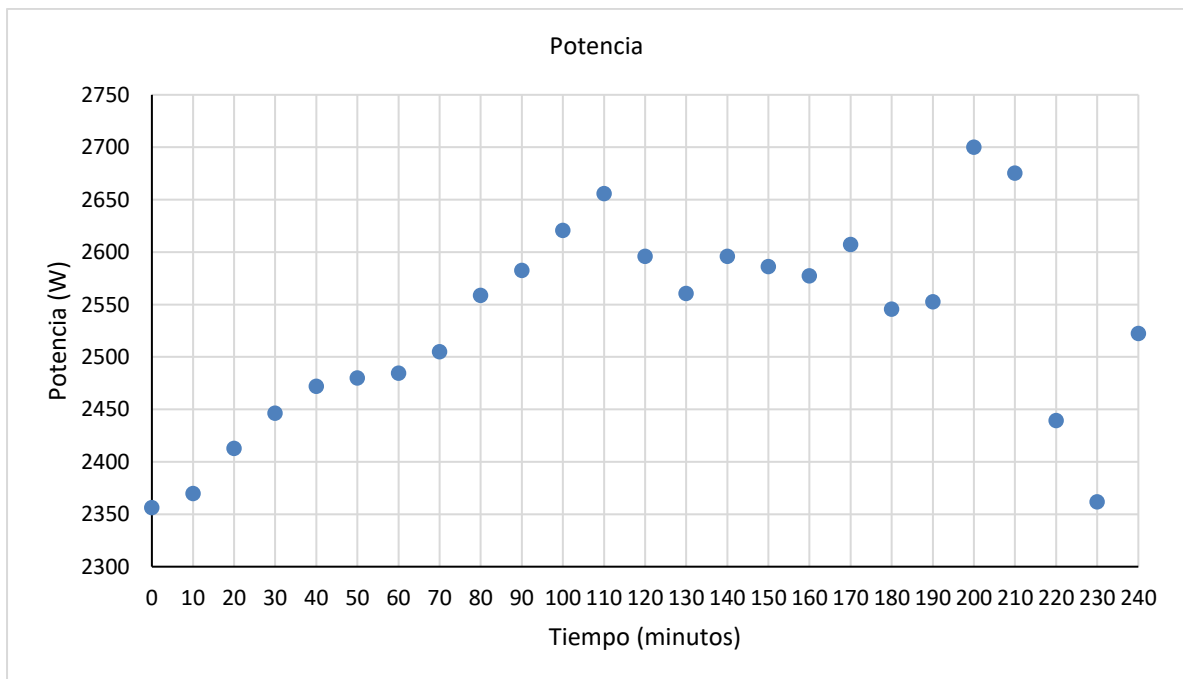
Gráfica 54- Eficiencia energética y exergética de la estufa solar en el día 26 de junio del 2021.

Datos del día 20 de julio de 2021 se realizaron las pruebas cambiando las ollas de cocción cada hora, se lo mostrado en la tabla (36).

Tabla 36-Cálculo de la potencia, eficiencia energética y exergética del día 20 de julio del 2021.

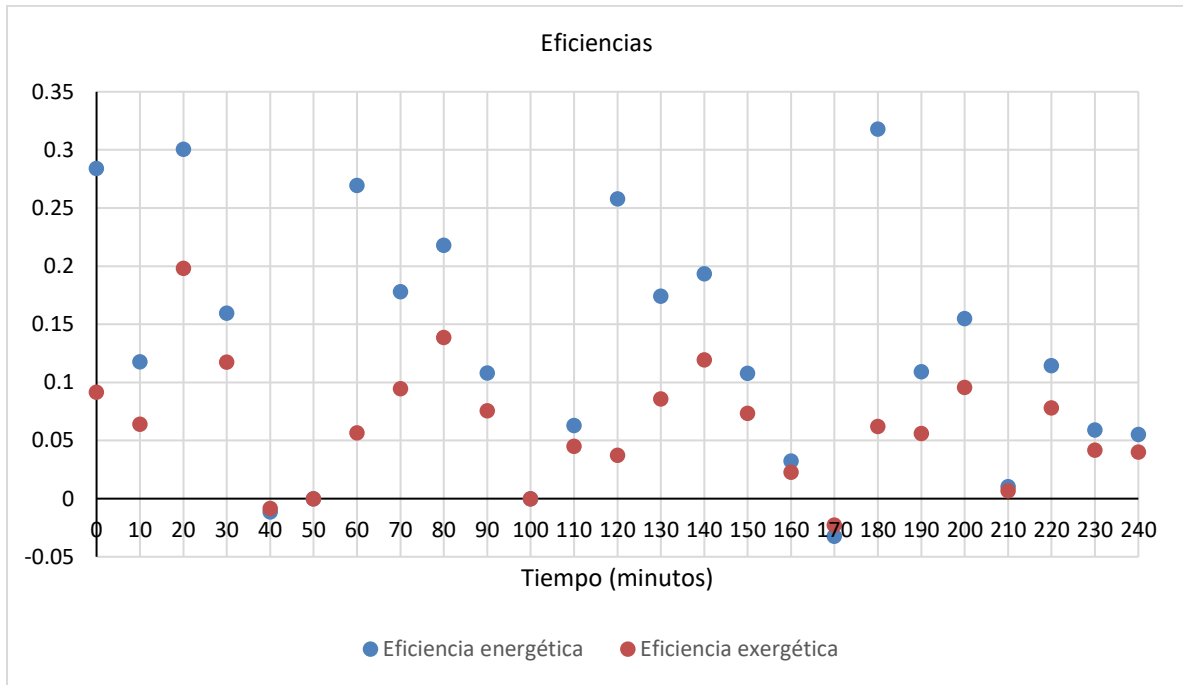
Potencia	Eficiencia	Exergia
2356.42785	0.284226822	0.091563971
2369.6811	0.117765495	0.064127186
2412.97505	0.300696575	0.198148668
2446.54995	0.159691542	0.117681957
2472.1729	-0.011288315	-0.008402592
2480.12485	0	0
2484.5426	0.269570745	0.056696138
2504.86425	0.178255834	0.094774531
2558.7608	0.21812642	0.138846863
2582.61665	0.108055784	0.075779088
2620.6093	0	0
2655.9513	0.063043325	0.045128007
2595.8699	0.258009849	0.037392134
2560.5279	0.174380707	0.085951263
2595.8699	0.193507386	0.11942174
2586.15085	0.107908116	0.073601106
2577.31535	0.032483413	0.022901788
2607.35605	-0.032109155	-0.022637924
2545.50755	0.317930046	0.062117289
2552.57595	0.109327468	0.056183303
2700.1288	0.155029642	0.095918014
2675.3894	0.01043088	0.00688882
2439.48155	0.114395891	0.078127449
2361.72915	0.059081006	0.041942159
2522.53525	0.055314721	0.040118235

En la gráfica (55) se muestra la potencia de la estufa solar.



Gráfica 55- Potencia de la estufa solar en el día 20 de julio de 2021.

En la gráfica (56) se muestra la eficiencia energética y exergética para el día 20 de julio del 2021.

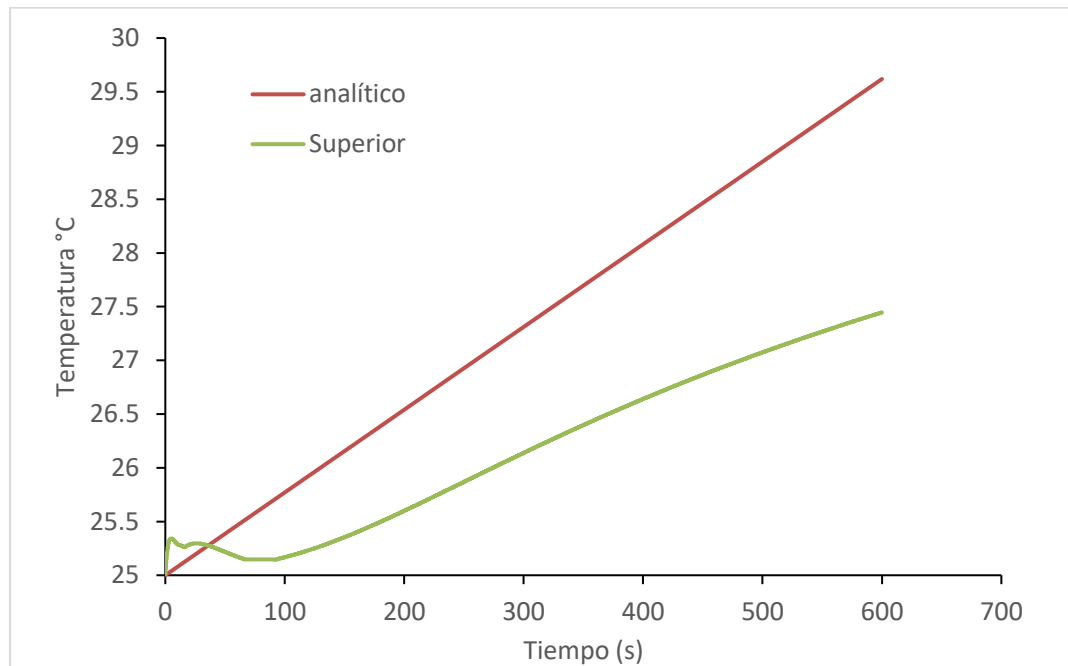


Gráfica 56- Eficiencia energética y exergética de la estufa solar en el día 20 de julio del 2021.

6. Discusión

De los resultados del análisis térmico transitorio realizado en Ansys, se puede observar cómo se realiza la transferencia del calor en el agua en un lapso de 600 s, y se puede observar de mejor forma en la parte superior del agua, figura (57).

Contrastando los resultados de la simulación en Ansys con el procedimiento analítico tenemos como resultado la gráfica (57), en la cual se observan ambos.



Gráfica 57- Comparación de la transferencia de calor del agua entre el análisis en Ansys y el procedimiento analítico.

Como se puede observar en la gráfica anterior se obtuvo una media del análisis en Ansys de 27.309 °C, y con respecto al procedimiento analítico una media de 26.1625 °C, con lo cual podemos obtener un error del 4.199% de una con respecto a la otra.

Con los resultados obtenidos en la experimentación realizada con el vinil automotriz como material reflejante se puede observar la mayor eficiencia energética de 41% en el día 27 de mayo de 2021 y una mayor eficiencia exergética de 21% en el día 20 de mayo de 2021. Con respecto a los resultados para el papel Mylar como material reflejante, se puede observar la mayor eficiencia energética de 32% en el día 26 de junio de 2021 y una mayor eficiencia exergética de 19% en el día 20 de julio de 2021.

De los trabajos realizados anteriormente en los cuales se basó para el desarrollo de nuestra investigación los muestran una eficiencia energética que va del 14 al 18% [10] y una eficiencia exergética del 1.6% [11], los resultados obtenidos son alentadores al ser mejores esto depende de las condiciones climáticas en donde se utilice el dispositivo.

Comparando los resultados obtenidos por los dos materiales reflejantes se observa que la mayor eficiencia energética y exergética es con el vinil automotriz.

7. Conclusiones

- ❖ Con el diseño propuesto para la estufa solar en la cual se optó por hacerlo de concentrador parabólico por obtener altas temperaturas que benefician a la cocción de los alimentos, además de ser el tipo de estufa solar de mejor eficiencia energética y en la cual se puede realizar diferentes tipos de cocción en comparación con las de otro tipo, realizando las pruebas experimentales en la comunidad de la Vega Cardonal Hidalgo, por cuestiones de la pandemia no se pudo realizar en las instalaciones del Instituto Tecnológico de Pachuca.
- ❖ Se realizó un análisis de simulación mediante software y por procedimiento analítico en los cuales pudimos contrastar los resultados en los cuales existe un error entre ambos del 4.199 %.
- ❖ Mediante la experimentación se pudo obtener buenos resultados, con dos materiales reflejantes con los que se trabajaron, teniendo con el vinil reflejante automotriz la mayor eficiencia energética como exergética del 41 y 21% respectivamente, además de ser mas práctico para su instalación por ser autoadherible.
- ❖ El diseño se realizó mediante diferentes softwares tanto para la simulación como para la construcción de estufa solar propuesta, en cuanto a la construcción se tomó en cuenta los materiales y las técnicas para poder obtener el resultado planteado que fuera práctico y durable.
- ❖ Con la realización del presente estudio se tuvo la oportunidad de conocer una parte de la mecánica como lo fue la termodinámica, así como de las energías renovables que son tan necesarias en la actualidad para disminuir las consecuencias de la contaminación generados por los combustibles tradicionales, como también de herramientas computacionales para la realización de estudios y proyectos.
- ❖ En lo personal me deja un gran aporte para comprender mejor mi experiencia laboral en la cual se presentaban circunstancias que no lograba entender del porqué de algunas cosas, como el diseño de algunas partes, la herramienta, o el

ensamble, también deja el desarrollo de algunas habilidades como el manejo de algunos materiales desde el corte y soldadura de tubulares metálicos con los cuales se realizó la estructura de la estufa solar, pero también en la realización del molde del concentrador parabólico donde se utilizó cemento, arena, el acabado; el manejo de la fibra de vidrio con la cual se hizo el concentrador parabólico y el manejo de algunos instrumentos de medición, lo cual deja mejores capacidades y habilidades para competir en el ámbito laboral .

Referencias

- [1] L. B. López Sosa, M. Gonzalez Aviles, D. Gomez Perez y S. G. Yuritz, «Rural Solar Cookers, an alternative to reduce the timber,» *ISES Solar World Congress*, vol. 57, pp. 1593-1602, 2013.
- [2] I. f. H. M. a. Evaluation, «Global Burden of Disease Study (GBD 2017) Results,» IHME, Seattle, United States, 2018.
- [3] S. r. d. S. 2017 The World Bank, «Solargis.com,» 20 Mayo 2020. [En línea]. Available: <https://solargis.com/es/maps-and-gis-data/download/mexico>. [Último acceso: 20 Mayo 2020].
- [4] M. Z. Mohammadreza Sedighi, «A review of direct and indirect solar cookers,» *Sustainable Energy*, vol. 2, n° 2, pp. 44-51, 2014.
- [5] H. Terres Peña, J. R. Morales Gómez, A. Lizardi Ramos, R. López Callejas y R. d. J. Portillo Vélez, «Estudio numérico de eficiencias en estufas solares tipo caja con reflectores internos,» *Revista Internacional Métodos Numéricos para Calculo y Diseño en Ingeniería*, vol. 29, n° 2, pp. 122-128, 2013.
- [6] S. S. S. R. K. S. A. M. S. C. Jayashree Nayak, «Construction of Box Type Solar Cooker and Its Adaptability to Industrialized Zone,» *matrialtoday: Proceedings*, vol. 4, n° 14, pp. 12565-12570, 2017.
- [7] M. A. S. M. S. S. R. K. S. A. M. Jayashree Nayak, «Combined heat loss analysis of trapezoidal shaped solar cooker cavity using computational approach,» *Case Studies in Thermal Engineering*, vol. 12, pp. 94-103, 2018.
- [8] O. R. U. I. R. O. M. C. Mauricio González-Avilés, «Design, manufacturing, thermal characterization of a solar cooker with compound parabolic concentrator and assessment of an integrated stove use monitoring mechanism.,» *Energy for Sustainable Development*, vol. 45, pp. 135-141, 2018.
- [9] L. B. L. S. H. S. C. Mauricio González-Avilés, «Evaluation framework for small-dimension solar cooker,» *Acta Universitaria*, vol. 27, n° 5, pp. 69-75, 2017.
- [10] M. R. M. K. Amal Herez, «Review on solar cooker systems: Economic and environmental study for different Lebanese scenarios,» *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 81, pp. 421-432, 2018.
- [11] R. Petela, «Exergy analysis of the solar cylindrical-parabolic cooker,» *Solar Energy*, vol. 79, pp. 221-233, 2005.
- [12] S. A. Kalogirou, *Solar Energy Engineering Processes and Systems*, Second ed., Amsterdam: Elsevier, 2014, pp. 1, 51-63.
- [13] J. M. d. Juana, *Energías renovables para el desarrollo*, España: Paraninfo, 2009, p. 29.
- [14] Y. A. Cengel y A. J. Ghajar, *Transferencia de calor y masa*, Cuarta ed., McGraw-Hill, 2011, pp. 2,17-29,687.
- [15] Y. A. Cengel y M. A. Boles, *Termodinámica*, Octava ed., México: McGraw-Hill, 2015.
- [16] A. S. o. A. a. B. Engineers, «ASAE S580.1 Nov2013 Testing and Reporting Solar cooker Performance,» 2013.
- [17] H. Pérez Montiel, *Física General*, México: Patria, 2014, p. 333.
- [18] N. Panwar y S. Kothari, «Energetic and exergetic analysis of three different solar cookers,» *Journal of Renewable and Sustainable Energy*, vol. 5, pp. 1-13, 2013.

- [19] H. H. Ozturk, «Second law analysis for solar cookers,» *International Journal of Green Energy*, vol. 2, n° 2, pp. 227-239, 2004.
- [20] N. Daza Ramírez, Á. M. Jaramillo Granada y R. Dorantes Rodríguez, «Cálculo y diseño de una estufa solar parabólica para la cocción de alimentos,» *Energías renovables para la sustentabilidad*, vol. 1, n° 1, pp. 163-168, 2015.
- [21] G. S. Atlas, «Global Solar Atlas,» The World Bank, 2019. [En línea]. Available: <https://globalsolaratlas.info/detail?m=site&c=20.083019,-98.77327,11&s=20.08318,-98.77357>. [Último acceso: 08 05 2020].

Apéndice 1.

Para la realización de la simulación y análisis analítico se tomo en cuenta la radiación solar directa de la página de Global Solar Atlas, obteniendo la tabla (37)

Tabla 37- Radiación Solar Directa en el Instituto Tecnológico de Pachuca.

	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
0 - 1												
1 - 2												
2 - 3												
3 - 4												
4 - 5												
5 - 6			23	109	151	188	142	111	80	52	18	
6 - 7	186	234	418	470	426	443	430	430	344	386	367	231
7 - 8	570	603	666	649	569	550	551	568	459	527	585	592
8 - 9	719	745	791	758	675	633	637	658	532	616	691	722
9 - 10	788	831	858	825	732	654	662	684	564	645	749	805
10 - 11	819	858	872	832	731	606	616	626	529	637	746	839
11 - 12	820	848	851	777	675	523	524	543	483	591	715	816
12 - 13	788	813	780	711	620	504	481	505	445	552	694	785
13 - 14	748	763	710	616	545	486	448	487	420	537	643	730
14 - 15	684	689	630	520	471	450	384	441	393	516	593	653
15 - 16	588	604	536	411	388	396	319	370	348	444	497	545
16 - 17	381	451	418	313	286	325	262	294	266	261	188	224
17 - 18	19	98	130	110	116	195	171	146	38			
18 - 19												
19 - 20												
20 - 21												
21 - 22												
22 - 23												
23 - 24												
Sum	7109	7537	7684	7101	6385	5955	5629	5861	4901	5764	6485	6942