

**UNIVERSIDAD NACIONAL  
TORIBIO RODRÍGUEZ DE MENDOZA DE AMAZONAS**



**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y AMBIENTAL  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL**

**TESIS PARA OBTENER  
EL TÍTULO PROFESIONAL DE  
INGENIERA AMBIENTAL**

**EVALUACIÓN DE LA EFICIENCIA DE UN SISTEMA  
TERMOSOLAR PARABÓLICO CON SEGUIMIENTO  
MECÁNICO, EN LA UNIVERSIDAD NACIONAL  
TORIBIO RODRÍGUEZ DE MENDOZA DE AMAZONAS**

**Autora: Bach. Yasmin Lisseth Delgado Rodríguez**

**Asesor: Mg. Wildor Gosgot Angeles**

Registro:

**CHACHAPOYAS – PERÚ**

**2022**

**DATOS DEL ASESOR:**

**Mg. Wildor Gosgot Angeles**

**DNI N° 70156443**

**Registro ORCID N° 0000-0002-7301-2809**

**<https://orcid.org/0000-0002-7301-2809>**

**Campus de la Investigación y el Desarrollo OCDE**

**1.05.00 -- Ciencias de la Tierra, Ciencias ambientales**

**1.05.08 -- Ciencias del medio ambiente**

## **AGRADECIMIENTO.**

A mis padres Federico de la Cruz Delgado Sánchez, Mainer Rodríguez Herrera y hermanas por su apoyo incondicional durante mi formación académica y lograr cumplir este objetivo, A la UNTRM y su plana docente por brindarme el diverso conocimiento obtenido, al Mg. Wildor Gosgot Angeles por su asesoramiento para llevar a cabo este proyecto de tesis.

A los docentes miembros del jurado M.Sc. Gino Alfredo Vergara Medina, Ing. Betty Karina Guzman Valqui y M.Sc. Jefferson Fitzgerald Reyes Farje por sus aportes y recomendaciones a fin de aclarar mis dudas.

**AUTORIDADES DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL TORIBIO RODRÍGUEZ  
DE MENDOZA DE AMAZONAS**

**Dr. POLICARPIO CHAUCA VALQUI**

Rector

**Dr. MIGUEL ÁNGEL BARRENA GURBILLÓN**

Vicerrectorado Académico

**Dra. FLOR TERESA GARCÍA HUAMÁN**

Vicerrectora de Investigación

**PhD. Ricardo Edmundo Campos Ramos**

Decano de la Facultad de Ingeniería Civil y Ambiental

# VISTO BUENO DEL ASESOR DE TESIS PARA OBTENER EL TITULO PROFESIONAL



## ANEXO 3-K

### VISTO BUENO DEL ASESOR DE TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL

El que suscribe el presente, docente de la UNTRM (X)/Profesional externo ( ), hace constar que ha asesorado la realización de la Tesis titulada EVALUACIÓN DE LA EFICIENCIA DE UN SISTEMA TERMO-SOLAR PARABÓLICO CON SEGUIMIENTO MECÁNICO, EN EL CAMPUS DE LA UNTRM DE PADRONOS del egresado Yanmin Lisseth Delgado Rodríguez de la Facultad de INGENIERIA CIVIL Y AMBIENTAL Escuela Profesional de INGENIERIA AMBIENTAL de esta Casa Superior de Estudios.

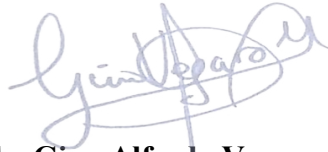


El suscrito da el Visto Bueno a la Tesis mencionada, dándole pase para que sea sometida a la revisión por el Jurado Evaluador, comprometiéndose a supervisar el levantamiento de observaciones que formulen en Acta en conjunto, y estar presente en la sustentación.

Chachapoyas, 01 de Julio del 2022

  
Firma y nombre completo del Asesor  
Wildor Cosgot Angeles

**JURADO EVALUADOR**



**M.Sc. Gino Alfredo Vergara Medina**  
**PRESIDENTE**



**M.Sc. Jefferson Fitzgerald Reyes Farje**  
**SECRETARIO**



**Ing. Betty Karina Guzman Valqui**  
**VOCAL**

# CONSTANCIA DE ORIGINALIDAD DE TESIS



**UNTRM**

**REGLAMENTO GENERAL**  
PARA EL OTORGAMIENTO DEL GRADO ACADÉMICO DE  
BACHILLER, MAESTRO O DOCTOR Y DEL TÍTULO PROFESIONAL

## ANEXO 3-Q

### CONSTANCIA DE ORIGINALIDAD DE LA TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL

Los suscritos, miembros del Jurado Evaluador de la Tesis titulada:

EVALUACIÓN DE LA EFICIENCIA DE UN SISTEMA TERMO SOLAR  
POROBOLICO CON SEQUITIENTO MECÁNICO, EN LA UNTRM DE ARIAZOZO

presentada por el estudiante ( )/egresado (x) YASMIN L. DEIGADO RODRÍGUEZ

de la Escuela Profesional de ING. AMBIENTAL

con correo electrónico institucional 7358798942@untrm.edu.pe

después de revisar con el software Turnitin el contenido de la citada Tesis, acordamos:

- La citada Tesis tiene 8 % de similitud, según el reporte del software Turnitin que se adjunta a la presente, el que es menor (x) / igual ( ) al 25% de similitud que es el máximo permitido en la UNTRM.
- La citada Tesis tiene \_\_\_\_\_ % de similitud, según el reporte del software Turnitin que se adjunta a la presente, el que es mayor al 25% de similitud que es el máximo permitido en la UNTRM, por lo que el aspirante debe revisar su Tesis para corregir la redacción de acuerdo al Informe Turnitin que se adjunta a la presente. Debe presentar al Presidente del Jurado Evaluador su Tesis corregida para nueva revisión con el software Turnitin.

Chachapoyas, 28 de Septiembre del 2022

  
SECRETARIO

  
PRESIDENTE

  
VOCAL

OBSERVACIONES:

.....

.....

# ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS



ANEXO 3-5

## ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL

En la ciudad de Chachapoyas, el día 23 de Octubre del año 2022, siendo las 12:30 horas, el aspirante: Yasmin Lisbeth Delgado Rodríguez, asesorado por Mg. Wilder Casgot Aguilar, defiende en sesión pública presencial (  ) / a distancia (  ) la Tesis titulada: Evaluación de la eficiencia de un sistema Temporal puntual con seguimiento mecánico en la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas para obtener el Título Profesional de Ingeniería Ambiental a ser otorgado por la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas; ante el Jurado Evaluador, constituido por:

Presidente: Hsc. Gissel A. Vergara Medina

Secretario: Hsc. Jefferson F. Reyes Farija

Vocal: Ing. Betty Karina Guzmán Valqui

Procedió el aspirante a hacer la exposición de la Introducción, Material y métodos, Resultados, Discusión y Conclusiones, haciendo especial mención de sus aportaciones originales. Terminada la defensa de la Tesis presentada, los miembros del Jurado Evaluador pasaron a exponer su opinión sobre la misma, formulando cuantas cuestiones y objeciones consideraron oportunas, las cuales fueron contestadas por el aspirante.

Tras la intervención de los miembros del Jurado Evaluador y las oportunas respuestas del aspirante, el Presidente abre un turno de intervenciones para los presentes en el acto de sustentación, para que formulen las cuestiones u objeciones que consideren pertinentes.

Seguidamente, a puerta cerrada, el Jurado Evaluador determinó la calificación global concedida a la sustentación de la Tesis para obtener el Título Profesional, en términos de:

Aprobado (  ) por Unanimitad (  ) / Mayoría (  ) Desaprobado (  )

Otorgada la calificación, el Secretario del Jurado Evaluador lee la presente Acta en esta misma sesión pública. A continuación se levanta la sesión.

Siendo las 1:00 horas del mismo día y fecha, el Jurado Evaluador concluye el acto de sustentación de la Tesis para obtener el Título Profesional.

  
SECRETARIO

  
VOCAL

  
PRESIDENTE

OBSERVACIONES:



## ÍNDICE GENERAL

DATOS DEL ASESOR: .....	i
AGRADECIMIENTO.....	ii
AUTORIDADES DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL TORIBIO RODRÍGUEZ DE MENDOZA DE AMAZONAS.....	iii
VISTO BUENO DEL ASESOR DE TESIS PARA OBTENER EL TITULO PROFESIONAL.....	iv
JURADO EVALUADOR .....	v
CONSTANCIA DE ORIGINALIDAD DE TESIS.....	vi
ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS .....	vii
ÍNDICE GENERAL.....	viii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	x
ÍNDICE DE TABLAS .....	xi
RESUMEN.....	xii
ABSTRACT.....	xiii
I. INTRODUCCIÓN .....	1
II. MATERIALES Y MÉTODOS .....	3
2.1. Área de estudio.....	3
2.2. Sistema termo solar parabólico con seguimiento mecánico.....	4
2.3. Reflector cilindro parabólico.....	4
2.4. Tubo de absorción o receptor .....	7
2.5. Sistema de seguimiento mecánico y estructura de soporte .....	7
2.5.1. Construcción.....	8
2.5.2. Instalación .....	9
2.6. Recolección de datos.....	10
2.6.1. Medición de temperatura.....	10
2.6.2. Radiación solar.....	11
2.6.3. Cálculo de la energía solar ganada por el sistema termo solar con seguimiento mecánico 12	
2.6.4. Instrumento de recolección de datos y procesamiento de datos.....	13
III. RESULTADOS.....	14
3.1. Implementación del sistema termosolar.....	14
3.2. Energía solar durante el estudio .....	14
3.3. Temperaturas del sistema termosolar .....	16
3.4. Energía solar útil .....	17
3.5. Eficiencia del sistema termosolar colector cilindro parabólico.....	18

IV. DISCUSIÓN .....	22
V. CONCLUSIONES .....	24
VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	26
VIII. ANEXOS.....	30
Anexo 1.....	30
Anexo 2.....	31
Anexo 3.....	32
Anexo 4.....	33
Anexo 5.....	34

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> <i>Campus central de la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas.</i> .....	3
<b>Figura 2.</b> <i>Plano 3D del colector cilindrito parabólico.</i> .....	4
<b>Figura 3.</b> <i>Plancha Reflectante.</i> .....	4
<b>Figura 4.</b> <i>Parábola del CCP.</i> .....	6
<b>Figura 5.</b> <i>Tubo de absorción.</i> .....	7
<b>Figura 6.</b> <i>Sistema de seguimiento mecánico.</i> .....	8
<b>Figura 7.</b> <i>Estructura metálica de soporte del CCP.</i> .....	8
<b>Figura 8.</b> <i>Ubicación de lunas de vidrio de 4ml.</i> .....	9
<b>Figura 9.</b> <i>llave de paso ½.</i> .....	9
<b>Figura 10.</b> <i>Tubos pvc ½</i> .....	10
<b>Figura 11.</b> <i>(A)Toma de temperatura de entrada. (B) Toma de temperatura de salida.</i> 10	
<b>Figura 12.</b> <i>Medidor de agua.</i> .....	11
<b>Figura 13.</b> <i>Medición de caudal.</i> .....	11
<b>Figura 14.</b> <i>Implementación del sistema termosolar.</i> .....	14
<b>Figura 15.</b> <i>Irradiancia Wh/m<sup>2</sup>.</i> .....	15
<b>Figura 16.</b> <i>Irradiancia de un día en específico Wh/m<sup>2</sup>.</i> .....	15
<b>Figura 17.</b> <i>Promedio de temperaturas de entrada, salida y ambiente.</i> .....	17
<b>Figura 18.</b> <i>Energía útil Wh.</i> .....	17
<b>Figura 19.</b> <i>Energía útil de un día en específico Wh.</i> .....	18
<b>Figura 20.</b> <i>Eficiencia % del sistema termo solar.</i> .....	20
<b>Figura 21.</b> <i>Eficiencia de un día en específico % del sistema termo solar.</i> .....	21
<b>Figura22.</b> <i>Irradianc.</i> .....	30
<b>Figura 23.</b> <i>Energía solar disponible.</i> .....	31
<b>Figura 24.</b> <i>Energía útil Wh.</i> .....	32
<b>Figura 25.</b> <i>Energía útil Julios.</i> .....	33
<b>Figura 26.</b> <i>Eficiencia %.</i> .....	34

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> <i>Promedio de temperaturas entrada, salida y ambiente</i> .....	16
<b>Tabla 2.</b> <i>Eficiencia del sistema termosolar</i> .....	19
<b>Tabla 3.</b> <i>Eficiencia de un día típico</i> .....	20

## RESUMEN

Para evaluar la eficiencia del colector cilindro parabólico con seguimiento mecánico, se consideró un tubo de cobre pintado de color negro, usando una plancha reflectiva dentro del sistema parabólico. Por otro lado, se usó un sistema mecánico para dar seguimiento al sol según su dirección y así aprovechar mejores horas útiles de sol. También se ubicó lunas de vidrio de 4mm de grosor para evitar pérdida de calor. El área de estudio corresponde al campus universitario de la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas (UNTRM), en la ciudad de Chachapoyas (Amazonas), ubicada a 2350 msnm con una temperatura ambiente promedio 17°C. Para la obtención de datos se utilizó un caudalímetro para medir el caudal de agua que ingresaba en cada prueba, un termómetro HAZET 1990-1, para tomar la temperatura de agua tanto de entrada y salida. Los datos se tomaron por 30 días, en intervalos de media hora, empezando desde las 8:00 hasta las 17:00, además se registró temperatura ambiente y radiación solar. La radiación solar captada por el sistema del colector cilindro parabólico considera que, en la irradiancia el punto más alto se obtuvo a las 12:00 horas del mediodía con un total de 1052.96 Wh/m<sup>2</sup>. Por otro lado, la energía útil (Wh) presenta su punto más alto a las 13:30 horas con un total de 718.89 Wh y, por último, la eficiencia obtenida con mayor porcentaje se obtuvo a las 10:30 horas de la mañana con un máximo del 70.84%, logrando así una excelente eficiencia térmica del sistema termo solar constituida por un colector cilindro parabólico.

**Palabras claves:** *Energías renovables, energía solar, colector cilindro parabólico, agua caliente.*

## ABSTRACT

To evaluate the efficiency of the parabolic trough collector with mechanical tracking, a black painted copper tube was considered, using a reflective sheet inside the parabolic system. On the other hand, a mechanical system was used to track the sun according to its movement in order to take advantage of better sunlight hours. Also, 4mm thick glass panes were installed to avoid heat loss. The study area corresponds to the university campus of the Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas (UNTRM), in the city of Chachapoyas (Amazonas), located at 2350 meters above sea level with an average ambient temperature of 17°C. To obtain data, a flow meter was used to measure the flow of water entering each test, and a HAZET 1990-1 thermometer was used to measure the inlet and outlet water temperature. Data were taken for 30 days, at half-hour intervals, starting at 8:00 am and ending at 5:00 pm, and ambient temperature and solar radiation were also recorded. The solar radiation captured by the parabolic trough collector system considers that, in irradiance, the highest point was obtained at 12:00 noon with a total of 1052.96 Wh/m<sup>2</sup>. On the other hand, the useful energy (Wh) presents its highest point at 13:30 hours with a total of 718.89 Wh and, finally, the efficiency obtained with the highest percentage was obtained at 10:30 hours in the morning with a maximum of 70.84%, thus achieving an excellent thermal efficiency of the solar thermal system constituted by a parabolic trough collector.

**Key words: Renewable energy, solar energy, parabolic trough collector, hot water**

## I. INTRODUCCIÓN

El aumento significativo en la adopción de energía renovable se ha convertido en una estrategia fundamental para la mitigación al cambio climático en los sectores social, económico y ambiental, lo que se traduce en ahorro de tiempo, fuentes de ingreso, mejora de salud, educación, oportunidades laborales, así como también, la promoción de capital social (Suman, 2021).

La energía solar, es producida por la luz, de la cual se obtiene energía fotovoltaica y térmica, a partir de estas podemos generar electricidad o calor. Para producir energía solar térmica se usan paneles o espejos para absorber y concentrar el calor solar (Nordholm and Sareen, 2021). El aprovechamiento de la energía solar se ha incrementado debido al desarrollo de las tecnologías, especialmente los sistemas termosolares de baja temperatura que demuestran alta eficiencia en América Latina (Soria, 2017). Las aplicaciones de estos sistemas son para cubrir la demanda de temperatura entre 100°C y 250°C (Rasham and Al-Bakri, 2021).

Los colectores cilindro parabólicos son concentradores de calor solar térmico, donde se usan cilindros parabólicos para poder concentrar toda la radiación solar, para los sistemas de colectores solares los análisis óptico y térmico son esenciales. Existen diversas técnicas y sistemas de medición para la caracterización óptica y térmica de la eficiencia de los sistemas de concentración solar (Hoffschmidt et al. 2012).

En ese sentido, hoy en día, se utilizan sistemas solares térmicos para generar calor en el agua a bajo costo, el uso de colectores cilíndricos parabólicos térmicos son dispositivos utilizados para convertir la radiación solar en energía térmica, transportándola a un dispositivo de almacenamiento para su uso posterior (Evangelisti et al. 2019).

En la India, Gowda et al. (2020), desarrollaron el software SolTrace 2.0, para diseñar colectores cilíndrico parabólico teniendo en cuenta el flujo de calor solar incidente sobre la estructura del colector, además, de la apertura de la parábola, el diámetro y longitud del tubo receptor. En el caso de Subramanian et al. (2020), convirtieron energía solar en trabajo útil, utilizando un colector cilíndrico parabólico, variando el material de la superficie del absorbedor, logrando obtener una mayor absorción de calor usando una lámina de aluminio. Por su parte, Thappa et al. (2020), realizaron una

comparación analítica de dos tubos receptores distintos de un sistema solar cilindro parabólico. Lo que resulto de esta comparación analítica es que según el diámetro del reflector a usar puede variar los parámetros del sistema solar, utilizando el mismo reflector parabólico. Consecuentemente en Reino Unido, se realizó un trabajo sobre calentadores de agua usando colectores solares, el objetivo fue aumentar la transferencia de calor a través de la cavidad del anillo. Se demostró una mejora de la eficiencia diaria de un 20% a un 55% (Smyth et al. 2020). Según Bellos et al. (2018), en Grecia desarrollaron una investigación sobre el uso del flujo de inserción, esta es una técnica prometedora para aumentar el rendimiento de colectores solares parabólicos. Se encontró que el uso de más insertos conduce a un mayor rendimiento térmico, energético y de eficiencia general del colector. La eficiencia térmica máxima mejora en un 0.656%, las perdidas térmicas se reducen alrededor de 5.63% y el coeficiente de transferencia de calor se incrementa en 26.88%.

Para evaluar la eficiencia del sistema termosolar parabólico con seguimiento mecánico en la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas, el primer objetivo fue diseñar y construir el sistema termosolar parabólico, posteriormente, realizar la recolección de datos para calcular la eficiencia del sistema parabólico. Con este trabajo de investigación se busca mejorar los beneficios del agua caliente y así mejorar la calidad de vida de una familia u otras mediante el uso de energía renovables.



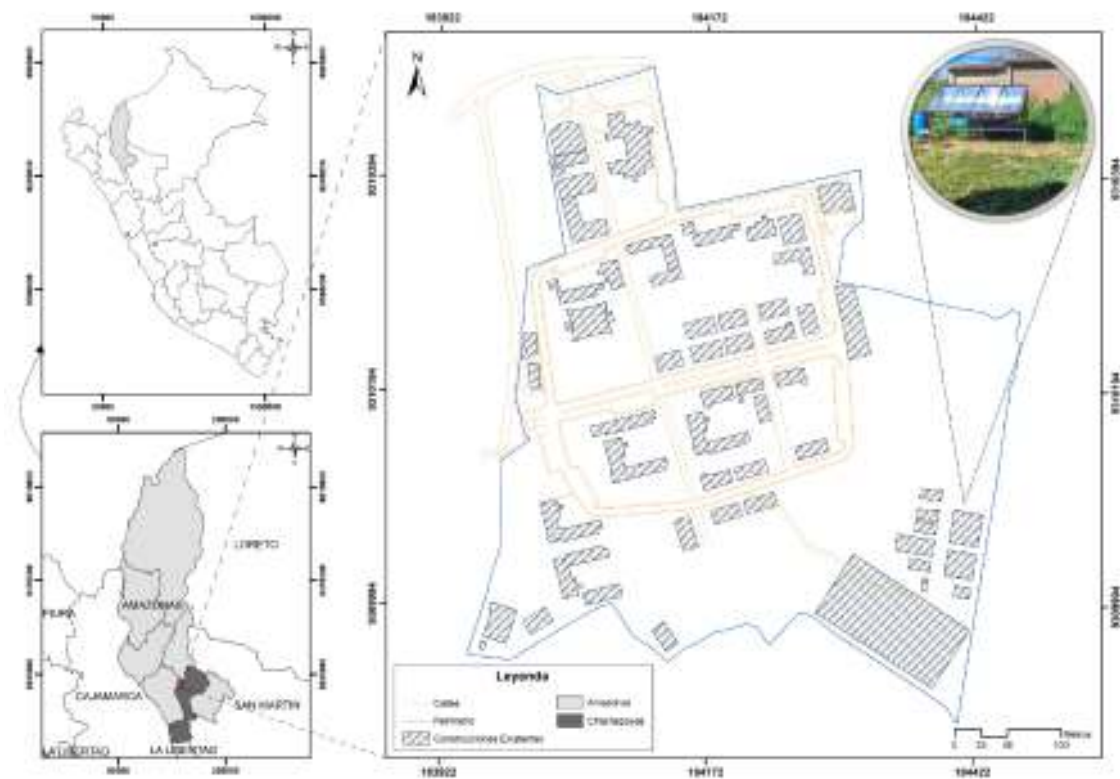
## II. MATERIALES Y MÉTODOS

### 2.1. Área de estudio

En la figura 1, se muestra la ubicación donde se desarrolló esta investigación en el campus central de la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas. Ubicada en la ciudad de Chachapoyas, distrito y provincia de Chachapoyas, departamento de Amazonas. Las condiciones climáticas son: Clima templado, moderadamente lluvioso y con una amplitud térmica moderada. La media anual de temperatura máxima es de 26°C y una mínima de 11°C. La precipitación máxima de 20.1 mm/mes y con una mínima de 13.6 mm/mes (SENAMHI, 2020).

**Figura 1.**

*Campus central de la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas.*

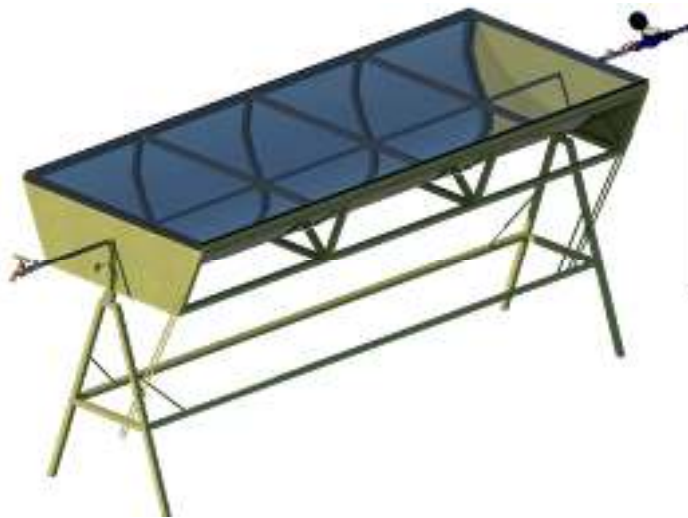


## 2.2. Sistema termo solar parabólico con seguimiento mecánico

El colector cilindro parabólico (CCP) consiste en los siguientes componentes como una plancha reflectora de forma parabólica, un receptor tubular lineal y una estructura de soporte metálica con seguimiento solar mecánico, como muestra en la figura 2 (operado manualmente) (Bellos & Tzivanidis, 2019).

**Figura 2.**

*Colector cilindrito parabólico.*

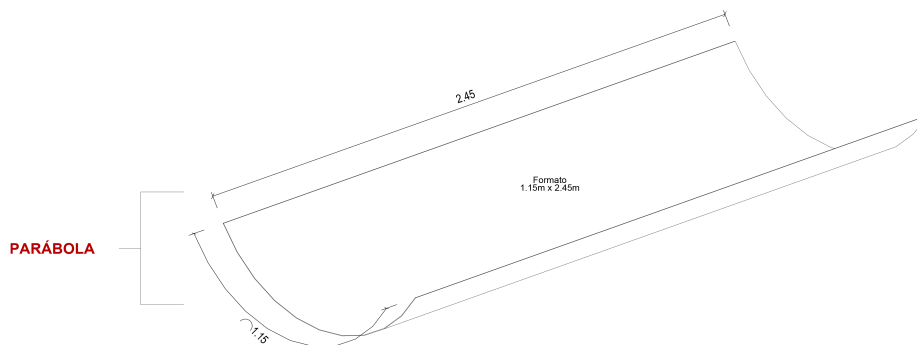


## 2.3. Reflector cilindro parabólico

Para el diseño del canal parabólico se tuvo en cuenta, la ecuación general de la parábola para determinar la distancia focal, Por lo tanto, se utilizaron las siguientes fórmulas matemáticas:

**Figura 3.**

*Plancha Reflectante.*



### **Ecuación de la parábola:**

Según Velasco (2012) muestra las siguientes ecuaciones para la formación de la parábola.

$$y = \frac{x^2}{4a} \dots\dots\dots \mathbf{Ecuación 1}$$

Donde:

a: es la distancia entre el foco y el vértice

x: es la variable que dirige la curva de y

### **Longitud de la parábola del arco parabólico o lugar geométrico (L)**

$$L = a \left[ \sqrt{2} + \ln \left( 2a(1 + \sqrt{a}) - \ln(2a) \right) \right] \dots\dots\dots \mathbf{Ecuación 2}$$

Teniendo en cuenta el ancho de la plancha de acero de espejo obtenemos L= 122cm, entonces a= 20.5 por lo tanto, el lado recto de la parábola es LR= 82cm.

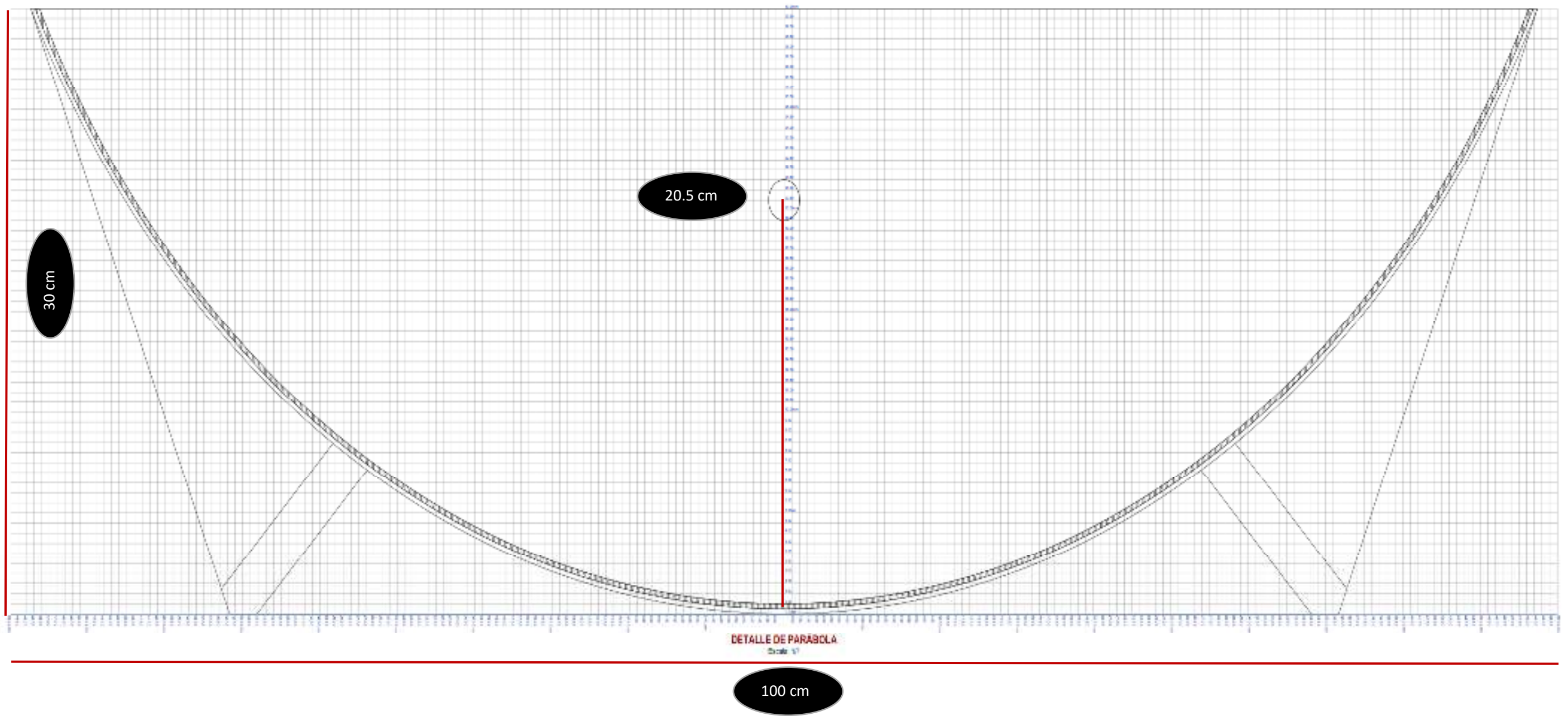
### **Ecuación de la parábola**

$$y = \frac{x^2}{82} \dots\dots\dots \mathbf{Ecuación 3}$$

Se instalo una plancha reflectante para poder reflejar los rayos solares hacia el tubo de cobre absorbente y obtener mejores resultados de calor.

**Figura 4.**

*Parábola del colector cilindro parabólico*

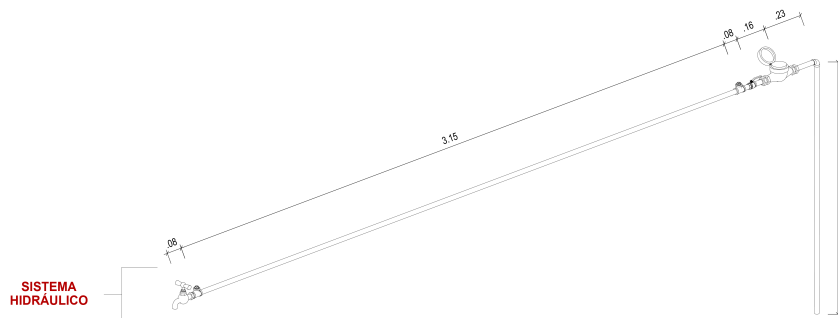


#### 2.4. Tubo de absorción o receptor

En la **figura 5**, tenemos el tubo de cobre que se usó para captar el agua dentro del sistema del colector cilindro parabólico, durante el tiempo que se retuvo para la prueba del calentamiento del agua durante media hora por la radiación solar.

**Figura 5.**

*Tubo de absorción.*



#### 2.5. Sistema de seguimiento mecánico y estructura de soporte

Este sistema sirvió para realizar seguimiento del colector cilindro parabólico (CCP) según el movimiento del sol durante el día cada media hora y así aprovechar más hora útiles de calor.

**Figura 6.**

*Sistema de seguimiento mecánico*

Sistema de  
seguimiento  
mecánico



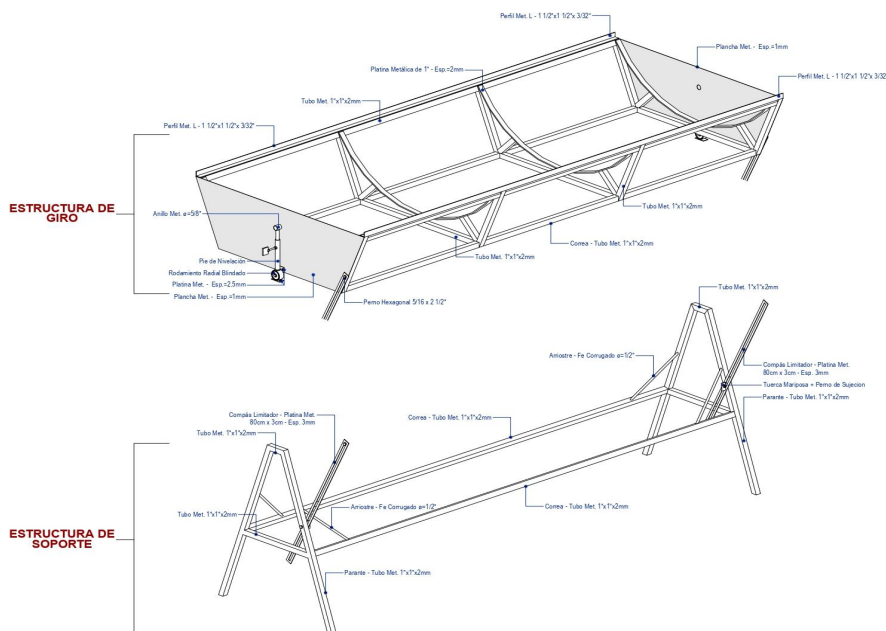
*Nota:* Se muestra el manejo mecánico que se dio al sistema del CCP, dando seguimiento al movimiento del sol

### 2.5.1. Construcción

Para la construcción del CCP se tomó en cuenta el plano de la figura 7. La estructura metálica como soporte para el sistema colector cilindro parabólico, cuenta con una altura de 88cm, 245 cm de largo y 105 cm de ancho.

**Figura 7.**

*Estructura giro y estructura metálica de soporte del CCP*





### 2.5.2. Instalación

Para la instalación, se niveló el terreno para luego tomar en cuenta la ubicación de norte sur con la finalidad de aprovechar mejor la radiación solar, además se tomó un punto de agua al sistema para llevar a cabo el desarrollo del proyecto.

Posteriormente, se ubicaron lunas de vidrio de 4mm de espesor sobre el sistema del colector cilindro parabólico, con el objetivo de no permitir fuga y así tener mayor concentración de calor dentro del colector cilindro parabólico.

#### Figura 8.

*Ubicación de lunas de vidrio de 4ml*



#### Figura 9.

*Llave de paso ½ pulgada*



*Nota:* llaves paso ½ pulgada ubicadas en la entrada y salida del sistema del CCP

**Figura 10.**

*Tubos pvc ½ pulgada*



*Nota:* Muestra tubos de pvc ½ que fueron usados para obtención de agua al sistema del CCP

## 2.6. Recolección de datos

### 2.6.1. Medición de temperatura

Inicialmente se tomó la temperatura de entrada del agua al sistema con el termómetro HAZET 1991-1, posteriormente en un lapso de 30 min, se observó cuanto fue el cambio de calentamiento en el sistema del colector cilindro parabólico, tal y como se puede ver en la siguiente figura:

**Figura 11.**

*(A) Toma de temperatura de entrada. (B) Toma de temperatura de salida.*



*Nota:* En la figura B observamos la evaporación de agua, esto ocurrió en varias ocasiones durante la prueba de los 30 días.





dispersión, la reflexión por arrastre y la absorción, también a través de partículas gaseosas (como el ozono y el vapor de agua) y las partículas en suspensión, etc.

Para este trabajo de investigación se tomó los datos de radiación solar de la estación del Instituto de Investigación para el Desarrollo Sustentable de Ceja de Selva (INDES-CES). Se seleccionaron los 30 días que fueron tomados en campo, los cuales ser procesados para poder evaluar la eficiencia del sistema del colector cilindro parabólico.

### **2.6.3. Cálculo de la energía solar ganada por el sistema termo solar con seguimiento mecánico**

Espinoza, (2017), menciona que la eficiencia de un colector se define como la relación entre la energía térmica útil ganada por el colector y la energía recibida cada día, cual se expresa en la siguiente ecuación:

$$\eta = \frac{\text{Energía térmica útil (Et)}}{\text{Energía solar recibida (Es)}} \dots \dots \dots \text{Ecuación 4}$$

**Energía térmica ganada:**

$$Et = m.c. \Delta T$$

**Donde:**

**m:** masa del agua

**c:** calor específico del agua

**ΔT:** variación de temperatura del agua

**Energía solar recibida:**

$$Es = es. A$$

**Donde:**

**Es:** energía solar recibida. Viene hacer el área bajo la curva de la radiación solar vs los intervalos de tiempo, calculada mediante el método de aproximación trapezoidal.

**A:** área del colector solar en m<sup>2</sup>

#### **2.6.4. Instrumento de recolección de datos y procesamiento de datos**

Se usó una tabla de Excel para recolectar los datos obtenidos del sistema termo solar durante 30 días de 8:30 a 17:00 y poder calcular la eficiencia térmica del colector cilindro parabólico.

Obtenido los datos durante los 30 días de 8:30 a 17:00, se procesó los datos de radiación solar del INDES-CES. Una vez obtenido estos datos se procesaron en el programa el software Microsoft Excel 2018.

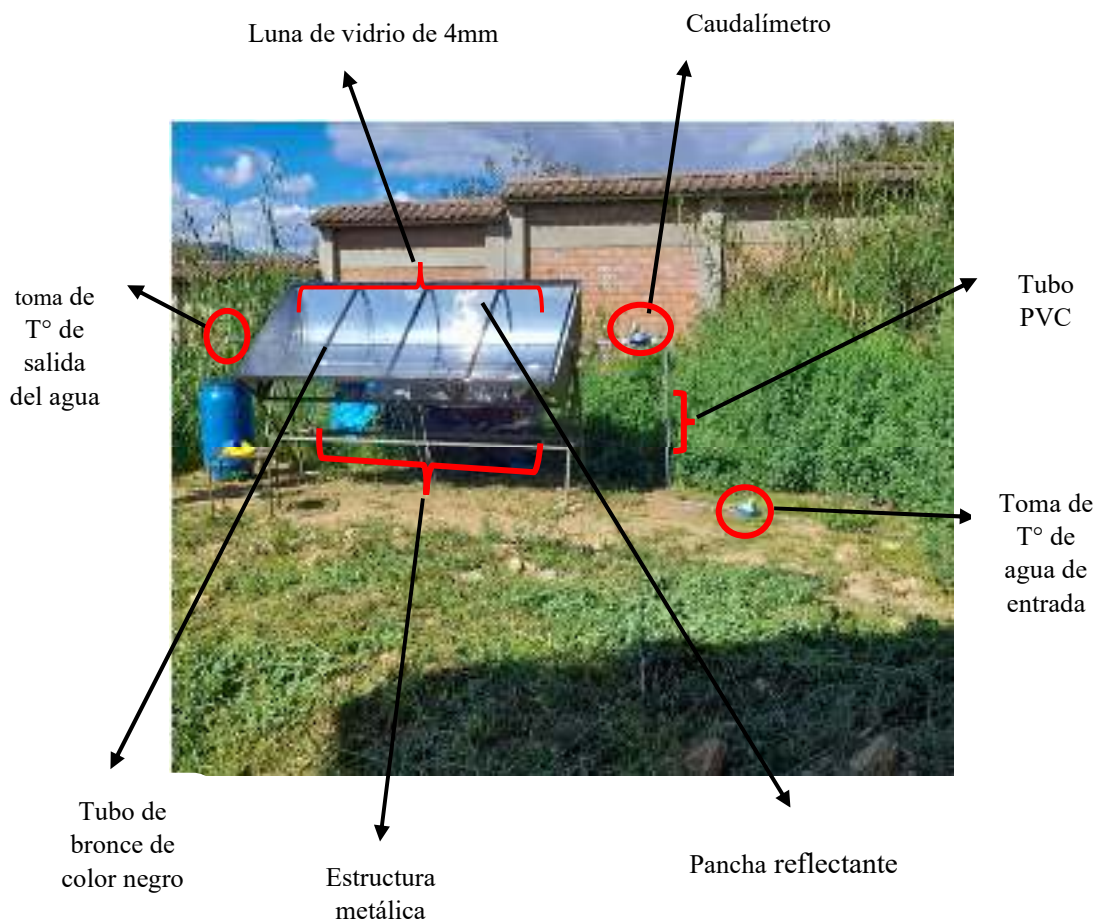
### III. RESULTADOS

#### 3.1. Implementación del sistema termosolar

En la figura 14, se muestra el sistema termosolar implementado la cual se muestra la tubería de ingreso de agua, el caudalímetro, colector parabólico, la tubería de concentración de calor y la tubería de salida.

**Figura 14.**

*Implementación del sistema termosolar.*

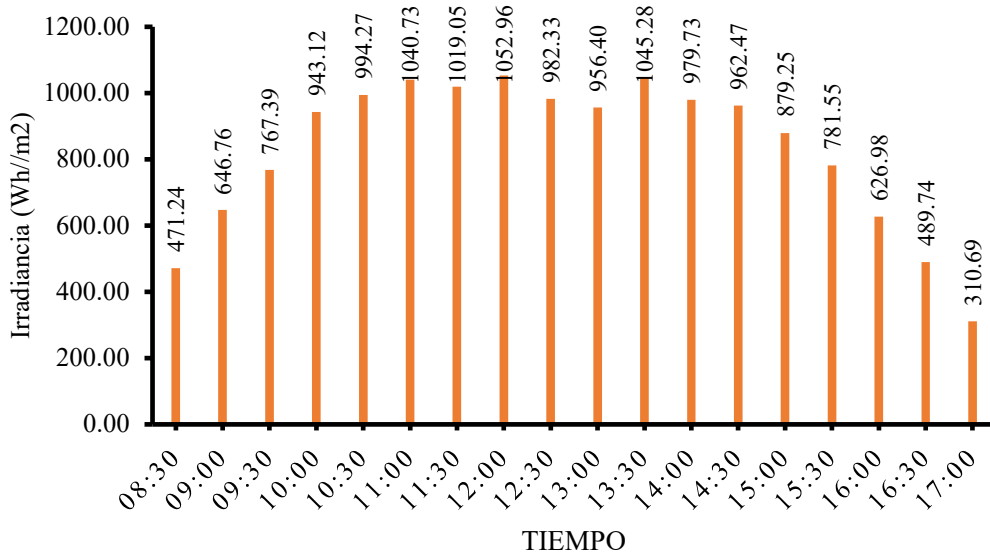


#### 3.2. Energía solar durante el estudio

En figura 15, se indica la irradiancia promedio durante el periodo de estudio de 8:30 a 17:00 durante los 30 días evaluados. Los mayores valores de irradiancia que superan los 900 Wh/m<sup>2</sup> se encuentran entre las 10:00 a 15:00.

**Figura 15.**

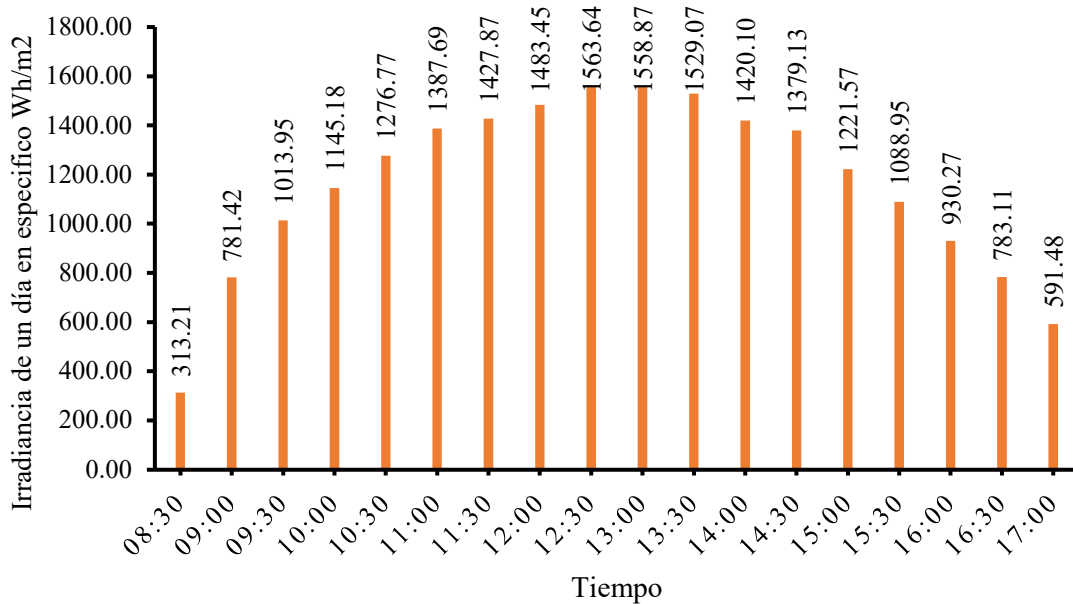
*Irradiancia Wh/m<sup>2</sup>*



En la figura 16, se indica la irradiancia promedio de un día típico del 02 de julio del 2021 del periodo de estudio 8:30 a 17:00 durante los 30 días evaluados. Los valores que superan los 900 Wh/m<sup>2</sup> son a partir de las 9:30 hasta las 16:00.

**Figura 16.**

*Irradiancia de un día en específico Wh/m<sup>2</sup>*



### 3.3. Temperaturas del sistema termosolar

En la tabla 1, se indica la temperatura promedio del periodo estudio desde las 8:30 hasta las 17:00, durante 30 días.

**Tabla 1.**

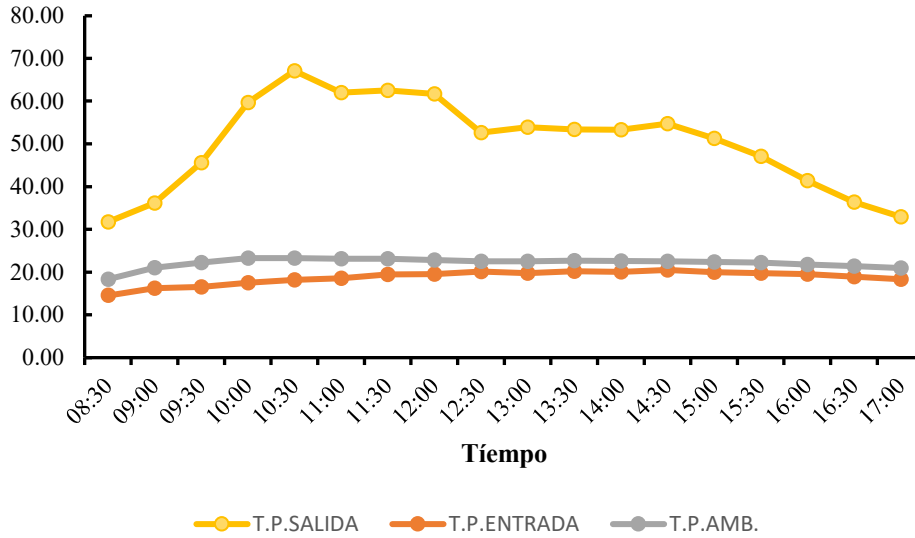
*Promedio de temperaturas entrada, salida y ambiente.*

<b>HORA</b>	<b>T.P. SALIDA</b>	<b>T.P. ENTRADA</b>	<b>T.P. AMB.</b>
08:30	31.77	14.56	18.35
09:00	36.17	16.27	21.06
09:30	45.59	16.53	22.19
10:00	59.67	17.52	23.30
10:30	67.10	18.17	23.24
11:00	61.99	18.59	23.16
11:30	62.50	19.43	23.09
12:00	61.71	19.56	22.82
12:30	52.65	20.13	22.50
13:00	53.89	19.76	22.52
13:30	53.33	20.19	22.64
14:00	53.33	20.06	22.61
14:30	54.68	20.52	22.53
15:00	51.24	19.97	22.41
15:30	47.07	19.76	22.21
16:00	41.41	19.50	21.81
16:30	36.37	18.93	21.37
17:00	32.92	18.31	20.94

En la figura 17, se indica el comportamiento de las temperaturas del agua tanto de entrada, de salida y de ambiente. Los valores de temperatura de agua de entrada y los de temperatura ambiente están en un intervalo entre 18°C y 20°C y la temperatura de salida del agua tenemos como valor más alto a las 10:30 con 67.40°C.

**Figura 17.**

*Promedio de temperaturas de entrada, salida y ambiente*

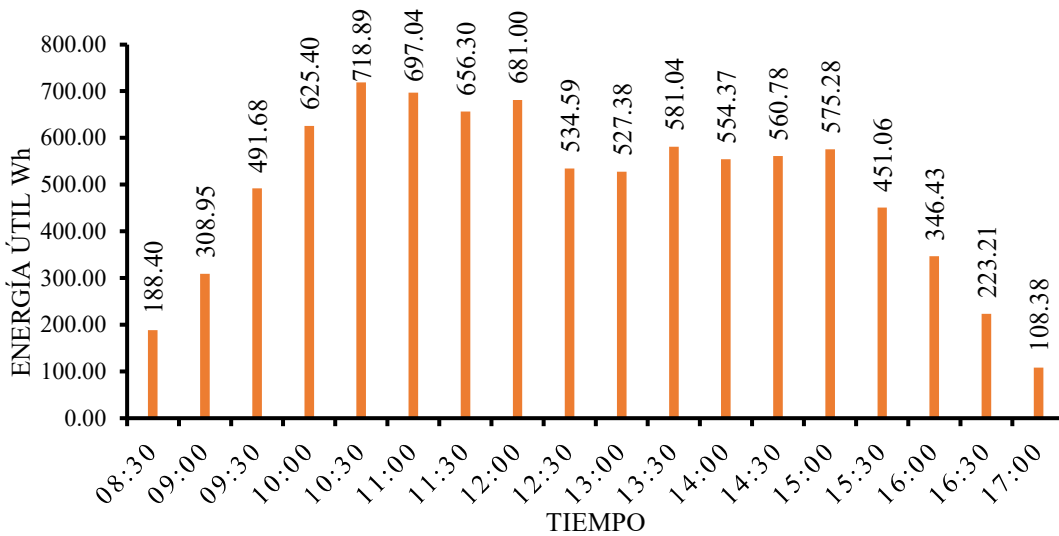


### 3.4. Energía solar útil

En la figura 18, Se indica la energía solar útil promedio durante el periodo de estudio de 8:30 a 17:00, durante los 30 días evaluados. Los mayores valores de la energía útil que superan los 600 Wh se encuentran entre 10:00 a 12:00.

**Figura 18.**

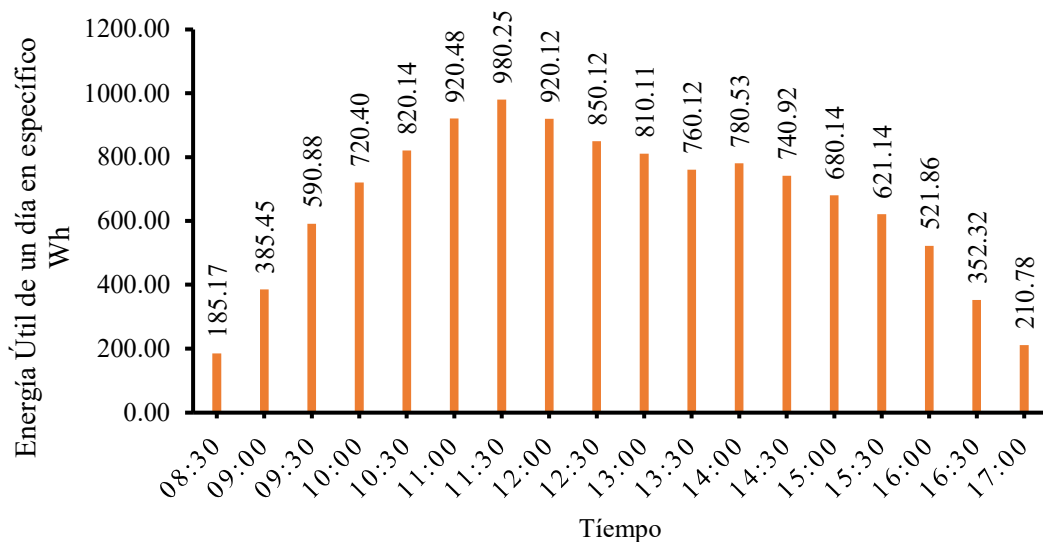
*Energía útil Wh*



En la figura 19, se indica la energía útil promedio de un día típico del 05 de julio del 2021 del periodo de estudio de 8:30 a 17:00 durante los 30 días evaluados. Los valores más altos que superan los 900 Wh son a partir de las 11:00 hasta las 12:00.

**Figura 19.**

*Energía útil de un día en específico Wh*



### 3.5. Eficiencia del sistema termosolar colector cilindro parabólico

En la tabla 3, se indica la eficiencia del sistema termosolar desde las 8:30 am hasta las 5:00 pm, en los 30 días evaluados. Los mayores valores de eficiencia que superan el 60% se encuentran entre las 9:00 hasta 13:00, con el valor más alto de eficiencia a las 10:30 con un 70.84%.



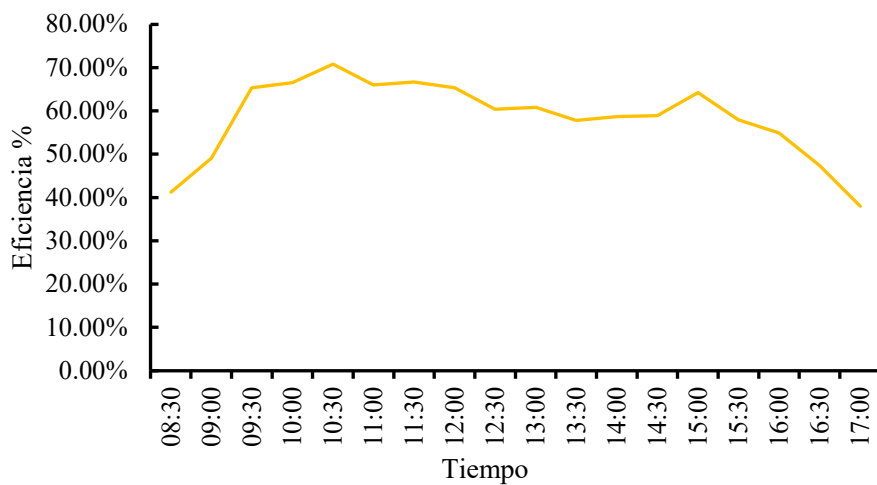
**Tabla 2.***Eficiencia del sistema termosolar*

<b>HORA</b>	<b>EFICIENCIA</b>
08:30	41.23%
09:00	49.06%
09:30	65.33%
10:00	66.52%
10:30	70.84%
11:00	65.98%
11:30	66.67%
12:00	65.29%
12:30	60.37%
13:00	60.82%
13:30	57.82%
14:00	58.64%
14:30	58.90%
15:00	64.25%
15:30	57.91%
16:00	54.92%
16:30	47.36%
17:00	38.02%

En la figura 20, Se indica el comportamiento de la eficiencia promedio durante el periodo de estudio de 8:30 a 17:00 durante los 30 días evaluados. Los mayores valores de eficiencia que superan el 60% se encuentran entre las 9:00 hasta 13:00, con el valor más alto de eficiencia a las 10:30 con un 70.84%.

**Figura 20.**

*Eficiencia % del sistema termo solar*



En la tabla 3, se indica la eficiencia promedio de un día típico del 05 de julio del 2021 en el periodo de estudio de 8:30 a 17:00 durante los 30 días evaluados. Los valores que superan el 60% son desde las 10:00 a 11:30.

**Tabla 3.**

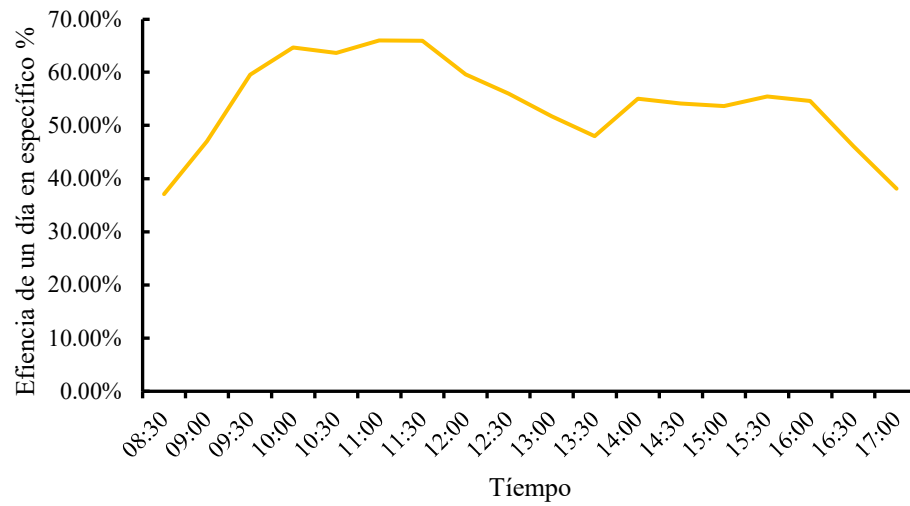
*Eficiencia de un día típico*

HORA	Eficiencia de un día en específico %
8:30	37.09%
9:00	47.04%
9:30	59.53%
10:00	64.69%
10:30	63.66%
11:00	66.01%
11:30	65.92%
12:00	59.61%
12:30	55.98%
13:00	51.72%
13:30	47.99%
14:00	55.03%
14:30	54.12%
15:00	53.64%
15:30	55.46%
16:00	54.62%
16:30	46.12%
17:00	38.10%

En la figura 21, se indica el comportamiento de la eficiencia promedio de un día típico del 05 de julio del 2021 en el periodo de estudio de 8:30 a 17:00 durante los 30 días evaluados. Los valores que superan el 60% son desde las 10:00 a 11:30.

**Figura 21.**

*Eficiencia de un día en específico % del sistema termo solar*



#### IV. DISCUSIÓN

El diseño del sistema termosolar considera un colector cilindro parabólico, un tubo de metal de color negro para optimizar su fusión de generar más calor y obtener resultados eficientes, lo cual coincide con los elementos usados en las investigaciones de Raja and Huang, (2020) logrando una eficiencia similar a la de la presente investigación.

A diferencia Zhao et al. (2022), quienes diseñaron una estrategia de aplicación múltiples de revestimientos de absorción solar selectiva (SSG) en diferentes secciones del colector cilindro parabólico (CCP) para obtener un buen sistema de rendimiento térmico del mismo. En este estudio, solo se usó un tubo de cobre de color negro para tener mejor captación de calor de la lámina reflectante y se usó lunas de vidrio de 4mm para no tener pérdidas de calor del sistema termosolar, como es en el caso de Jamali (2019), que utilizó espejos reflectantes para lograr una mejor eficiencia térmica de los colectores cilindro parabólicos y como resultado se demuestra que la reflectancia es casi ideal con un resultado de 0.99 que los espejos de aluminio como los comunes resultan ser muy eficientes.

Este colector cilindro parabólico consta de un sistema de seguimiento mecánico que nos permitió dar seguimiento al sol cada media hora del día, empezando la prueba desde 8:00 hasta las 17:00, para obtener un mejor aprovechamiento del sol durante el día, horarios que coinciden con lo realizado por Salcedo, (2016), quien usó el mismo sistema, logrando resultados muy eficientes.

Canaza, (2017), usaron un sistema de colectores solares con tubos de PVC para agua caliente, los datos se tomaron por 31 días, en un intervalo de 15 min, y la eficiencia lograda por su sistema fue de según su clasificación en días nublados un 35.64%, en días combinados un 38.51% y en días soleados un 44.57%. En nuestro estudio, se tomaron datos por 30 días, en un intervalo 30 min, con diferentes tiempos atmosféricos los cuales no afectaron que el sistema del colector cilindro parabólico obtuviera resultados eficientes con un porcentaje total de 70.84%, esto se debe a que en esta investigación se dio seguimiento al sol cada 30 min, exponiendo al tubo de cobre que contenía el agua directamente a los rayos solares. Como también es el caso de Smyth et al. (2020), ellos trabajaron con calentadores de agua usando de la misma forma colectores solares, con la diferencia que buscaban aumentar la transferencia de calor a través de la cavidad de un anillo, su eficiencia aumento de un 20% a un 55%. En

relación con la presente investigación se demuestra que usando el sistema seguimiento mecánico se obtiene mejores resultados.

Echeverri, (2011), también estudió un sistema de colectores cilindro parabólicos para captar la energía solar y obtener agua caliente, tal y como se realizó en esta investigación, por ende en su investigación se estima un tiempo de vida útil del sistema que se encuentra entre 20 a 30 años, lo cual resulta económico y viable de realizar en proyectos posteriores con colectores cilindro parabólicos y de esta manera se está contribuyendo al cuidado del medio ambiente y así minimizar los impactos ambientales que vienen afectando el cambio climático y a su vez la salud humana.

## V. CONCLUSIONES

- Se diseñó e implementó satisfactoriamente el sistema termosolar parabólico que consta de 2.45m de largo, 1.05 de ancho y 1.25 de alto, con seguimiento mecánico, para el cual se ha utilizado materiales que pueden ser de fácil adquisición y fácil ensamblado, con la finalidad de usarlo para calentamiento de agua con la energía solar y medir su eficiencia. Este sistema puede ser replicado fácilmente con lo descrito en la presente investigación.
- La irradiación solar viene a ser la energía disponible del estudio donde el valor más alto fue de 1052.96 Wh/m<sup>2</sup> y de un día típico el valor más alto es de 1563.64 Wh/m<sup>2</sup>. Respecto diferentes temperaturas consideradas dentro de esta investigación tenemos que la T° de entrada y T° ambiente están en intervalo de 18° C a 20°C y la T° de salida tenemos como valor más alto a las 10.30 con 67.40°C. La energía útil como valor más alto es de 718.89 Wh y en un día típico tenemos 980.25 Wh como valor más alto y en la eficiencia del sistema termo solar la más alta es de 70.84% y la de un día típico es de 66.01%. estos valores demuestran un buen aprovechamiento del sistema termosolar propuesto.
- El análisis de los datos nos arroja que el sistema tanto en funcionalidades y eficiencia energética es muy positivo comparada con otro tipo de sistemas. Mediante la ejecución de la presente investigación, se logró determinar que un sistema termosolar parabólico con seguimiento mecánico, puede tener una eficiencia de 70.84%.

## VI. RECOMENDACIONES

- Para ampliar estudios superiores sobre sistemas de colectores cilindro parabólicos en función a calentar agua, se recomienda usar una serie de tubos de cobre por todo el sistema del colector cilindro parabólico y así dar un mejor logro al sistema termosolar aprovechando horas útiles de radiación solar.
- Se recomienda usar todo tipo de llaves de agua de metal para no tener fugas al momento que se calienta el sistema, ya que las llaves de pvc tienden a deteriorarse cuando el sistema gana calor y tenemos fuga tanto de agua y por ende de calor.
- Usar sistemas amigables con el medio ambiente que no alteren los ecosistemas, como las energías renovables que no emiten gases de efecto invernadero en los procesos de obtener energía, es una forma de generación de energía limpia y más viable frente a la degradación del ambiente.

## VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abreu, J. (2012). Hypothesis, Method & Research Design. *International Journal of Good Conscience.*, 7(2), 187-197.
- Bellos, E. and Tzivanidis, C. (2018). Multiple cylindrical inserts for parabolic trough solar collector. *Applied Thermal Engineering*, 143, 80-89.  
<https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2018.07.086>
- Bellos, E., and Tzivanidis, C. (2019). Alternative designs of parabolic trough solar collectors. *Progress in Energy and Combustion Science*, 71, 81-117.  
<https://doi.org/10.1016/j.pecs.2018.11.001>
- Benavides, O. (2019). *INFORMACIÓN TÉCNICA SOBRE LA RADIACIÓN ULTRAVIOLETA, EL ÍNDICE UV Y SU PRONÓSTICO*. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales—IDEAM.  
<http://www.ideam.gov.co/documents/21021/95803944/INFORMACI%C3%93N+TECNICA+RADIACI%C3%93N+ULTRAVIOLETA%2C+EL+%C3%8DNDICE+UV+Y+PRON%C3%93STICO+%2830+Nov+2019%29.pdf/3f6362e3-8c5c-400f-8d09-ddbc54758597?version=1.0>
- Canaza, F. (2017). *EFICIENCIA ENERGÉTICA DE COLECTORES SOLARES CON TUBOS VERTICALES DE PVC EN TERMAS SOLARES, AMAZONAS, 2017*. 134.
- Echeverri, C. (2011). *DISEÑO DE UN COLECTOR CILINDRO PARABÓLICO COMPUESTO CON APLICACIÓN PARA EL CALENTAMIENTO DE AGUA*.  
<https://www.google.com/search?q=DISE%C3%91+DE+UN+COLECTOR+CILINDRO+PARAB%C3%93LICO+COMPUESTO+CON+APLICACI%C3%93N+PARA+EL+CALENTAMIENTO+DE+AGUA&oq=DISE%C3%91O+DE+UN+COLECTOR+CILINDRO+PARAB%C3%93LICO+COMPUES>



TO+CON+APLICACI%C3%93N+PARA+EL+CALENTAMIENTO+DE+A  
GUA&aqs=chrome..69i57.1345j0j7&sourceid=chrome&ie=UTF-8

- Espinoza, F. (2017). Eficiencia energética de colectores solares con tubos verticales de PVC en termas solares, Amazonas. *Revista de Investigación de Agroproducción Sustentable*, 3(2), 46. <https://doi.org/10.25127/aps.20192.489>
- Evangelisti, L., De Lieto Vollaro, R., and Asdrubali, F. (2019). Latest advances on solar thermal collectors: A comprehensive review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 114, 109318. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2019.109318>
- Gowda, A., and Hanumanthrapa, R. (2020). Theoretical prediction of solar heat flux intensity on parabolic trough collector systems. *Materials Today: Proceedings*, 26, 2231-2236. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.02.484>
- Hoffschmidt, B., Alexopoulos, S., Götsche, J., Sauerborn, M., and Kaufhold, O. (2012). 3.06—High Concentration Solar Collectors. En A. Sayigh (Ed.), *Comprehensive Renewable Energy* (pp. 165-209). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-087872-0.00306-1>
- Jamali, H. (2019). Investigation and review of mirrors reflectance in parabolic trough solar collectors (PTSCs). *Energy Reports*, 5, 145-158. <https://doi.org/10.1016/j.egyr.2019.01.006>
- Nordholm, A., and Sareen, S. (2021). Scalar Containment of Energy Justice and Its Democratic Discontents: Solar Power and Energy Poverty Alleviation. *Frontiers in Sustainable Cities*, 3, 13. <https://doi.org/10.3389/frsc.2021.626683>
- Raja, A., and Huang, Y. (2020). Novel parabolic trough solar collector and solar photovoltaic/thermal hybrid system for multi-generational systems. *Energy*

*Conversion and Management*, 211, 112750.

<https://doi.org/10.1016/j.enconman.2020.112750>

Rasham, A., and Al-Bakri, B. (2021). *Thermal performance of double-pass counter flow and double-parallel flow solar air heater with V-grooved absorber plate*. 1076(1), 012081. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/1076/1/012081>

Salcedo, J. (2016). *Diseño de un sistema híbrido de calentamiento de agua sanitaria que aproveche la energía solar y eléctrica para una capacidad de 4500 litros por día para la ciudad de Puno Región Puno en Perú*. <http://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/handle/20.500.12404/7228>

SENAMHI. (2020). *SENAMHi—Amazonas*. <https://www.senamhi.gob.pe/main.php?dp=amazonas&p=pronostico-detalle>

Siva Subramanian, R., Kumaresan, G., Palanivel, R., Nishanth kalathil, P., & Nirmal, B. (2020). Comparative performance analysis of parabolic trough solar collector by varying absorber surface. *Materials Today: Proceedings*. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.04.248>

Smyth, M., Mondol, J. D., Muhumuza, R., Pugsley, A., Zacharopoulos, A., McLarnon, D., Forzano, C., Buonomano, A., and Palombo, A. (2020). Experimental characterisation of different hermetically sealed horizontal, cylindrical double vessel Integrated Collector Storage Solar Water Heating (ICSSWH) prototypes. *Solar Energy*, 206, 695-707. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2020.06.056>

Soria, A. (2017). Clasificación de los diferentes tipos de sistemas solares térmicos de baja temperatura. *Censolar*. <https://www.censolar.org/clasificacion-solar-termica/>

- Suman, A. (2021). Role of renewable energy technologies in climate change adaptation and mitigation: A brief review from Nepal. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 151, 111524.  
<https://doi.org/10.1016/j.rser.2021.111524>
- Thappa, S., Chauhan, A., Anand, Y., and Anand, S. (2020). Analytical comparison of two distinct receiver tubes of a parabolic trough solar collector system for thermal application. *Materials Today: Proceedings*.  
<https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.04.257>
- Velasco, C. (2012). DISEÑO DE CAPTADOR SOLAR CILÍNDRICO PARABÓLICO PARA APLICACIONES RURALES EN PARAGUAY. 83.
- Zhao, K., Jin, H., Gai, Z., and Hong, H. (2022). A thermal efficiency-enhancing strategy of parabolic trough collector systems by cascadingly applying multiple solar selective-absorbing coatings. *Applied Energy*, 309, 118508.  
<https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2021.118508>

## VIII. ANEXOS

### Anexo 1. Irradiancia.

hora	Irradiancia Wh/m2																													
	15/6/2021	17/6/2021	18/6/2021	21/6/2021	22/6/2021	23/6/2021	25/6/2021	1/7/2021	2/7/2021	5/7/2021	6/7/2021	7/7/2021	8/7/2021	9/7/2021	12/7/2021	13/7/2021	14/7/2021	15/7/2021	16/7/2021	19/7/2021	20/7/2021	21/7/2021	22/7/2021	23/7/2021	26/7/2021	27/7/2021	4/8/2021			
08:30	212.41	62.34	210.32	92.03	130.00	113.13	142.68	206.26	105.10	167.55	165.38	170.66	165.81	90.99	29.37	158.39	89.58	199.04	219.79	126.13	163.07	250.74	176.83	221.57	214.86	214.34	155.86			
09:00	268.89	95.38	107.07	127.63	139.35	316.38	290.89	252.56	262.22	274.96	272.08	269.77	229.18	86.93	27.23	232.19	225.43	296.44	267.24	116.22	87.78	298.34	293.43	280.07	268.19	261.82	286.08			
09:30	264.42	139.81	112.96	170.85	272.04	313.72	368.51	299.17	340.25	333.07	320.16	317.82	280.09	124.79	66.52	308.86	135.82	338.79	328.34	179.33	164.49	327.13	256.31	339.37	315.79	330.98	337.20			
10:00	403.10	147.12	235.74	198.29	417.93	322.61	402.78	391.24	384.29	373.72	371.23	380.41	376.92	174.62	184.66	418.62	362.64	187.09	188.15	279.89	394.96	401.74	192.91	345.79	365.69	391.72	320.95			
10:30	279.47	131.24	184.38	282.08	460.53	383.18	436.23	362.72	428.45	432.32	431.08	424.54	438.60	105.88	116.05	333.62	431.92	225.26	236.66	369.07	297.03	404.76	323.58	425.90	412.21	444.98	333.05			
11:00	175.21	111.08	185.42	358.84	401.10	424.63	479.35	324.78	465.67	467.94	454.11	447.12	480.82	101.04	97.24	202.38	452.69	259.32	272.97	400.15	348.09	382.81	363.42	494.14	456.71	400.81	551.69			
11:30	376.90	142.78	212.93	274.61	270.25	532.43	525.15	214.36	479.15	499.01	480.23	491.13	366.24	155.23	102.11	175.76	491.54	294.66	229.08	457.67	370.77	432.40	369.67	486.57	402.11	210.04	373.44			
12:00	556.91	149.08	165.03	394.92	245.85	514.95	544.51	441.58	497.80	518.00	515.91	517.44	194.29	151.54	83.52	182.73	547.69	275.88	214.57	350.01	497.84	397.90	360.29	564.61	303.55	123.99	400.50			
12:30	540.89	244.26	165.03	253.72	239.02	507.24	561.22	328.00	524.71	509.64	525.12	527.67	182.68	106.26	99.09	248.48	520.42	168.82	191.47	414.66	523.70	234.64	268.83	578.69	198.01	110.34	351.40			
13:00	530.67	273.64	182.59	431.08	351.13	306.23	548.98	328.06	523.11	525.63	521.22	522.54	201.54	167.63	121.01	174.52	519.33	203.52	97.02	377.73	490.92	347.93	235.03	537.57	132.26	106.77	166.48			
13:30	499.4	285.91	238.82	517.15	387.57	476.04	418.89	254.42	513.11	531.53	493.68	510.30	256.41	201.54	120.09	219.70	567.70	412.86	120.49	314.28	444.31	333.92	358.17	535.87	178.83	77.40	267.91			
14:00	471.64	387.15	154.10	445.59	230.38	518.99	520.68	223.92	476.54	475.96	487.81	489.95	415.89	135.51	123.51	197.24	565.89	495.28	142.28	380.74	485.47	236.48	166.14	488.43	132.55	50.67	183.46			
14:30	480.89	508.86	91.16	387.35	426.27	483.18	278.76	288.44	462.80	459.37	441.07	463.84	293.59	150.09	88.96	213.45	443.13	521.45	149.56	280.89	456.38	263.80	265.83	396.58	155.27	38.76	186.37			
15:00	397.94	419.82	106.16	422.47	373.81	363.10	367.76	381.07	409.92	425.50	405.81	434.36	235.94	237.95	96.00	155.86	308.15	314.76	117.67	362.73	460.83	262.43	275.08	217.95	199.96	62.02	190.34			
15:30	362.79	313.71	153.45	347.34	201.63	368.53	348.62	333.31	365.42	375.81	372.98	390.45	247.53	292.60	92.31	208.44	377.38	170.21	60.00	202.42	387.46	186.74	150.99	322.75	372.84	73.36	88.39			
16:00	226.87	199.76	252.06	322.22	85.08	320.68	214.14	216.73	312.17	320.62	320.26	322.75	267.51	177.29	108.42	316.62	301.92	174.79	91.25	134.14	326.40	110.44	78.91	197.97	156.50	81.58	47.32			
16:30	170.00	121.46	121.02	234.49	66.81	264.12	133.11	270.78	262.79	256.35	252.26	260.27	124.08	111.22	43.40	229.47	267.65	118.91	87.09	104.28	233.48	64.07	111.77	229.51	108.25	126.36	67.92			
17:00	118.33	79.61	93.83	74.70	21.75	183.89	46.70	102.57	198.48	185.64	193.13	194.38	38.32	58.90	28.40	157.04	222.84	131.47	41.17	48.75	39.95	50.91	45.11	197.46	65.18	91.70	47.23			



### Anexo 3. Energía útil Wh

1j	0.00027778																											
hora	15/6/2021	17/6/2021	18/6/2021	21/6/2021	22/6/2021	23/6/2021	1/7/2021	2/7/2021	5/7/2021	6/7/2021	7/7/2021	8/7/2021	9/7/2021	12/7/2021	13/7/2021	14/7/2021	15/7/2021	16/7/2021	19/7/2021	20/7/2021	21/7/2021	22/7/2021	23/7/2021	26/7/2021	27/7/2021	4/8/2021	PROMEDIO	
08:30	156.98	61.39	136.05	156.98	189.56	120.69	245.96	160.89	185.17	220.12	169.23	320.22	210.03	37.67	59.25	75.25	110.96	348.83	125.12	180.00	191.86	224.52	338.37	180.86	361.04	331.39	188.40	
09:00	207.63	92.09	115.12	217.67	250.45	408.14	380.56	519.76	385.45	523.25	289.45	510.22	202.03	49.85	90.84	214.85	165.35	560.23	142.23	157.32	265.81	466.22	403.95	434.72	483.48	496.04	308.95	
09:30	241.74	209.79	199.53	355.81	664.53	837.20	800.22	804.55	590.88	907.49	670.40	746.33	310.01	150.05	90.00	340.88	250.23	810.25	464.30	286.74	466.22	470.50	314.65	435.34	620.87	745.11	491.68	
10:00	376.74	141.28	474.41	379.88	920.92	953.78	945.77	1119.76	720.40	980.79	840.25	820.45	480.77	214.88	326.16	1001.23	260.85	541.04	432.55	698.36	468.12	500.10	450.52	580.50	820.62	810.16	625.40	
10:30	355.81	104.65	428.23	776.43	1230.68	1069.89	985.45	491.86	820.14	668.02	952.14	867.27	260.55	249.07	236.51	1289.45	350.68	460.46	510.24	711.55	797.43	893.22	1115.57	886.04	1320.23	859.56	718.89	
11:00	227.09	125.44	312.25	664.53	567.20	860.22	877.40	350.58	920.48	1300.80	1217.43	1023.85	280.36	214.53	198.84	467.16	450.77	455.23	820.14	958.11	750.85	962.78	752.64	1325.74	941.65	1097.08	697.04	
11:30	709.88	161.16	452.09	580.81	358.47	867.20	630.78	491.86	980.25	1287.20	895.23	856.23	320.14	280.46	242.23	308.72	640.41	657.55	406.04	942.63	880.56	940.45	939.76	1110.20	531.12	592.32	656.30	
12:00	784.88	232.32	293.02	772.11	352.32	1106.50	1112.78	883.25	920.12	1187.36	1088.36	550.89	266.68	237.90	186.28	380.65	674.35	504.41	416.51	1369.87	900.01	805.81	1526.91	675.45	245.24	232.15	681.00	
12:30	830.22	377.96	283.95	475.11	350.58	828.34	930.45	549.34	850.12	589.53	1321.45	540.77	307.11	240.70	171.63	462.55	480.89	388.95	315.76	992.71	650.14	345.35	701.16	450.58	254.65	209.30	534.59	
13:00	1009.87	310.46	341.72	963.58	477.20	685.45	940.32	450.00	810.11	910.46	865.11	485.42	441.62	245.56	209.79	433.25	475.26	280.89	209.30	531.45	833.01	571.74	460.46	268.32	265.81	235.74	527.38	
13:30	1119.76	483.48	471.48	1234.23	988.39	698.78	520.12	485.40	760.12	1061.15	789.06	700.45	366.28	251.16	261.63	348.83	738.83	320.12	203.02	655.32	756.97	512.79	763.95	260.36	158.68	196.74	581.04	
14:00	1258.89	558.31	274.18	853.94	458.51	1068.65	640.11	481.39	780.53	1094.36	938.36	985.45	360.12	291.97	293.02	381.80	1029.41	310.08	223.95	519.06	550.45	200.93	460.67	201.23	90.12	108.14	554.37	
14:30	1241.15	1394.99	122.09	973.25	873.83	732.55	753.48	369.76	740.92	741.27	915.16	550.23	320.52	226.74	201.45	420.69	821.33	300.89	168.84	537.20	724.18	583.25	324.42	310.32	68.65	163.08	560.78	
15:00	1120.12	988.94	196.81	953.78	939.76	1002.55	622.67	774.41	680.14	913.25	1048.59	593.02	387.14	210.14	215.58	434.30	652.32	300.01	238.60	447.03	710.10	555.83	335.58	460.46	72.36	103.89	575.28	
15:30	663.48	358.78	384.97	811.04	475.11	870.77	772.11	706.04	621.14	568.60	778.60	520.71	462.20	220.23	257.37	505.81	385.01	120.74	110.00	454.18	410.56	265.81	226.04	620.36	72.18	85.78	451.06	
16:00	312.45	201.25	561.62	893.71	149.65	563.02	587.09	453.69	521.86	521.16	531.97	512.06	350.20	307.67	209.30	611.16	320.23	140.56	84.12	247.50	210.58	161.16	110.30	331.39	68.25	45.26	346.43	
16:30	149.48	102.89	191.86	525.34	144.77	486.62	254.65	352.12	352.32	350.14	399.07	245.32	220.10	102.12	120.23	447.03	210.03	140.01	67.87	196.74	120.04	161.16	158.12	210.01	57.12	38.18	223.21	
17:00	125.47	50.14	146.51	156.77	40.55	280.41	50.12	231.47	210.78	123.14	250.24	50.12	98.53	54.66	52.12	230.12	170.25	60.87	27.81	27.10	85.98	60.02	80.25	89.45	45.23	19.78	108.38	

### Anexo 4. Energía útil Julios

	4186.1/Kg C																												
hora	15/6/2021	17/6/2021	18/6/2021	21/6/2021	22/6/2021	23/6/2021	25/6/2021	1/7/2021	2/7/2021	5/7/2021	6/7/2021	7/7/2021	8/7/2021	9/7/2021	12/7/2021	13/7/2021	14/7/2021	15/7/2021	16/7/2021	19/7/2021	20/7/2021	21/7/2021	22/7/2021	23/7/2021	26/7/2021	27/7/2021	4/8/2021	PROMEDIO	
08:30	565110.0	221020.8	489762	565110	1186731	1258311.6	1378868.4	1567238.4	1761259.5	1876165.2	1594866	1506960	1861095.6	135626.4	257439	1484355.6	470925	1255800	1161615	647992.8	690690	1265846.4	1218126	1305404.1	1299753	1193010	1098825	1085848.4	
09:00	747452.2	331531.2	414414	783619.2	1923132.12	1469286	2433740.4	1871142	2026861.2	1883700	2396066.4	2078851.32	1993205.76	583947	327010.32	2034396	595249.2	2725086	1665190.8	566365.8	956919.6	1678376.7	1454216.4	1564977.96	1740538.8	1785747.6	1747445.7	1473276.7	
09:30	870269.4	755238.12	718317.6	1280916	2392299	3013920	2880805.2	2896377.12	3591588	3266963.7	3449180.28	2686784.1	3265080	1218126	323996.4	2479577.1	725224.5	2706249	1671469.8	1032267.6	1678376.7	3126942	1132731.6	1567238.4	3721688.88	2682388.8	1717934.4	2105627.8	
10:00	1356264.0	508599	1707888	1367566.2	3315312	3433608.36	4543484.4	4031118	5169877.44	5613677.16	4539717	6487462.8	4061257.2	773572.8	1174173	2900898	5417521.2	1947745.8	1557192	2514111.6	4753203	5660392.92	3783976.56	5769396.36	5583286.8	4834830	5162091.48	3628452.7	
10:30	1280916.0	376740	1541620.08	2795159.64	4430462.4	3447171	3547635	1770678	4345068	2404857	3605401.8	3122169.96	5387884.32	896641.2	851432.4	3963304.8	4352351.64	1657656	2878293.6	2561580.84	2870758.8	3215601.48	4016048.4	3189732	3126942	4414137	2725086	2791604.8	
11:00	817525.8	451585.68	1265846.4	2392299	2041930.8	3096802.8	4026722.7	1262079	3666936	4682878.2	4382742	4037397	3931909.8	772317	715806	1681767.36	5869609.2	1638819	2156753.5	3449180.28	4772667.9	4938433.5	3949491	5116129.2				3056803.2	
11:30	2555553.0	580179.6	1627516.8	2090907	1581680.1	3121918.8	4875015.6	1770678	5266825.2	4633902	1809607.8	5048943.9	2600510.64	1009663.2	872027.52	1111383	4988037.6	2367183	1461751.2	3978374.4	5792754.24	4717412.7	3383125.2	5809330.8	4272231.6	2132348.4	3646843.2	3077969.1	
12:00	2825550.0	836362.8	1054872	2779587.72	1268358	3983397.6	4006002	3179685.6	2953641.6	4274492.04	3918096	5379847.2	960059.1	856455.6	670597.2	1370328.96	4632646.2	1815886.8	1499425.2	4931526.6	5076571.5	2900898	5496887.76	4696692	1287195	835734.9	3543239.7	2853112.5	
12:30	2988804.0	1360659.3	1022221.2	1710399.6	1262079	2982022.68	3674470.8	1977633.84	2094674.4	2122302	4757221.56	4931526.6	1105606.32	866502	617853.6	1665190.8	5379847.2	1400217	1136750.16	3573755.64	5440125.6	1243242	2524158	2030628.6	916734	753480	2247882	2288369.9	
13:00	3635541.0	1117662	1230181.68	3013920	1717934.4	2717300.04	3480324.12	1619982	2668575	3277638	3114384	3028989.6	1589842.8	1759626.96	755238.12	1559703.6	5055850.8	1312311	753480	1913211.3	2998850.4	2058256.2	1657656	3823911	956919.6	848669.64	2424321.9	2225566.0	
13:30	4031118.0	1740538.8	1697339.28	3266963.7	3558183.72	2586948	2919735	1747445.7	2410508.1	3820143.6	2840619.6	3857817.6	1318590	904176	941850	1255800	2659784.4	2441275.2	730875.6	2359145.88	2725086	1846026	2750202	3542611.8	1198033.2	708271.2	2373462	2304909.3	
14:00	4957898.4	2009907.9	987058.8	3074198.4	1650623.52	3847143.3	2304393	1733004	1985419.8	3939695.76	3378102	3547635	3955267.68	1051104.6	1054872	1374473.1	3705865.8	2417415	806223.6	1868630.4	2583180.6	723340.8	1658409.48	4136605.2	1393938	389298	1665190.8	2303662.8	
14:30	4468136.4	5021944.2	439530	3503682	3145779	2637180	2712528	1331148	2667319.2	2668575	3294591.3	5442386.04	2196394.2	816270	725224.5	1514494.8	2230300.8	2536716	607807.2	1933932	2607040.8	2099697.6	1167894	4118772.84	1263962.7	587086.5	1353752.4	2336746.1	
15:00	4164860.7	3560193	708522.36	3433608.36	3383125.2	3609169.2	2241603	2787876	2141139	3287684.4	3774934.8	2134860	1393686.84	1443542.1	776084.4	1563471	2348346	2491507.2	858967.2	1609307.7	2844387	2000991.72	1208079.6	1657656	1574773.2	692950.44	1891988.28	2206789.4	
15:30	2388531.6	1291590.3	1385900.88	2919735	1710399.6	3955267.68	2779587.72	2541739.2	2693942.16	2046954	2802945.6	3957653.7	1663935	1680260.4	926529.24	1820910	2479577.1	1393938	572644.8	1635051.6	1989187.2	956919.6	813758.4	2009907.9	2016814.8	459622.8	1951513.2	1957215.5	
16:00	2134232.1	1288450.8	2021838	3217359.6	538738.2	2026861.2	2113511.4	2148924.96	1878676.8	1876165.2	1915095	2720062.8	2065163.1	1107615.6	753480	2200161.6	2026861.2	1457355.9	504203.7	890990.1	2011791.6	580179.6	397083.96	1193010	1023477	580179.6	1446681.6	1559931.5	
16:30	1557192.0	497296.8	690690	1891234.8	521157	1751841	916734	2313183.6	1268358	1554052.5	1436635.2	2058256.2	2411136	476576.1	615342	1609307.7	2437005.48	761014.8	572644.8	708271.2	1574773.2	580179.6	663062.4	1450449	1402100.7	709527	557575.2	1222168.8	
17:00	1161615.0	331531.2	527436	1180452	622876.8	1695330	391809.6	1588335.84	1518262.2	1439146.8	1190498.4	1569750	1740538.8	708271.2	640458	1751841	1996009.1	953152.2	439530	527436	1149057	414414	617853.6	1574773.2	1393686.84	241113.6	483483	1031435.1	

**Anexo 5. Eficiencia %.**

hora	15/6/2021	17/6/2021	18/6/2021	21/6/2021	22/6/2021	23/6/2021	1/7/2021	2/7/2021	5/7/2021	6/7/2021	7/7/2021	8/7/2021	9/7/2021	12/7/2021	13/7/2021	14/7/2021	15/7/2021	16/7/2021	19/7/2021	20/7/2021	21/7/2021	22/7/2021	23/7/2021	26/7/2021	27/7/2021	4/8/2021	PROMEDIO
08:30	24.80%	33.05%	21.71%	57.24%	48.93%	35.80%	40.02%	51.37%	37.09%	44.67%	33.28%	64.81%	77.46%	43.05%	12.55%	28.19%	18.71%	53.26%	33.29%	37.04%	25.68%	42.61%	51.25%	28.25%	56.53%	71.35%	41.23%
09:00	25.91%	32.40%	36.08%	57.23%	60.31%	43.29%	50.56%	66.51%	47.04%	64.53%	36.01%	74.71%	77.98%	61.43%	13.13%	31.98%	18.72%	70.35%	41.07%	60.14%	29.90%	53.32%	48.40%	54.39%	61.97%	58.19%	49.06%
09:30	33.57%	50.35%	59.28%	69.88%	81.97%	89.55%	89.76%	79.35%	59.53%	95.12%	70.78%	89.42%	83.36%	75.70%	9.78%	84.22%	24.79%	82.81%	86.88%	58.50%	47.82%	61.60%	31.11%	46.26%	62.95%	74.15%	65.33%
10:00	30.13%	32.22%	67.53%	64.29%	73.94%	99.21%	81.12%	97.78%	64.69%	88.66%	74.12%	73.05%	92.39%	39.05%	26.15%	92.65%	46.79%	96.50%	51.86%	59.34%	39.10%	86.99%	43.72%	53.27%	70.30%	84.71%	66.52%
10:30	46.68%	26.76%	77.94%	92.37%	89.68%	93.70%	91.17%	38.52%	63.66%	52.00%	75.26%	66.35%	82.58%	72.02%	23.79%	100.18%	52.24%	65.29%	46.39%	80.39%	66.11%	92.63%	87.90%	72.13%	99.56%	86.61%	70.84%
11:00	43.49%	37.90%	56.51%	62.14%	47.45%	67.98%	90.66%	25.26%	66.01%	96.12%	91.37%	71.46%	93.12%	74.03%	32.97%	34.63%	58.33%	55.96%	68.78%	92.37%	65.82%	88.90%	51.11%	97.41%	78.84%	66.73%	65.98%
11:30	63.20%	37.88%	71.25%	70.97%	44.51%	54.66%	98.75%	34.45%	65.92%	89.95%	61.17%	78.45%	69.21%	92.17%	46.25%	21.08%	72.93%	96.32%	29.77%	85.31%	68.34%	85.37%	64.81%	92.65%	84.85%	53.23%	66.67%
12:00	45.62%	52.29%	59.58%	65.61%	48.09%	72.11%	84.56%	59.54%	59.61%	77.23%	70.58%	95.15%	59.05%	95.58%	34.21%	23.32%	82.02%	78.89%	39.93%	92.34%	75.90%	75.05%	90.75%	74.67%	66.37%	19.45%	65.29%
12:30	50.77%	51.93%	57.74%	62.84%	49.22%	54.80%	95.19%	35.13%	55.98%	37.67%	84.04%	99.34%	96.99%	81.51%	23.18%	29.83%	95.59%	68.17%	25.55%	63.61%	92.98%	43.11%	40.66%	76.36%	77.44%	19.99%	60.37%
13:00	67.78%	38.07%	62.80%	75.01%	45.61%	75.11%	96.18%	28.87%	51.72%	58.62%	55.56%	80.82%	88.41%	68.10%	40.34%	27.99%	78.36%	97.16%	18.59%	36.33%	80.34%	81.63%	28.74%	68.08%	83.54%	47.52%	60.82%
13:30	74.88%	56.75%	66.25%	80.09%	85.58%	49.26%	68.60%	31.74%	47.99%	72.13%	51.89%	91.67%	60.99%	70.18%	39.96%	20.62%	60.05%	89.16%	21.68%	49.49%	76.07%	48.04%	47.84%	48.86%	68.80%	24.64%	57.82%
14:00	92.22%	48.39%	59.71%	64.31%	66.78%	69.10%	95.93%	33.90%	55.03%	75.28%	64.27%	79.51%	89.18%	79.33%	49.85%	22.64%	69.75%	73.13%	19.74%	35.88%	78.11%	40.58%	31.65%	50.95%	59.68%	19.78%	58.64%
14:30	86.61%	91.99%	44.94%	84.31%	68.79%	50.88%	87.66%	26.81%	54.12%	56.40%	66.21%	62.89%	71.66%	85.53%	31.67%	31.86%	52.86%	67.51%	20.17%	39.50%	92.12%	73.63%	27.45%	67.07%	59.43%	29.36%	58.90%
15:00	87.09%	79.05%	62.21%	75.76%	84.36%	92.65%	54.83%	63.39%	53.64%	75.52%	81.01%	84.34%	54.60%	73.46%	46.41%	47.29%	69.55%	85.56%	22.07%	32.55%	90.80%	67.81%	51.67%	77.28%	39.15%	18.32%	64.25%
15:30	61.37%	38.38%	84.19%	78.36%	79.07%	79.29%	77.73%	64.84%	55.46%	51.16%	66.92%	70.59%	53.01%	80.06%	41.43%	44.98%	75.90%	67.53%	18.24%	39.34%	73.78%	59.08%	23.50%	55.83%	33.02%	32.57%	57.91%
16:00	46.21%	33.81%	74.77%	93.07%	59.03%	58.92%	90.90%	48.77%	54.62%	54.61%	55.31%	64.23%	66.28%	95.23%	22.18%	67.93%	61.48%	51.69%	21.04%	25.44%	63.98%	68.53%	18.70%	71.06%	28.07%	32.09%	54.92%
16:30	37.13%	28.43%	53.20%	75.18%	72.71%	61.83%	31.56%	44.96%	46.12%	46.58%	51.45%	66.34%	66.41%	78.96%	17.58%	56.05%	59.27%	53.95%	21.84%	28.28%	62.88%	48.39%	23.12%	65.10%	15.17%	18.86%	47.36%
17:00	35.58%	21.14%	52.40%	70.43%	62.56%	51.17%	16.40%	39.13%	38.10%	21.40%	43.20%	43.89%	56.14%	64.58%	11.14%	34.65%	43.45%	49.61%	19.14%	22.76%	56.67%	44.65%	13.64%	46.05%	16.55%	14.05%	38.02%