

**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA EN ENERGÍA**



**UNS**  
UNIVERSIDAD  
NACIONAL DEL SANTA

---

---

**“EVALUACIÓN DE LA EFICIENCIA DE UN COLECTOR  
SOLAR DE PLACA PLANA DE DOBLE PASO”**

---

---

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE  
INGENIERO EN ENERGÍA**

**AUTORES:**

**Bach. LOPEZ SANCHEZ, Lily**  
**Bach. PONTE GOICOCHEA, Schneider Antony**

**ASESOR:**

**Lic. RISCO FRANCO, Francisco Javier**

**NUEVO CHIMBOTE - PERÚ**  
**2022**

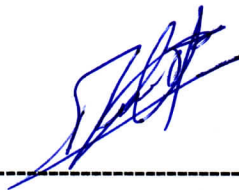
**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**ESCUELA ACADÉMICA PROFESIONAL DE INGENIERÍA EN ENERGÍA**



## **CARTA DE CONFORMIDAD DEL ASESOR**

El presente Informe de Tesis titulado “**Evaluación de la eficiencia de un Colector Solar de Placa Plana de Doble paso**” elaborado por los bachilleres LÓPEZ SÁNCHEZ Lily y PONTE GOICOCHEA Schneider ha sido revisada y desarrollada en cumplimiento del objetivo propuesto y reúne las condiciones formales y metodológicas para ser sustentado, estando encuadrado dentro de las áreas y líneas de investigación de la Universidad nacional del Santa. (Resolución N° 471-2002-CU-R-UNS). De acuerdo a la denominación siguiente:

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO EN  
ENERGÍA**



---

**Lic. FRANCISCO RISCO FRANCO**  
**ASESOR**

**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**ESCUELA ACADÉMICA PROFESIONAL DE INGENIERÍA EN ENERGÍA**



**CARTA DE CONFORMIDAD DEL JURADO EVALUADOR  
DE TESIS**

Damos conformidad del presente informe, desarrollado en cumplimiento del objetivo propuesto y presentado conforme al Reglamento General para obtener el Título Profesional en la Universidad Nacional del Santa (Resolución N° 471- 2002-CU-R-UNS); titulado:

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO EN  
ENERGÍA**

**“EVALUACIÓN DE LA EFICIENCIA DE UN COLECTOR SOLAR DE PLACA  
PLANA DE DOBLE PASO”**

Revisada y Evaluada por el siguiente Jurado Evaluador:

  
Mg. Amancio Ramiro Rojas Flores  
PRESIDENTE

  
Dr. Denis Javier Arangurí Cayetano  
INTEGRANTE

  
Lic. Francisco Javier Risco Franco  
SECRETARIO

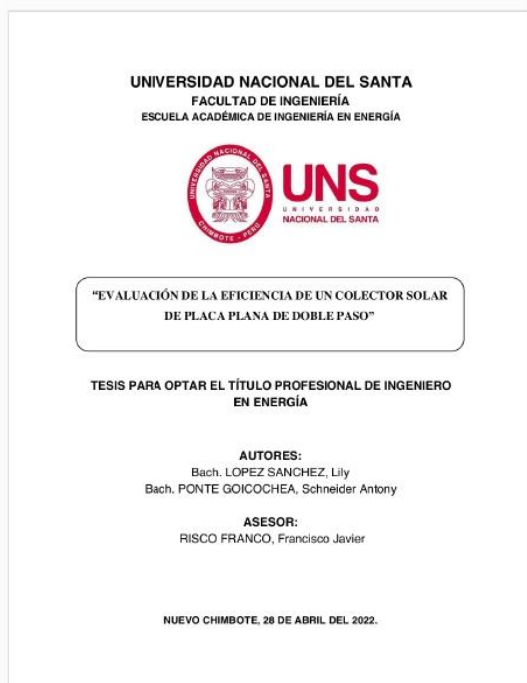


## Recibo digital

Este recibo confirma que su trabajo ha sido recibido por Turnitin. A continuación podrá ver la información del recibo con respecto a su entrega.

La primera página de tus entregas se muestra abajo.

Autor de la entrega: Lily Y Schneider López Y Ponte  
Título del ejercicio: trabajos  
Título de la entrega: EVALUACIÓN DE LA EFICIENCIA DE UN COLECTOR SOLAR DE ...  
Nombre del archivo: tesis\_final\_colector\_doble\_paso.pdf  
Tamaño del archivo: 1.87M  
Total páginas: 74  
Total de palabras: 18,725  
Total de caracteres: 75,149  
Fecha de entrega: 10-ago.-2022 06:54p. m. (UTC-0500)  
Identificador de la entre... 1881153801





**UNS**  
UNIVERSIDAD  
NACIONAL DEL SANTA

**FACULTAD DE INGENIERIA**  
Dirección E.P. de Ingeniería en Energía

## ACTA DE SUSTENTACION DE TESIS

A los doce días del mes de julio del año dos mil veintidós, siendo las nueve horas de la mañana, se reunieron en el aula E3 de la escuela de ingeniería en energía, el Jurado Evaluador designado mediante Resolución N° 395-2022-UNS-CFI, integrado por los siguientes docentes:

- Mg. AMANCIO RAMIRO ROJAS FLORES : PRESIDENTE
- Dr. DENIS JAVIER ARANGURI CAYETANO : SECRETARIO
- Lic. FRANCISCO JAVIER RISCO FRANCO : INTEGRANTE

Para dar inicio a la sustentación y evaluación de la Tesis titulada: "EVALUACIÓN DE LA EFICIENCIA DE UN COLECTOR SOLAR DE PLACA PLANA DE DOBLE PASO" elaborado por la Bachiller de Ingeniería en Energía: LILY LOPEZ SANCHEZ con código de matrícula N° 0201211034, teniendo como asesor al docente Lic. Francisco Javier Risco Franco, según Resolución Decanal N° 211-2018-UNS-FI.

Terminada la sustentación del Bachiller, respondió las preguntas formuladas por los miembros del jurado y el público presente.

El Jurado después de deliberar sobre aspectos relacionados con el trabajo, contenido y sustentación del mismo y con las sugerencias pertinentes, en concordancia con el artículo 103° del Reglamento General de Grados y Títulos de la Universidad Nacional del Santa, declara:

BACHILLER	PROMEDIO	PONDERACIÓN
LILY LOPEZ SANCHEZ	17	Muy Bueno

Siendo las diez horas del mismo día, se da por terminado el acto de sustentación, firmando los integrantes del jurado en señal de conformidad.

  
Mg. Amancio B. Rojas Flores  
PRESIDENTE

  
Dr. Denis J. Aranguri Cayetano  
SECRETARIO

  
Lic. Francisco J. Risco Franco  
INTEGRANTE



## ACTA DE SUSTENTACION DE TESIS

A los doce días del mes de julio del año dos mil veintidós, siendo las nueve horas de la mañana, se reunieron en el aula E3 de la escuela de ingeniería en energía, el Jurado Evaluador designado mediante **Resolución N° 395-2022-UNS-CFI**, integrado por los siguientes docentes:

- **Mg. AMANCIO RAMIRO ROJAS FLORES** : PRESIDENTE
- **Dr. DENIS JAVIER ARANGURI CAYETANO** : SECRETARIO
- **Lic. FRANCISCO JAVIER RISCO FRANCO** : INTEGRANTE

Para dar inicio a la sustentación y evaluación de la Tesis titulada: **“EVALUACIÓN DE LA EFICIENCIA DE UN COLECTOR SOLAR DE PLACA PLANA DE DOBLE PASO”** elaborado por el Bachiller de Ingeniería en Energía: **SCHNEIDER ANTONY PONTE GOICOCHEA** con código de matrícula N° 0201211006, teniendo como asesor al docente Lic. Francisco Javier Risco Franco, según Resolución Decanal N° 211-2018-UNS-FI.

Terminada la sustentación del Bachiller, respondió las preguntas formuladas por los miembros del jurado y el público presente.

El Jurado después de deliberar sobre aspectos relacionados con el trabajo, contenido y sustentación del mismo y con las sugerencias pertinentes, en concordancia con el artículo 103° del Reglamento General de Grados y Títulos de la Universidad Nacional del Santa, declara:

BACHILLER	PROMEDIO	PONDERACIÓN
SCHNEIDER ANTONY PONTE GOICOCHEA	16	Bueno

Siendo las diez horas del mismo día, se da por terminado el acto de sustentación, firmando los integrantes del jurado en señal de conformidad.

  
Mg. Amancio R. Rojas Flores  
PRESIDENTE

  
Dr. Denis J. Aranguri Cayetano  
SECRETARIO

  
Lic. Francisco J. Risco Franco  
INTEGRANTE



**UNS**  
UNIVERSIDAD  
NACIONAL DEL SANTA

**FACULTAD DE INGENIERIA**

Dirección E.P. de Ingeniería en Energía

## CONSOLIDADO DE NOTAS DE SUSTENTACION DE TESIS

Bachiller: **LILY LOPEZ SANCHEZ**

### NOTA FINAL DE LA SUSTENTACIÓN

Nº	JURADO EVALUADOR	NOTA
1	Mg. AMANCIO RAMIRO ROJAS FLORES	17
2	Dr. DENIS JAVIER ARANGURI CAYETANO	17
3	Lic. FRANCISCO JAVIER RISCO FRANCO	17
PROMEDIO		17

CALIFICATIVO DE: *DIECISIETE*

Nuevo Chimbote, 12 de julio del 2022

  
Mg. Amancio R. Rojas Flores  
PRESIDENTE

  
Dr. Denis J. Aranguri Cayetano  
SECRETARIO

  
Lic. Francisco J. Risco Franco  
INTEGRANTE



**UNS**  
UNIVERSIDAD  
NACIONAL DEL SANTA

**FACULTAD DE INGENIERIA**  
Dirección E.P. de Ingeniería en Energía

## CONSOLIDADO DE NOTAS DE SUSTENTACION DE TESIS

Bachiller: SCHNEIDER ANTONY PONTE GOICOCHEA

### NOTA FINAL DE LA SUSTENTACIÓN

Nº	JURADO EVALUADOR	NOTA
1	Mg. AMANCIO RAMIRO ROJAS FLORES	16
2	Dr. DENIS JAVIER ARANGURI CAYETANO	16
3	Lic. FRANCISCO JAVIER RISCO FRANCO	16
PROMEDIO		16

CALIFICATIVO DE: *Dieciséis*

Nuevo Chimbote, 12 de julio del 2022

  
Mg. Amancio R. Rojas Flores  
PRESIDENTE

  
Dr. Denis J. Aranguri Cayetano  
SECRETARIO

  
Lic. Francisco J. Risco Franco  
INTEGRANTE



## ÍNDICE

<b>NOMENCLATURA</b> .....	XI
<b>DEDICATORIA</b> .....	XIII
<b>AGRADECIMIENTO</b> .....	XIV
<b>RESUMEN</b> .....	XV
<b>ABSTRACT</b> .....	XVI
<b>CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN</b> .....	17
1.1. Antecedentes .....	17
1.2. Justificación .....	18
1.3. Objetivos .....	18
1.3.1. Objetivo general .....	18
1.3.2. Objetivos específicos: .....	18
1.4. Formulación de la hipótesis .....	19
1.5. Limitaciones del trabajo .....	19
<b>CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO</b> .....	20
2.1. Radiación Solar .....	20
2.1.1 Incidencia de la Radiación Solar .....	20
2.1.3 Tipos de radiación .....	23
2.2 Mecanismos de transferencia de calor .....	24
2.2.1 Conducción .....	25
2.2.2 Convección .....	25
2.2.3 Tránsito de calor por Radiación .....	27
2.3 Sistema de calentamiento de agua solar .....	27
2.3.1 Eficiencia de un colector .....	27
2.4 Calor útil .....	29
2.4.1 Cálculo del coeficiente de transferencia de calor .....	30
2.4.2 Cálculo del coeficiente de pérdidas de calor global, <i>UL</i> .....	31
2.5 Colector de placa plana convencional .....	33
2.6 Colector de placa plana tipo serpentín .....	34
2.6.1 Ganancia de energía útil .....	39
2.6.2 Distribución de temperatura del fluido .....	40
2.6.3 Factor de remoción de calor para un colector solar de doble paso .....	41
2.6.4 Para el colector de doble paso ( $N = 2$ ) .....	42
<b>CAPÍTULO III: MATERIALES Y MÉTODOS</b> .....	44

3.1. Lugar de ejecución.....	44
3.2. Equipos y materiales .....	44
3.2.1. Equipos .....	44
3.2.2. Materiales .....	47
3.3. Método .....	48
3.3.1. Procedimiento.....	48
<b>CAPÍTULO IV: CÁLCULOS Y RESULTADOS .....</b>	<b>54</b>
❖ Aspectos descriptivos de los datos obtenidos .....	54
❖ Radiación solar incidente $GT$ .....	55
❖ Determinación del coeficiente global de pérdidas de calor $UL$ .....	56
❖ Finalmente hallamos la eficiencia del colector .....	63
Para este caso usaremos la ecuación 2.4a:.....	63
$\eta = QuAC \times GT$ .....	63
$\eta = 0,7030 = 70,30\%$ .....	63
<b>CAPÍTULO V: DISCUSIÓN DE RESULTADOS .....</b>	<b>65</b>
<b>CAPÍTULO VI: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....</b>	<b>66</b>

## NOMENCLATURA

$A_C$	: Área del Colector
$C_p$	: Calor específico del fluido de trabajo
$D$	: Diámetro exterior del tubo serpentín
$F_R$	: Factor de remoción de calor definido
$F_1, F_2, F_5$	: Parámetros adimensionales
$G_T$	: Radiación solar incidente en el colector
$k$	: Conductividad térmica de la placa absorbente
$L$	: Longitud del segmento de serpentín en la dirección del flujo
$\dot{m}$	: Flujo másico del fluido de trabajo
$\theta$	: Cantidad adimensional
$N$	: Número de segmentos en el serpentín
$q_i$	: Flujo total de calor por unidad de longitud en el segmento $i$
$q_{ui}$	: Energía útil por unidad de longitud obtenida por el fluido en el segmento $i$
$q_u$	: Vector ( $N \times 1$ ), con $q_{ui}$ como elemento
$q_u^-, q_u^+$	: Tasas de flujo de calor por unidad de longitud, que ingresan al segmento $i$ en las direcciones “y” negativa y “x” positiva respectivamente
$Q_u$	: Energía útil por unidad de tiempo obtenida por el colector
$R$	: Resistencia térmica entre el fluido de trabajo y la placa absorbente
$T_a$	: Temperatura ambiente
$T_i$	: Temperatura de entrada del fluido
$T_o$	: Temperatura de salida del fluido
$U_L$	: Coeficiente global de pérdidas de calor
$W$	: Espacio entre tubos del serpentín
$\alpha$	: Parámetro adimensional definido
$\beta_1, \beta_2$	: Parámetros adimensionales
$\gamma$	: Parámetro adimensional definido
$\delta$	: Espesor de la placa absorbente
$\delta_{ij}$	: Función delta de Kronecker
$\epsilon$	: Matriz ( $N \times N$ )

- $k_1$  : Parámetro adimensional
- $\xi_i$  : Coordenada “x” adimensional
- $\phi_i$  : Temperatura del fluido adimensional en el segmento i
- $\phi$  : Vector (N x 1) con  $\phi_i$  como elemento
- $\psi_i$  : Temperatura de placa adimensional

## **DEDICATORIA**

Dedicamos la presente Tesis a nuestras familias, en especial a nuestros padres que día a día se sacrifican para ofrecernos lo mejor y por estar a nuestro lado en las buenas y en las malas, por guiarnos y apoyarnos en todos los proyectos que decidamos realizar, y sobre todo por enseñarnos que caer es parte de la vida y que si caemos nos levantemos porque las caídas nos enseñan a crecer.

Agradecemos a todos nuestros docentes por enseñarnos que nada en la vida es fácil y que todo se logra con esfuerzo y dedicación, sobre todo agradecemos a nuestro asesor por creer en nosotros y apoyarnos en este nuevo paso que queremos lograr.

## **AGRADECIMIENTO**

Agradecemos a Dios, por brindarnos la fuerza de voluntad necesaria para poder lograr nuestros sueños, por bendecirnos con salud y ayudarnos a superar cada obstáculo que la vida nos ponga, gracias por siempre estar con nosotros y no permitir que tomemos malos caminos.

Agradecemos también a todos nuestros docentes, por su dedicación y tiempo brindado en el proceso de nuestra formación profesional, gracias por todas las lecciones académicas y humanas brindadas, con las cuales pudimos concretar con éxito el desarrollo de la presente tesis.

Finalmente, agradecemos a nuestro asesor Lic. Francisco Risco Franco, gracias por la paciencia y su total disposición para poder culminar con satisfacción nuestra tesis.

## RESUMEN

El presente trabajo tuvo como objetivo evaluar la eficiencia de un colector de placa plana de doble paso, modelamos y construimos un colector el cual fue usado para los ensayos preliminares, los ensayos se hicieron en condiciones al aire libre. Se determinaron las ecuaciones para encontrar la eficiencia del colector de doble paso, uno de los factores importantes en este cálculo fue el factor de remoción ( $F_R$ ), el cual fue modelado por ecuaciones diferenciales. Se desarrollaron las ecuaciones con datos obtenidos experimentalmente obteniendo un coeficiente global de pérdidas de calor ( $U_L$ ) promedio de  $7,34 \text{ W/m}^2\text{K}$ , un factor de remoción ( $F_R$ ) promedio de  $0,89$  y una eficiencia promedio de  $69,7\%$  durante los días evaluados, para el colector solar de placa plana de doble paso. Eficiencia relativamente alta, en comparación con esta clase de colectores de placa plana.

**Palabras Claves:** Colector de doble paso, eficiencia, Factor de Remoción.

## **ABSTRACT**

The objective of this work was to evaluate the efficiency of a double pass flat plate collector, we modeled and built a collector which was used for the preliminary tests, the tests were carried out in open air conditions. The equations to find the efficiency of the double pass collector were determined, one of the important factors in this calculation was the removal factor (FR), which was modeled by differential equations. The equations were developed with data obtained experimentally, obtaining an average global heat loss coefficient (UL) of 7.34 W/m<sup>2</sup>K, an average removal factor (FR) of 0.89 and an average efficiency of 69.7% during the days evaluated, for the double pass flat plate solar collector. Relatively high efficiency, compared to this class of flat plate collectors.

**Keywords:** Double pass collector, efficiency, Removal Factor.



# CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

## 1.1. Antecedentes

Zhang y Lavan, (1985); Khalik Abdel S., (1976) concluyeron que mientras menos sea la distancia entre los centros de tubo a tubo del colector, los valores de  $F_1$  y  $F_2$  aumentan. parámetros adimensionales necesarios para determinar el  $F_R$ .

Montoya P. et al., (2011), mencionan que usando el método experimental un colector solar de placa plana puede obtener una eficiencia de 55,7% con un deficiente contacto térmico entre la placa y los tubos.

Bassem et al., (2021) En su trabajo “Diseño el colector solar cilíndrico parabólico con tubo de vacío de doble paso y se probó en interiores. Los experimentos se realizaron con dos filas de lámparas halógenas, cada una contiene 6 lámparas, por lo que se utilizaron un total de 12 lámparas halógenas, cada una de las cuales tiene 500 W de capacidad nominal. La distancia entre una lámpara y otra es de 13 cm, y la distancia entre las dos filas es de 25 cm. La altura entre el colector cilíndrico parabólico y las lámparas halógenas es de 150 cm para asegurar una distribución directa y uniforme de la radiación solar en todo el dispositivo. Se había empleado un atenuador para controlar la intensidad de la luz de las lámparas halógenas”. (p, 5).

Khalik Abdel S., (1976); Zhang y Lavan, (1985) obtuvieron una solución analítica cerrada de las ecuaciones diferenciales modelas por Khalik que pudieron reducirse convenientemente de la siguiente forma.

$$\frac{F_R}{F_1} = \frac{1}{2\beta_1} \left( 1 + \left( 2 \frac{\left(\frac{1}{F_2} + F_5 - 1\right) F_5}{\left(1 - \frac{1}{F_2} + F_5\right) \exp\left(-2\beta_1 \sqrt{1 - F_2^2}\right) + \left(\frac{1}{F_2} + F_5 - 1\right)} - \frac{1}{F_2} - F_5 \right) \right)$$

## 1.2. Justificación

Un problema recurrente que ocurre a lo largo y ancho del Perú es la obtención de energía eléctrica, ya sea porque la población carece de recursos monetarios o que el poblado no cuenta con suministro eléctrico disponible, dichos habitantes requerirían de agua caliente para satisfacer sus necesidades sanitarias. Una solución viable para resolver este problema es el uso de colectores solares, especialmente los de placa plana, ya que por su bajo costo de adquisición y/o fabricación casera, resulta en una buena opción para calentar agua de manera segura.

La energía solar es un proveedor de energía limpia y verde, que se puede utilizar para satisfacer las necesidades energéticas locales y mundiales. La radiación solar puede ser útil para nuestra vida en la calefacción de edificios, producir agua caliente sanitaria y vapor, utilizarla de cualquier manera, como en la industria y el hogar. El sistema de calentamiento solar de agua es más barato, alrededor del 20% del consumo total de energía de la familia; muestran una mejora considerable en la eficiencia diaria del colector solar al aumentar la concentración de nanopartículas hasta un 11 % para una concentración del 3 %; este aumento en la eficiencia está limitado por una incertidumbre de  $\pm 10$  % y la temperatura del agua de salida aumentó con el aumento de la concentración de nanopartículas en un 5,46 % para una concentración del 2 % (Hashim et al., 2018).

Los colectores de placa plana son los más usados, aquí presentamos un colector novedoso de placa plana de doble paso y nos proponemos a desarrollarlo, por ello se planteó la siguiente pregunta

**¿Cómo se evaluará la eficiencia de un colector solar de placa plana de doble paso?**

## 1.3. Objetivos

### 1.3.1. Objetivo general

Evaluar la eficiencia de un colector solar de placa plana de doble paso.

### 1.3.2. Objetivos específicos:

- Construir un colector solar de placa plana de doble paso.

- Realizar los ensayos experimentales.
- Determinar los parámetros de medición necesarios para el análisis de la eficiencia, considerando los criterios de evaluación experimental.
- Determinar las ecuaciones que se adecuen al colector solar de placa plana de doble paso.
- Analizar los datos experimentales y resultados.

#### **1.4. Formulación de la hipótesis**

Se evaluará al Colector Solar de Placa Plana de Doble Paso experimentalmente alcanzando una eficiencia que se encuentra entre un 67% y 72%.

#### **1.5. Limitaciones del trabajo**

Una de las limitaciones fue que no existe totalmente una literatura específica de base para el diseño y construcción del colector solar de placa plana de doble paso; otra limitación fue el uso de materiales caseros. En este trabajo no realizó el análisis de la capacitancia térmica.

## CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

### 2.1. Radiación Solar

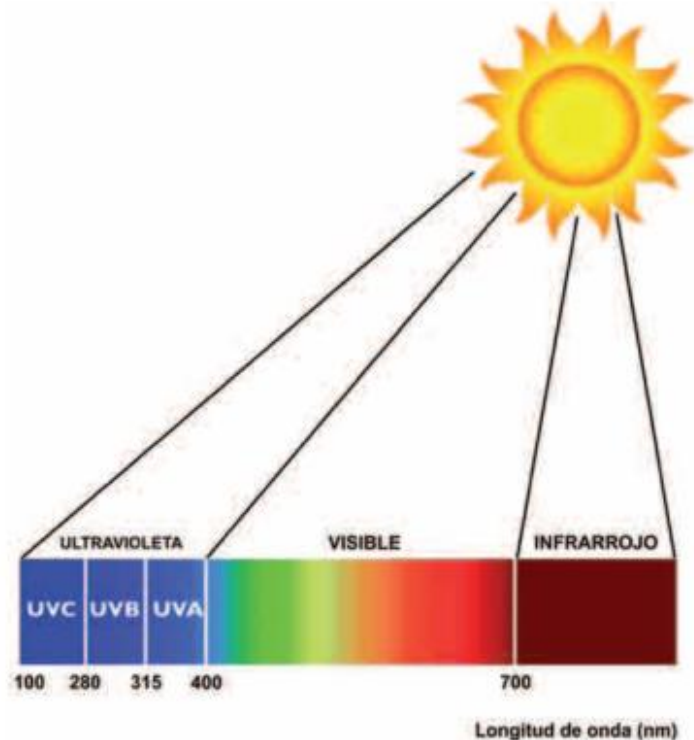
Echevarria, (2011), nos dice que: La radiación solar es la energía proporcionada por el sol, la cual tiene como origen en el núcleo del sol, y se encuentra a  $1,5 \times 10^7$  °C de temperatura y es  $3,4 \times 10^{11}$  veces la presión del aire de la tierra a nivel del mar. La radiación solar es la energía que resulta del proceso de fisión nuclear originado en el núcleo del sol, las cuales se propagan en el vacío en forma de ondas electromagnéticas y en todas las direcciones, estas ondas electromagnéticas llegan a la atmosfera terrestre y propician la transferencia de energía entre el sol y la tierra de forma continua, percibida como luz y calor. Las ondas electromagnéticas emitidas por el sol son de diferentes frecuencias y se distribuyen sobre un rango de longitudes de onda a la cual se denomina “espectro solar”. Aproximadamente el 50% de la intensidad de radiación solar que recibe la superficie terrestre, están entre los rangos de longitud de onda de  $0,4\mu\text{m}$  y  $0,7\mu\text{m}$ , como se observa en la Figura 01, y pueden ser detectadas por el ojo humano, siendo esta la que denominamos como luz visible. La otra mitad, se sitúa en la parte infrarroja y ultravioleta del espectro electromagnético o espectro solar (Pag. 12).

#### 2.1.1 Incidencia de la Radiación Solar

La radiación solar incidente es cuantificada y se puede expresar en términos de exposición a la radiación solar incidente cuyas unidades son el watt por metro cuadrado.

Duffie (Deceased) y al., (2020) mencionan que nuestro planeta recibe en el exterior de su atmosfera aproximadamente un total de  $1,367 \text{ KW/m}^2 \pm 1\%$ . Asimismo, que la atmósfera y la superficie terrestre también radian energía ya que se encuentran a temperaturas más bajas; de esta manera, la longitud de onda de la radiación solar está entre,  $0,2 \mu\text{m}$  y  $3 \mu\text{m}$ , en tanto que la radiación terrestre lo está entre  $3 \mu\text{m}$  y  $80 \mu\text{m}$ .

**Figura 01:**  
Espectro solar



*Nota: En la imagen recopilada del centro de documentación de la fundación MAPFRE 2021, donde se logra visualizar todos los colores visibles del sol, producidos al descomponer la luz solar a través de un prisma.*

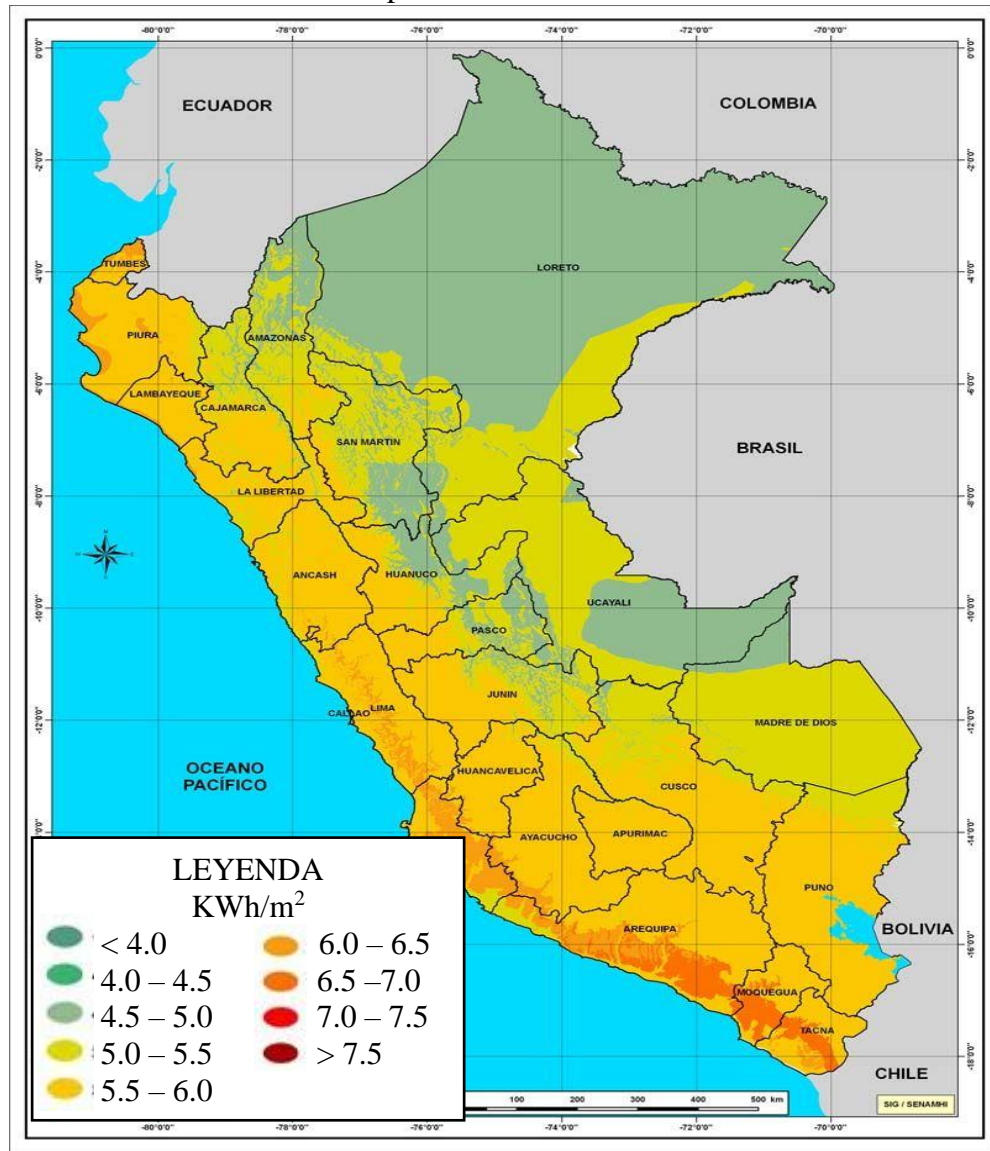
### **2.1.2 Radiación solar del Perú**

El Atlas de energía solar del Perú del ME. observamos, la zona de mayor potencial de energía solar del territorio peruano se encuentra principalmente en la costa sur ( $16^{\circ}$  a  $18^{\circ}$  S), donde se dispone de  $6,0$  a  $6,5$  KW h/m<sup>2</sup>. Otras zonas en las que se registra alta disponibilidad de energía solar diaria, entre  $5,5$  a  $6,0$  KW h/m<sup>2</sup> son la costa norte ( $3^{\circ}$  a  $8^{\circ}$  S) y gran parte de la sierra sobre los  $2\ 500$  msnm, siendo en orden de importancia en cuanto a su extensión superficial: la sierra sur, la sierra central y la sierra norte

La zona de bajos valores de energía solar en el territorio es la selva, donde se registran valores de  $4,5$  a  $5,0$  KW h/m<sup>2</sup> con una zona de mínimos valores en el

extremo norte cerca del ecuador (0° a 2° S). Asimismo, es importante acotar que la mayor variación anual (desviación estándar) de los valores de energía solar recibida en la superficie está en la costa sur, seguido en orden de magnitud por la costa central, selva norte, costa norte y sierra sur, así como se muestra en la figura 02. Las zonas de menor variación anual son la selva central y sur, la sierra central y parte de la sierra norte. (Pág 20).

**Figura 02:**  
Mapa solar



*Nota: Imagen tomada de los documentos pertenecientes al Atlas de Energía Solar del Perú, que describe la radiación solar en el Perú,*

### 2.1.3 Tipos de radiación

#### ➤ **Radiación difusa**

Echevarria, (2011) nos menciona que la radiación que llega a la superficie de la tierra con un cambio de dirección al pasar por la atmósfera terrestre; este desvío de los rayos solares, se produce por la interacción de la radiación las partículas que componen la atmosfera, produciendo la radiación difusa. Existe una radiación solar que no sufre ninguna interacción, siendo la radiación directa. La suma de ambas se la conoce como radiación global. La distribución de la radiación entre directa y difusa depende de las condiciones de la atmósfera. En días muy claros, la radiación directa puede llegar a ser del 85%, mientras que en días nublados la radiación difusa es mucho mayor que la radiación directa (Hernan y Valencia, 2012).

#### ➤ **Radiación directa**

Es la proveniente del disco solar sin sufrir variaciones en su dirección original. Se caracteriza porque produce sombra y puede concentrarse mediante lentes o redirigirse por medio de espejos

#### ➤ **Radiación reflejada, terrestre o de albedo**

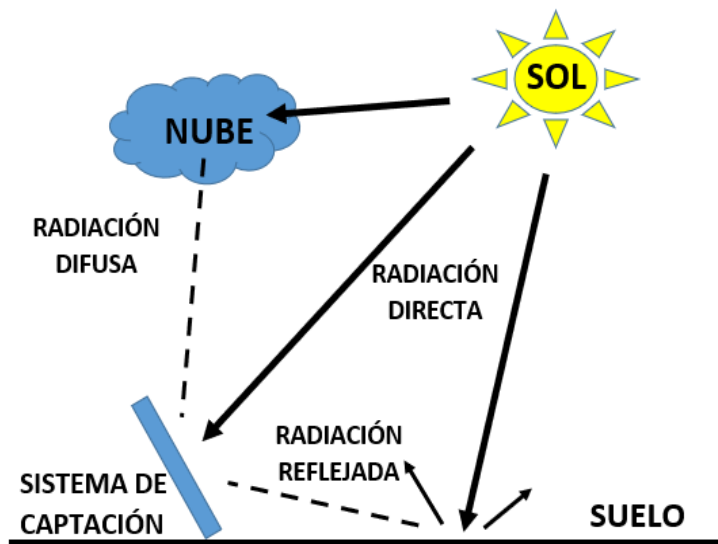
Parte de radiación reflejada por el terreno y otros elementos de la superficie terrestre y que puede ser reabsorbida por otros objetos. Al cociente entre la radiación reflejada y la radiación incidente en la superficie terrestre se le llama albedo.

#### ➤ **Radiación total**

Echevarria, (2011) nos dice que la radiación total será la suma de todas las radiaciones, directa, difusa y “albedo”, en caso de que se trabaje cerca del mar o de otra superficie reflectante como nevados se considerará la radiación por “albedo” además de la radiación directa y difusa. Por ejemplo, sobre una pared o una ventana, incide la radiación directa del sol, la difundida por las nubes y por el cielo y, además, puede entrar la luz reflejada por algún otro objeto frente a la pared o ventana. Un caso particular, pero de mucho interés práctico en el estudio de la energía solar, es el medir la radiación total sobre una superficie horizontal “viendo” hacia arriba. En este caso

puede considerarse que no existe radiación de “albedo” y se conoce también como radiación global. Por tanto, la radiación global es la suma de la directa más la difusa. Para un mejor entendimiento de la radiación total se puede ver el esquema de la figura 03.

**Figura 03:**  
Componentes de la radiación terrestre total



*Nota: Figura referencial que representa la radiación difusa, radiación directa, radiación reflejada las cuales inciden en el sistema de captación solar, elaborado por Echevarría C., (2011) y redibujada por los tesisistas Lopez, L. y Ponte, S.*

## 2.2 Mecanismos de transferencia de calor

El calor es transferido de un medio a otro mediante tres maneras: Conducción, convección y radiación. A estos tres tipos de transferencia de calor se debe agregar una forma artificial, llamada convección forzada, mediante algún fluido que es calentado para transferir calor de un medio a otro (Cuadros y al., 2007).



### 2.2.1 Conducción

Nos menciona que el calor se transmite de una sustancia a otra mediante conducción, es decir si dos sustancias se tocan el calor se propaga de una a otra. La ecuación básica de transferencia de calor mediante conducción es

$$Q = \frac{kA}{\delta} \Delta T \quad (2.1)$$

Donde

A es el área de transferencia de calor, Q es el calor transferido, k es la conductividad térmica de la placa,  $\delta$  es el espesor de la placa absorbente y  $\Delta T$  es la diferencia de temperaturas para la transferencia de calor (pág 19).

La figura 04 muestra las partes de la ecuación de transferencia de calor por conducción 2.1, para una mejor interpretación.

### 2.2.2 Convección

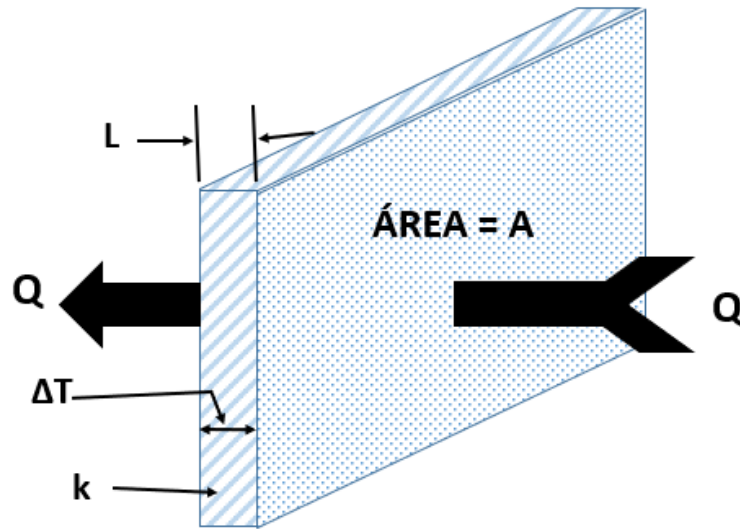
Con respecto a la convección Hernan y Valencia, (2012) nos dice que este tipo de transferencia de calor, necesariamente involucra el movimiento de un líquido o un gas. La convección natural ocurre cuando un gas es calentado mediante una superficie o a la inversa

Este gas al ser calentado se vuelve más ligero en densidad y posteriormente se eleva. La convección natural es un proceso importante cuando el calor se pierde desde una ventana hacia el aire exterior o cuando el calor se pierde desde un colector solar. La razón de calor transferido por convección también es proporcional a la diferencia de temperatura  $\Delta T$ , y se expresa como.

$$Q = hA\Delta T \quad (2.2)$$

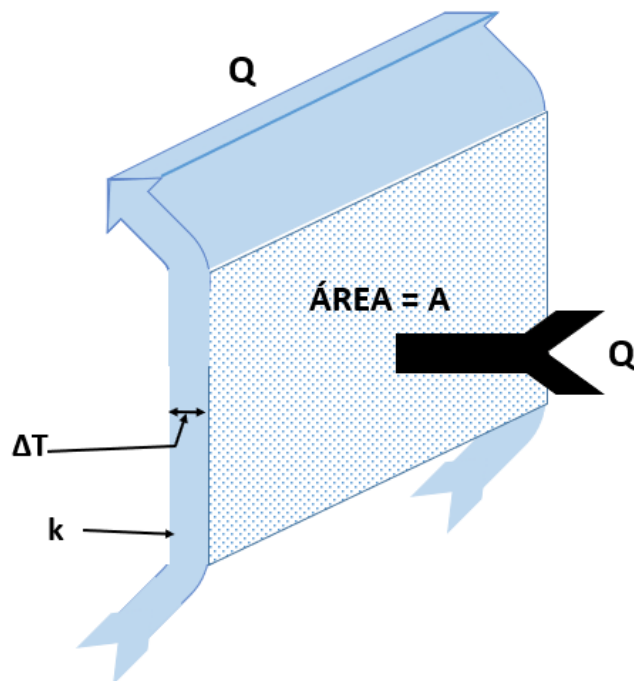
La figura 05 muestra las partes de la ecuación de transferencia de calor por convección 2.2, para una mejor interpretación

**Figura 04:**  
Transferencia de calor por conducción



*Nota: Figura referencial que representa de la transferencia de calor por conducción elaborada por Rodríguez, (2012) y redibujada por los tesistas Lopez, L. y Ponte, S.*

**Figura 05:**  
Transferencia de calor.



*Nota: Figura que representa la transferencia de calor por convección, elaborada por Rodríguez, H. (2012) y redibujada por los tesistas Lopez, L. y Ponte, S.*

### 2.2.3 Tráferencia de calor por Radiación

Cuando se habla de 2 cuerpos que se tocan Rodríguez, H. (2012). nos dice que la transferencia de calor se da de manera que el cuerpo con mayor temperatura transfiere calor al cuerpo con menor temperatura mediante la radiación, siempre y cuando exista un fluido entre los dos cuerpos habría transferencia de calor por convección.

La ecuación para la transferencia de calor por radiación

$$Q = 5.673eA\left[\left(\frac{T_H}{100}\right)^4 - \left(\frac{T_L}{100}\right)^4\right] \quad (2.3)$$

Donde

Q es el calor transferido (Watts), A es el área ( $m^2$ ) y TH y TL son las temperaturas alta y baja, respectivamente. En la ecuación 2.3, e es la emisividad de la superficie, que viene a ser la propiedad de perder calor en los alrededores. e es la emisividad que va desde 01 para superficies de cuerpo negro y hasta 0.02 en superficies selectivas. Los materiales con más uso tienen una emisividad de 0.8.

## 2.3 Sistema de calentamiento de agua solar

### 2.3.1 Eficiencia de un colector

En el diseño de un sistema de calentamiento de agua sanitaria convencional se utiliza como estrategia maximizar el valor del factor de remoción de calor del colector solar, mientras se intenta reducir las pérdidas de calor.

Duffie (Deceased) y al., (2020) nos menciona que para la ecuación 2.4 de Hottel-Whillier, se define la eficiencia de un colector solar en función del factor de remoción de calor  $F_R$

$$\eta_i = \frac{F_R[G_T(\tau\alpha) - U_L(T_i - T_a)]}{G_T} \quad (2.4)$$

O también

$$\eta = \frac{Q_u}{A_C \times G_T} \quad (2.4a)$$

Donde:

$G_T$  = Radiación solar incidente ( $W/m^2$ )

$\tau\alpha$  = El producto promedio de transmitancia-absortancia dado por la cubierta y la configuración del absorbedor

$U_L$  = Coeficiente de pérdida de calor ( $W/m^2K$ )

$T_i$  = Temperatura de entrada del fluido al colector (K)

$T_a$  = Temperatura ambiente (K)

Una clara opción para incrementar el factor de remoción de calor del colector sería mejorar la estratificación del tanque. Este aumento de estratificación en el tanque provoca que a lo largo del tanque (altura), el gradiente de temperatura sea mayor; haciendo que la temperatura en la parte superior sea mucho mayor que la temperatura al fondo del tanque.

Fanney & Klein, (1988) mencionan que las tasas de flujo del fluido eran muy altas dando como resultado en promedio una tasa de flujo diaria tres a más veces mayor que el uso promedio de agua caliente diaria. Por lo general, el tanque tiene un tamaño correspondiente a la carga promedio diaria de consumo, por ello, el fluido almacenado recirculará por el colector solar de tres a más veces por día

Así mismo ellos mencionan que el tanque empezará a estratificar cuando no haya circulación del fluido. Además, cuando hay recolección de la energía solar,

tendremos circulación del fluido y el tanque se mezclará. Se demuestra experimentalmente que a tasas más bajas de flujo del fluido existirá una estratificación mayor.

## 2.4 Calor útil

Duffie (Deceased) y al., (2020) expresan que el funcionamiento de los colectores solares es como de un intercambiador de calor. La energía radiante del sol recibida se transfiere al fluido de trabajo. La energía útil nos indica el incremento de temperatura del fluido en función de las variables operativas y del diseño, en la ecuación 2.5 muestra la energía útil del colector solar

$$Q_u = A_C F_R [G_T (\tau\alpha) - U_L (T_i - T_a)] \quad (2.5)$$

Donde  $F_R$  es el factor de remoción de calor,  $(\tau\alpha)$  es el producto transmitancia-absortancia,  $U_L$  ( $W/m^2K$ ) es el coeficiente global de pérdida de calor,  $A_C$  ( $m^2$ ) es el área de nuestro colector,  $G_T$  ( $W/m^2$ ) es la radiación incidente y  $T_{ent}$  ( $K$ ) y  $T_{amb}$  ( $K$ ) son la temperatura de entrada del fluido y la temperatura ambiente, respectivamente

La eficiencia de un colector solar de placa plana depende de tres parámetros principales, estos son los siguientes

- El calor útil  $Q_u$
- La radiación solar incidente  $G_T$
- El área del colector

En primer lugar, se tomará los datos de la radiación incidente  $G_T$ , obtenidos con el piranómetro para la superficie inclinada del colector de placa plana de doble paso. Como segundo se calculará el calor útil  $Q_u$  que depende del factor de remoción y el coeficiente de pérdidas de calor.

### 2.4.1 Cálculo del coeficiente de transferencia de calor

La pérdida de energía en la parte superior es el resultado de la convección y la radiación entre placas paralelas. La transferencia de energía en estado estacionario entre la placa en  $T_p$  y la cubierta en  $T_c$  es la misma que entre otras dos cubiertas adyacentes y también es igual a la energía perdida hacia los alrededores desde la cubierta superior. La pérdida a través del área superior por unidad es entonces igual a la transferencia de calor desde la placa absorbente a la cubierta

Para mantener la simplicidad de las ecuaciones lineales, es conveniente definir un coeficiente de transferencia de calor por radiación. La transferencia de calor por radiación entre dos superficies arbitrarias. Así mismo se define un coeficiente de transferencia de calor tal que la radiación entre las dos superficies esté dada por

$$hr_{p-c} = \frac{\sigma x(T_p + T_c)x(T_p^2 + T_c^2)}{\left(\frac{1}{\epsilon_p} + \frac{1}{\epsilon_c} - 1\right)} \quad (2.6)$$

Siendo:

$\sigma$  : constante de boltzman ( $5.67 \times 10^{-8}$ )

$T_p$  : temperatura de placa

$T_c$  : temperatura de cubierta

$\epsilon_p$  : emitancia de la placa

$\epsilon_c$  : emitancia de cubierta

La tasa de transferencia de calor entre placas inclinadas con algún ángulo en relación al horizonte tiene una importancia obvia en el desempeño de los colectores solares de placa plana. Los datos de transferencia de calor por convección generalmente se correlacionan en términos de dos o tres parámetros adimensionales: el número de Nusselt (Nu), el número de Rayleigh (Ra) y el número de Prandtl (Pr), así mismo algunos autores correlacionan los datos en términos del número de Grashof, que es la relación entre el número de Rayleigh y el número de Prandtl.

Se determina el número de Nusselt (Nu), el número de Rayleigh (Ra) y el número de Prandtl (Pr) de la siguiente forma (Duffie (Deceased) y al., 2020).

$$Nu = \frac{hxL}{k} \quad (2.7)$$

$$Nu = Nu = 1 + 1,44 \left[ \frac{1708(\sin 1,8\beta)^{1,6}}{Ra \cos \beta} \right] \left[ 1 - \frac{1708}{Ra \cos \beta} \right]^+ + \left[ \left( \frac{Ra \cos \beta}{5830} \right)^{1/3} \right] \quad (2.7a)$$

$$Ra = \frac{g\beta'\Delta TL^3}{\nu\alpha} \quad (2.8)$$

$$Pr = \frac{\nu}{\alpha} \quad (2.9)$$

Siendo:

$h$  : coeficiente de transferencia de calor por convección

$L$  : espacio entre placas

$k$  : conductividad térmica

$g$  : constante de la gravedad

$\beta'$  : coeficiente volumétrico de expansión (para un fluido ideal  $\beta'=1/T$ )

$\Delta T$  : diferencia de temperatura

$\nu$  : viscosidad cinemática

$\alpha$  : difusidad térmica

#### 2.4.2 Cálculo del coeficiente de pérdidas de calor global, $U_L$

Al momento de absorber la energía del Sol con la placa absorbente del colector, una parte de esta energía es absorbida por el fluido de trabajo por medio de transferencia de calor, a esto se le denomina energía útil, el resto de la energía que no es absorbida se pierde en el entorno. La eficiencia del colector decrece debido a estas pérdidas de energía. Obtendremos el coeficiente de pérdidas de calor global usando la siguiente ecuación

$$U_L = U_t + U_e + U_b \quad (2.10)$$

Donde  $U_e$  ( $W/m^2K$ ),  $U_b$  ( $W/m^2K$ ) y  $U_t$  ( $W/m^2K$ ) son coeficientes de pérdida de calor de borde, inferior y superior, respectivamente.  $U_b$  se genera por la pérdida a través del aislamiento en el fondo del colector y  $U_e$  se genera por el flujo de calor unidimensional a lo largo del perímetro del colector, lo que vendrían a ser los bordes

$$U_b = \frac{k_{ins}}{L} \quad (2.11)$$

$$U_e = \frac{(k_{ins}/L)PT}{A_c} \quad (2.12)$$

Por lo general el  $U_e$  es un valor muy pequeño por lo tanto se desprecia. Una variación de la ecuación de coeficiente global hace referencia en la ecuación (2.13) (Duffie (Deceased) y al., 2020).

$$U_t = \frac{1}{\frac{N_G}{\frac{C}{T_{pm}} \left[ \frac{(T_{pm} - T_a)}{N_G - f} \right]^{0.33} + \frac{1}{h_w}} + \frac{s(T_{pm}^2 + T_a^2)(T_{pm} + T_a)}{\frac{1}{e_p + 0.05N_G(1 - e_p)} + \frac{2N_G + f - 1}{e_g} - N_G}} \quad (2.13)$$

Donde:

$k_{ins}$  : la conductividad térmica del aislamiento

P : es el perímetro del colector solar

L : es el espesor del aislamiento

$A_c$  : es el área del colector

T : es el espesor del colector.

$N_G$ : número de cubiertas

$C$  :  $365.9(1 - 0.00883b + 0.0001298b^2)$

$f$  :  $(1 + 0.04h_w + 0.0005h_w^2)(1 + 0.091N_G)$

$b$  : Ángulo de inclinación del colector.

$e_g$  : Emitancia de la cubierta.

$e_p$  : Emitancia de la Placa.



$T_{pm}$  : Temperatura Media de la Placa (K).

$T_a$  : Temperatura Ambiente (K).

$h_w$  : Coeficiente de Transferencia de Calor del viento ( $W/m^2 \cdot C$ )

S : radiación solar incidente o  $G_T$  .

En el presente trabajo de investigación nos enfocamos en comparar la eficiencia de un colector de placa plana convencional con la de un colector de placa plana de serpentín, por lo que más adelante presentaremos la forma de calcular el factor de remoción de calor para un colector de placa plana convencional y para un colector de placa plana serpentín con  $N = 2$  ( $N =$  número de pasos).

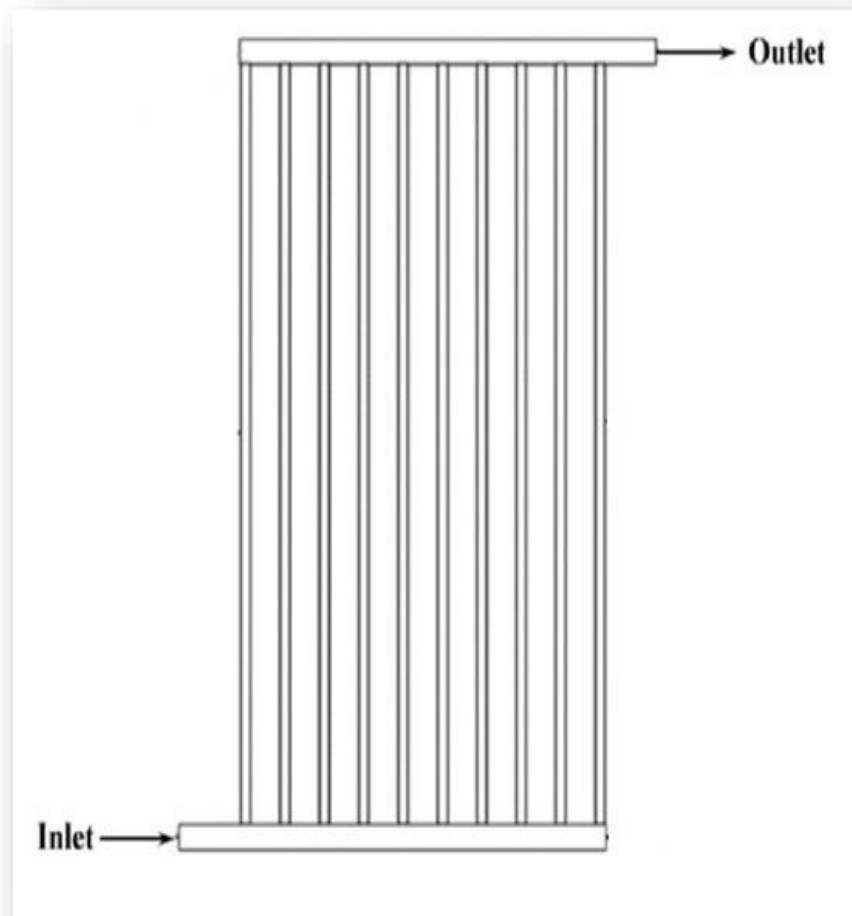
## **2.5 Colector de placa plana convencional**

La composición del colector de placa plana de convencional o de cabecera viene dada por dos tubos de cabecera horizontales y una serie de tubos elevadores paralelos de forma vertical, tal como se muestra en la figura 06:

Para el análisis del colector de placa plana se realiza varias suposiciones, tales como

- 1.El análisis se realiza en estado estacionario.
2. La construcción es de tipo lámina y tubos paralelos.
3. Los cabezales cubren una pequeña área del colector y se pueden despreciar.
4. Los cabezales brindan un flujo uniforme a los tubos.
5. No hay absorción de energía solar por parte de la cubierta.
6. El flujo de calor a través del colector es unidimensional.
7. Hay una caída de temperatura insignificante a través de la cubierta.
8. Las cubiertas son opacas a la radiación infrarroja.
9. Hay un flujo de calor unidimensional a través del aislamiento posterior.
10. El cielo se puede considerar como un cuerpo negro para la radiación de longitud de onda larga a una temperatura del cielo equivalente a la temperatura ambiente.

**Figura 06:**  
Colector de placa plana convencional

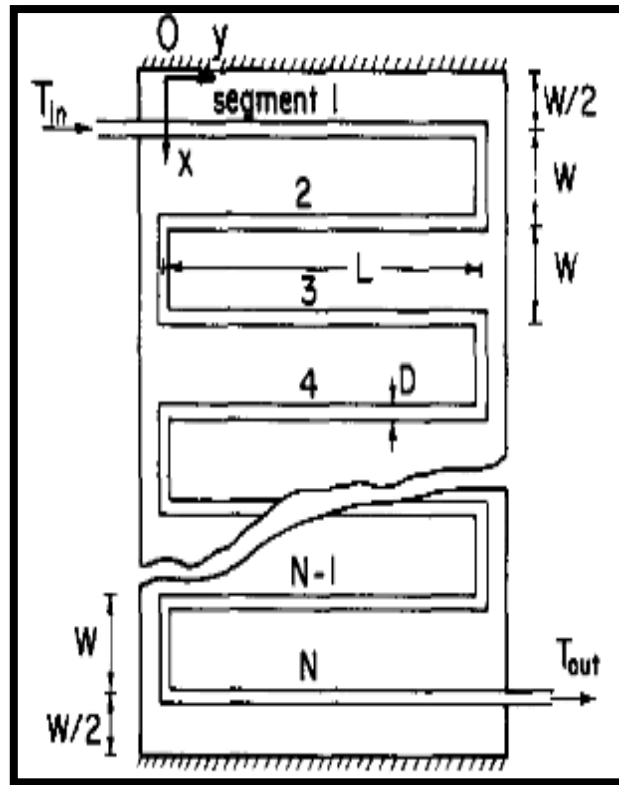


*Nota: Figura referencial que muestra como es el diseño de los tubos de un colector de placa plana convencional.*

## **2.6 Colector de placa plana tipo serpentín**

Abdel – Khalik, S. I. (1976), menciona que los colectores de placa plana serpentinos consisten en un sistema de conductos de flujo que se encuentran unidos a la placa absorbente en zigzag o de manera serpentina, tal como se muestra en la figura 07

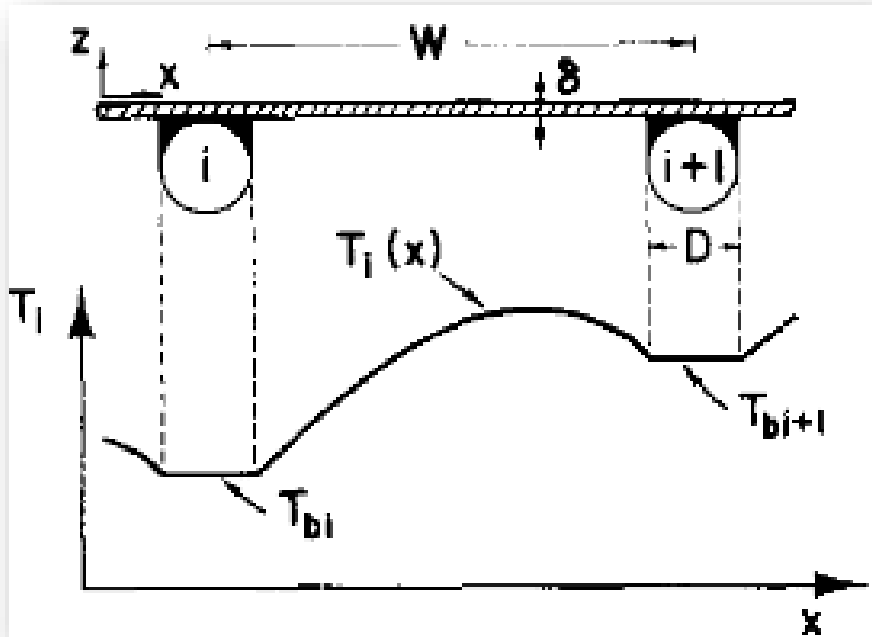
**Figura 07:**  
Dimensiones y configuración del colector serpentin



*Nota: Figura que representa un colector del tipo serpentin tomada de la investigación realizada por Abdel y Khalik en (1976)*

Considerando el colector de placa plana serpentin que se muestra en la figura 08. La placa absorbente tiene un espesor  $\delta$  y una conductividad térmica  $k$ . El tubo serpentino tiene un diámetro exterior  $D$  y un diámetro interior  $D_i$ . Cuenta con  $N$  segmentos en el serpentin, enumerados 1, 2, ...,  $N$ , con un espacio entre tubos  $W$  y una longitud  $L$ . Los números 1 y  $N$  se encuentran ubicados a una distancia  $W/2$  de los extremos de la placa, respectivamente.

**Figura 08:**  
Distribución de la temperatura de placa



*Nota: Figura tomada de la investigación realizada por Abdel y Khalik en (1976)*

Khalik Abdel S., (1976) supusieron que para un valor de  $y$ , la temperatura de la placa absorbente sobre la región de contacto en el segmento  $i$  se tornará uniforme e igual a  $T_{bi}$  (como se muestra en la figura 7). Para nuestra placa absorbente para la región entre los segmentos  $i$  e  $i+1$ , se postula que para la dirección  $y$ , el gradiente de temperatura es mucho menor que para la dirección  $x$ , además, que no existe gradiente de temperatura para la dirección  $z$ . Por ello, para un valor entregado de  $y$ , la temperatura  $T_i$  de la placa para esa región se definirá por las siguientes condiciones y ecuación diferencial

$$\frac{d^2\psi_i}{d\xi_i^2} - n^2\psi_i = 0 \quad (0 \leq i \leq N) \quad (2.14)$$

$$\left. \begin{array}{l} \text{Para } \xi_i = 0, \quad \psi_i = 1 \\ \text{Para } \xi_i = 1, \quad \psi_i = \theta_{i+1}/\theta_i \end{array} \right\} (1 \leq i \leq N - 1) \quad (2.15)$$

Donde:

$$\left. \begin{aligned}
 \psi_i &= [T_i - T_a - (S/U_L)]/[T_{bi} - T_a - (S/U_L)] \\
 \xi_i &= \{x - [(i-1)W + (W+D)/2]\}/(W-D) \\
 \theta^2 &= U_L(W-D)^2/k\delta \\
 \theta_i &= T_{bi} - T_a - (S/U_L)
 \end{aligned} \right\} \quad (2.16)$$

Para la ecuación 2.14,  $i = 0$  hace referencia a la región que se encuentra entre el extremo del colector cuando  $x = 0$  y el primer segmento del serpentín. Mientras que  $i = N$  hace referencia al otro extremo del colector. Cuando se deriva la ecuación 2.14, estamos asumiendo que el colector funciona a condiciones de estado estacionario. Para muchos sistemas prácticos, el efecto en el sistema de la capacidad de carga de nuestro colector se puede despreciar

En la figura 08, se muestra un esquema para la división de la temperatura de la placa absorbente con un valor constante de  $y$  en la región ubicada entre los segmentos  $i$  e  $i+1$ . Siendo  $q_i^-$  y  $q_i^+$  las tasas del flujo de calor que ingresan a la base del segmento  $i$  por unidad de longitud, en las direcciones  $x$  negativa y positiva, respectivamente. Entonces tenemos

$$q_i^+ = - \frac{k\delta\theta_{i-1}}{(W-D)} \frac{d\psi_{i-1}}{d\xi_{i-1}} \quad \left| \quad \xi_{i-1} = 1 \right. \quad (2.17)$$

$$q_i^- = - \frac{k\delta\theta_i}{(W-D)} \frac{d\psi_i}{d\xi_i} \quad \left| \quad \xi_i = 0 \right. \quad (2.18)$$

Se resuelve la ecuación 2.14, con las condiciones de frontera de la ecuación 2.15 y se sustituye el resultado por  $\psi_i$  en las ecuaciones 2.29 y 2.30, obteniendo lo siguiente

$$q_i^+ = \kappa[\theta_{i-1} - \theta_i \cosh \theta] \quad (2 \leq i \leq N) \quad (2.19)$$

$$q_i^- = \kappa[\theta_{i+1} - \theta_i \cosh \theta] \quad (1 \leq i \leq N - 1) \quad (2.20)$$

Donde:

$$K_1 = kn\delta/(W - D) \sinh \theta \quad (2.21)$$

En la ecuación anterior, D (m) es el diámetro exterior del tubo, k (W/m.K) es la conductividad de la placa absorbente y  $\delta$  es el grosor de la placa. Para determinar  $q_i^+$  y  $q_i^-$ , se desprecia la pérdida de calor del colector para los límites  $x = 0$  y  $x = NW$ . Ambos autores asumen como líneas de simetría a los límites aislados de nuestra placa absorbente y las ecuaciones 2.19 y 2.20 quedan de la siguiente manera

$$q_i^+ = \kappa\theta_i[1 - \cosh \theta] \quad (2.19a)$$

$$q_i^- = \kappa\theta_N[1 - \cosh \theta] \quad (2.20a)$$

Ambos autores muestran su tasa de flujo tasa de flujo de calor total que ingresas a la base del segmento i,  $q_i$ , por unidad de longitud se representa por

$$q_i = q_i^+ + q_i^-$$

$$q_i = \kappa\{[\theta_{i+1} - 2\theta_i \cosh n + \theta_{i-1}] - [\theta_{i+1}\delta_{iN} - \theta_i(\delta_{ij} + \delta_{iN}) + \theta_{i-1}\delta_{ij}]\} \quad (2.22)$$

$(1 \leq i \leq N)$

Donde  $\delta_{ij}$  es la función delta de Kronecker que viene definida de la siguiente manera (pág. 60)

$$\delta_{ij} = 1 \quad \text{para } i = j$$

$$\delta_{ij} = 0 \quad \text{para } i \neq j$$

### 2.6.1 Ganancia de energía útil

Khalik Abdel S., (1976) nos menciona que el valor de la energía útil obtenida en el segmento  $i$  por el fluido, medida por unidad de longitud en la dirección del flujo  $q_{ui}$  se representa de la siguiente manera

$$q_{ui} = q_i - DU_L\theta_i \quad (2.23)$$

En consecuencia, la ecuación 2.23 el valor de  $(-DU_L\theta_i)$  representa la energía recolectada neta en la región sobre el tubo  $i$ , por unidad de tiempo y por unidad de longitud. Nuestra ganancia de energía útil  $q_{ui}$  llega a transferirse desde la absorción del fluido de trabajo, pasando por una resistencia térmica  $R$  (que es la suma de las resistencias por convección de pared al fluido). De esta manera tenemos

$$q_{ui} = (T_{bi} - T_{fi})R \quad (2.24)$$

Donde  $T_{fi}$  en el segmento  $i$ , es la temperatura local del fluido. La ecuación 2.35 la podemos escribir de la siguiente manera (pag.60)

$$\theta_i = \theta_{fi} + Rq_{ui} \quad (2.25)$$

Donde:

$$\theta_{fi} = T_{fi} - T_a - (S/U_L) \quad (2.26)$$

Los autores sustituyeron la ecuación 2.25 en la ecuación 2.24, seguidamente reemplazando la expresión resultante por  $q_i$  en la ecuación 2.25, obtendremos la siguiente ecuación matricial

$$q_u = \kappa(\delta - \kappa RT)^{-1}\Gamma\theta_f \quad (2.27)$$

Siendo  $q_u$  y  $\theta_f$  vectores ( $N \times 1$ ), con  $q_{ui}$  y  $\theta_{fi}$  como sus elementos,  $\delta$  es una matriz unitaria ( $N \times N$ ), y  $\Gamma$  es una matriz ( $N \times N$ ) con elementos que están dados por

$$\Gamma_{ij} = (\gamma + \delta_{i1} + \delta_{iN})\delta_{ij} + \delta_{ij+1} + \delta_{ij-1} \quad (2.28)$$

Donde:

$$\gamma = -2 \cosh \theta - (DU_L/\kappa) \quad (\gamma < -2) \quad (2.29)$$

### 2.6.2 Distribución de temperatura del fluido

El autor nos dice que la temperatura en el segmento  $i$  del fluido  $T_{fi}$ , se describe por medio de la siguiente ecuación diferencial

$$\dot{m}C_p \frac{dT_{fi}}{dy} + (-1)^i q_{ui} = 0 \quad (1 \leq i \leq N) \quad (2.30)$$

Siendo  $\dot{m}$  el flujo másico del fluido y  $C_p$  el calor específico del mismo fluido de trabajo. Sustituimos  $q_{ui}$  de la ecuación 2.27 en la ecuación 2.30, obteniendo la ecuación diferencial de matriz siguiente

$$\frac{d\phi}{d\eta} + \frac{\kappa L}{\dot{m}C_p} \epsilon [\delta - \kappa R \Gamma]^{-1} \Gamma \phi = 0 \quad (2.31)$$

Donde:

$$\phi = [1/\theta_{fi}]_{\eta=0} \theta_f \quad (2.32)$$

$$\theta = y/L \quad (2.33)$$

$$\epsilon_{ij} = (-1)^i \delta_{ij} \quad (2.34)$$

Los autores tomaron las condiciones de frontera para su conjunto de ecuaciones diferenciales ordinarias de primer orden de nuestra ecuación 2.31



$$\left\{ \begin{array}{l} \text{Para } \theta = 0, \quad \phi_1 = 1 \\ \text{Para } \theta = 0, \quad \phi_{i-1} = \alpha\phi_i \quad (i = \text{par}) \\ \text{Para } \theta = 1, \quad \phi_{i-1} = \alpha\phi_i \quad (i = \text{impar}) \end{array} \right\} \quad (2.35)$$

Siendo:

$$\alpha = \exp [-DU_L W / \dot{m} C_p (1 + RDU_L)] \quad (2.36)$$

La segunda y tercera condición de frontera de la ecuación 2.36 son resultado de resolver la ecuación diferencial que describe el cambio de temperatura del fluido para el segmento final que une los segmentos  $i$  e  $i+1$ . Para casos prácticos,  $\alpha$  se encuentra muy cerca de la unidad, por lo que desde ahora se establecerá como tal. Del mismo modo es equivalente suponer que  $T_{fi}$  y  $T_{fi+1}$  tienen el mismo valor en la curva que une a los dos segmentos.

### 2.6.3 Factor de remoción de calor para un colector solar de doble paso

Khalik Abdel S., (1976) presentó una solución analítica para  $N = 2$  en términos de parámetros adimensionales, es decir,  $\frac{F_R}{F_1} VS \frac{\dot{m} x c_p}{F_1 x U_L x A_C}$ , con  $F_2$  como parámetro, donde

$$F_1 = \frac{NK_1L}{A_C U_L} x \frac{K_1(1 + \gamma)^2 - 1 - \gamma - K_1R}{[K_1R(1 + \gamma) - 1]^2 - (K_1R)^2} \quad (2.37)$$

$$F_2 = \frac{1}{KR(1 + \gamma)^2 - 1 - \gamma - KR} \quad (2.38)$$

Para las ecuaciones anteriores  $R$  es una resistencia térmica que se define en la ecuación 2.39.

$$R = \frac{1}{\pi x D_i x h_{fi}} \quad (2.39)$$

Zhang & Lavan, (1985) realizó un análisis de la remoción de calor con un colector del tipo serpentín. Dicho análisis realizado dio como resultado, gráficos para obtener el factor de remoción de calor. Los parámetros de las ecuaciones 2.37 y 2.38 ( $F_1$  y  $F_2$ ), son funciones del diseño físico donde está incluido la conductividad, el espaciamiento entre tubos y el espesor de la placa

Los valores de  $F_R/F_1$  para las combinaciones estudiadas de  $N$ ,  $\gamma$ ,  $RK$  y  $\kappa L/\dot{m}C_p$ , se sobreponen de manera notable a la solución analítica para  $N = 2$ , que se muestra en la ecuación 2.20a. La diferencia para los valores de  $F_R/F_1$  entre los resultados de forma analítica para  $N = 2$  y los resultados obtenidos de forma numérica para valores más altos de  $N$ , son menores al 5%.

Zhang y Lavan afirman que el factor de remoción de calor generalmente tiene un valor máximo con  $N = 1$  y un valor mínimo con  $N = 2$ . Con forme  $N$  aumenta, el factor de remoción de calor también aumenta, pero de una manera decreciente. Cuando aumenta el número de vueltas, también es mayor la longitud del tubo, por lo tanto, aumenta el área de trabajo. Esto quiere decir que la superficie donde incide la radiación es mayor y el factor de remoción de calor aumenta. Cuando  $N = 1$ , el colector de serpentín trabaja como un colector de placa plana convencional, haciendo que  $F_R$  sea el más alto debido a que no habría transferencia de calor entre tubos.

#### **2.6.4 Para el colector de doble paso ( $N = 2$ )**

Zhang y Lavan, (1985) presentan la siguiente solución analítica para el colector de placa plana de serpentín con  $N = 2$  en términos de parámetros adimensionales como  $F_R/F_1$  vs  $\dot{m}C_p/F_1 U_L A_C$ . Presentando así, la siguiente ecuación de forma reducida más conveniente.

$$\frac{F_R}{F_1} = \frac{1}{2\beta_1} \left( 1 + \left( 2 \frac{\left(\frac{1}{F_2} + F_5 - 1\right) F_5}{\left(1 - \frac{1}{F_2} + F_5\right) \exp\left(-2\beta_1 \sqrt{1 - F_2^2}\right) + \left(\frac{1}{F_2} + F_5 - 1\right)} - \frac{1}{F_2} - F_5 \right) \right) \quad (2.40)$$

Siendo

$$F_5 = \sqrt{\frac{1 - F_2^2}{F_2^2}} \quad (2.41)$$

$$\beta_1 = \frac{\kappa L}{\dot{m} C_p} \frac{(\kappa R(1 + \gamma)^2 - 1 - \gamma - \kappa R)}{(\kappa R(1 + \gamma) - 1)^2 - (\kappa R)^2} \quad (2.42)$$

## CAPÍTULO III: MATERIALES Y MÉTODOS

### 3.1. Lugar de ejecución

- Laboratorio de Energías Renovables de la Facultad de ingeniería – Universidad Nacional del Santa.
- Loza Solar de la Facultad de ingeniería – Universidad Nacional del Santa.

### 3.2. Equipos y materiales

#### 3.2.1. Equipos

- Instrumento de registro de datos multifunción portátil (Dataloger)

Marca: Delta OHM

Modelo: DO 9847

#### Figura 09:

Instrumento de registro de datos multifunción portátil (dataloger)



*Nota: Fotografía perteneciente a los archivos del experimento*

- Piranómetro  
Marca: Delta OHM  
Modelo: LPPYRA02

**Figura 10:**  
Instrumento de meteorológico usado para medir la radiación solar incidente



*Nota: Fotografía perteneciente al catálogo de venta de DELTA OHM*

- Sensores de medición:  
Marca: Delta OHM  
Modelo: TP472I

**Figura 11:**  
Sensor de temperatura



*Nota: Fotografía perteneciente al catálogo de venta de DELTA OHM.*

- ANEMÓMETRO:  
Marca: Delta OHM  
Modelo: AP472S2

**Figura 12:**  
Anemómetro



*Nota: Fotografía perteneciente al catálogo de venta de DELTA OHM.*

- Colector solar de placa plana de doble paso  
Elaborado con materiales caseros

**Figura 13:**  
Colector solar de placa plana de doble paso



*Nota: Fotografía perteneciente a los archivos del experimento.*

### 3.2.2. Materiales

#### ✓ **Construcción del colector solar de placa plana de doble paso**

- Calamina
- 10 tubos de pvc 1/2"
- 10 codos de pvc 1/2"
- 2 tubos de pvc 2"
- Pintura de color negro matte
- 5 m de alambre para los amarres
- 5 juegos de soldimix
- 1 caja de madera de 2 m x 1 m
- 3 m<sup>2</sup> de plástico para la cubierta

#### ✓ **Material de acoplamiento para el colector solar de placa plana**

- 1 tanque Rotoplas
- 1 soporte elevado para el tanque Rotoplas
- 3 m de manguera de caucho
- 1 caballete de madera mediano
- 1 caballete chico
- 4 abrazaderas

#### ✓ **Fluido de trabajo (agua)**

En la tabla 01 se muestran los datos característicos y propiedades físicas de los materiales usados para elaborar un colector de placa plana de doble paso

**Tabla 01:**

Características y propiedades físicas de los materiales usados en el colector de placa plana de doble paso

General	Tipo Ancho Largo Alto Número de pasos	Colector solar de placa plana de doble paso 1 m 2 m 0,1 m 2
Conductos paralelos	Material Conductividad térmica (k) ( <i>Frank P. Incropera 4edic 1999</i> ) Secciones (ida y vuelta) Distancia entre tubos de cada sección	pvc 0,04 W/mK 5 0,1 m
Carcasa	Material Conductividad térmica (k) ( <i>Frank P. Incropera 4edic 1999</i> )	madera 0,115 W/mK
Cubierta Transparente	Material Espesor Transmitancia Emisividad	Plástico transparente (polietileno) 0,0011 m 0,93 0,94
Placa Absorbente	Material Espesor Distancia entre los centros de los tubos Transmitancia ( <i>Frank P. Incropera 4edic 1999</i> ) Emisividad ( <i>Frank P. Incropera 4edic 1999</i> ) Conductividad térmica (K) (XX simposio peruano de energía solar 2013)	calamina pintado color negro mate 0,0015 m 0,1 m 0,96 0,96 115 W/mK

### 3.3. Método

Método experimental

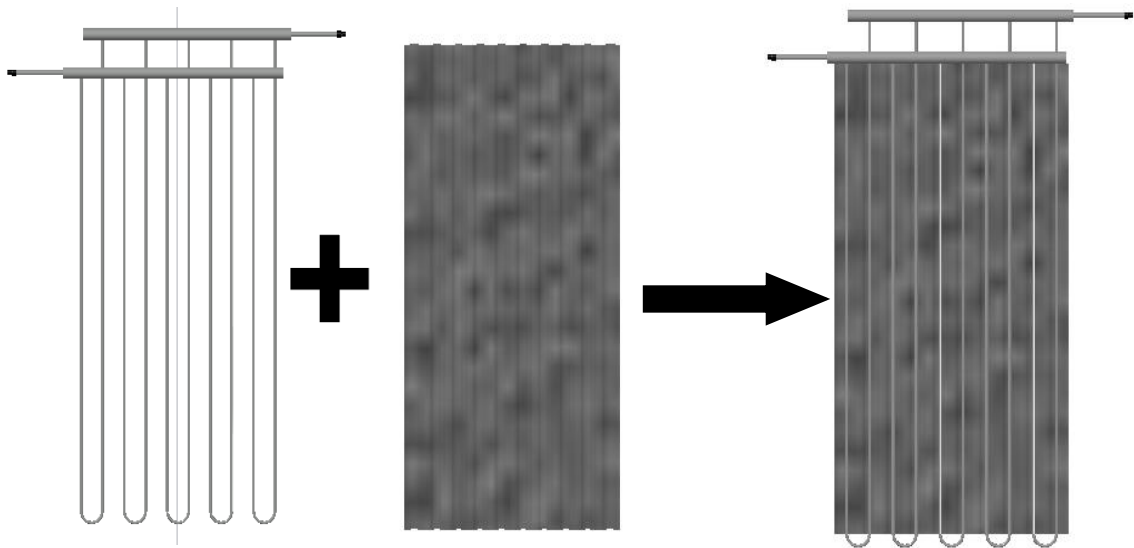
#### 3.3.1. Procedimiento

❖ CONSTRUCCIÓN DEL COLECTOR



1. Armado de la estructura de PVC, realizada con 10 tubos de PVC de  $\frac{1}{2}$ " para las 5 secciones de ida y vuelta del fluido (agua), y 2 tubos de PVC de 2" para la entrada y la salida del fluido (agua); siendo todos estos tubos unidos con SOLDIMIX. Como nota adicional se tomaron en cuenta la información obtenida para dar el distanciamiento de tubo a tubo, siendo esta información proporcionada por Zhang, H., y Lavan, Z. (1985), en su investigación titulada *Rendimiento Térmico de una Placa Absorbente del tipo serpentín*.
2. Una vez construida dicha estructura se procedió a instalar debajo de los tubos una plancha de calamina curveada, siendo la calamina amarrada a la estructura de PVC por medio de amarres de alambre, para luego ser pintado en su totalidad con pintura negro mate, cuya representación de los pasos 1 y 2 pueden visualizarse en la figura 14.

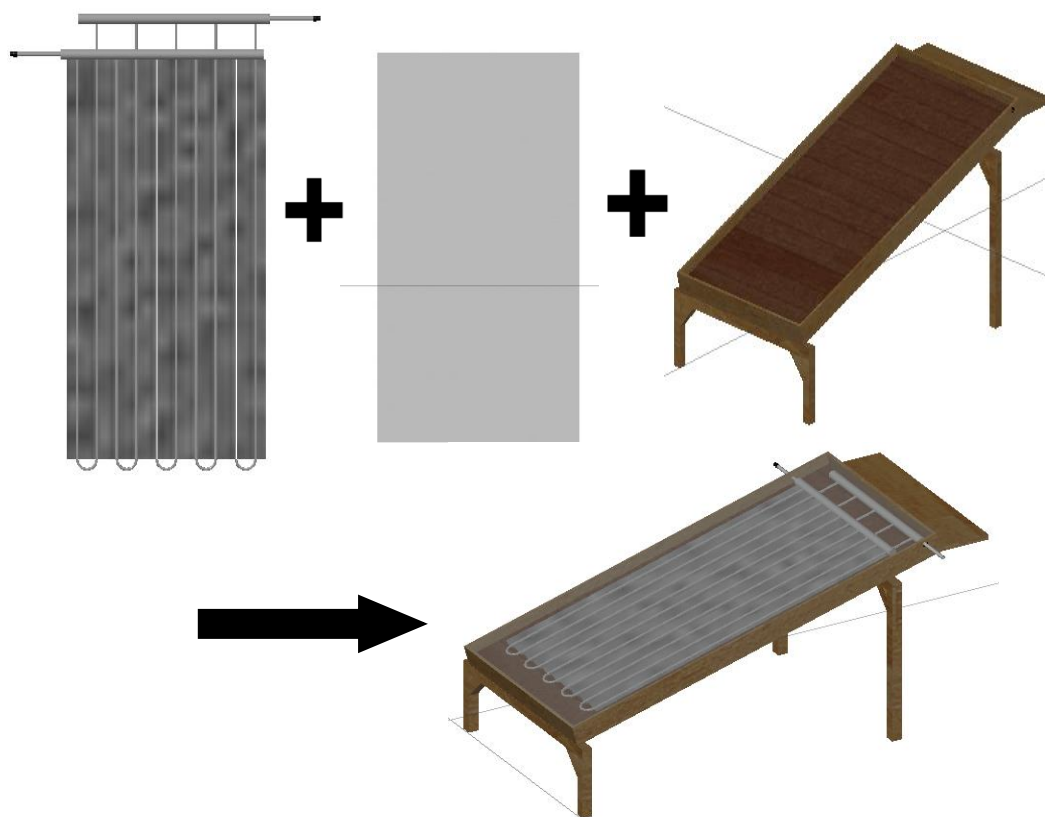
**Figura 14:**  
Representación de la estructura de PVC y la calamina



*Nota: Figura perteneciente a los archivos del experimento, cuyos planos se realizaron con el programa AUTOCAD 2019.*

3. Tenido unidas la estructura de PVC y la calamina pintada de negro matte, se procedió a colocarlos dentro de una caja de madera de 2 x 1 x 0.1 m.
4. Finalmente se instaló la cubierta de plástico y se obtuvo un colector de placa plana de doble paso, los pasos 2, 3 y 4 pueden ser visualizados en la figura 15.

**Figura 15.**  
Colector solar de placa plana de doble paso



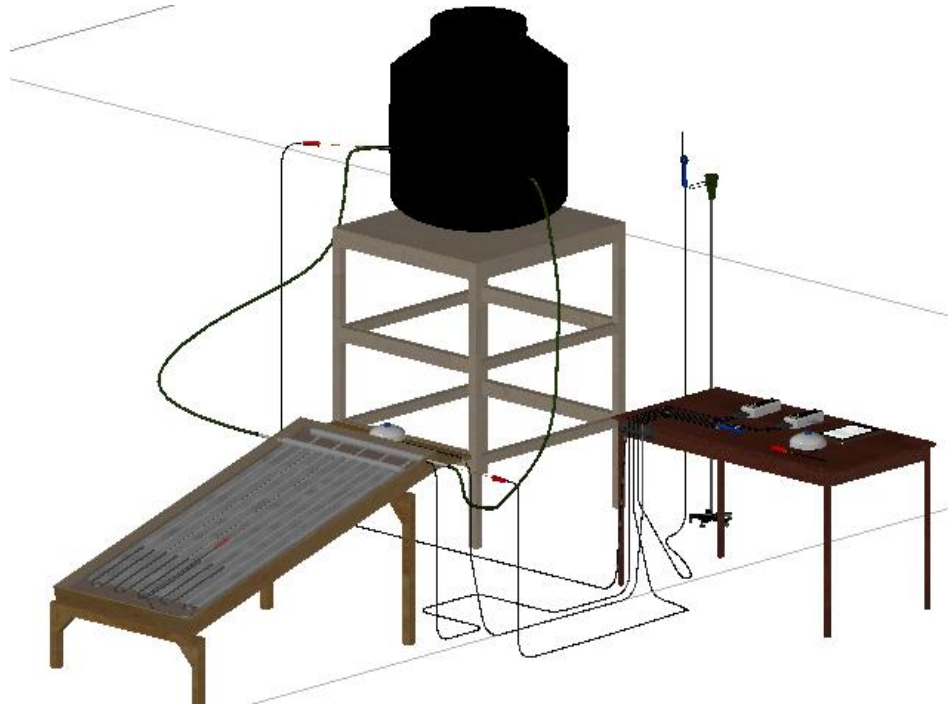
*Nota: Figura perteneciente a los archivos del experimento, cuyos planos se realizaron con el programa AUTOCAD 2019.*

❖ **ARMADO DEL SISTEMA:**

1. Instalamos el tanque de almacenamiento de agua encima de un soporte de madera de aproximadamente 1,4 m de alto.
2. El colector solar de placa plana de doble paso se ubica al frente del tanque a un metro aproximadamente de distancia en dirección al norte geográfico.
3. Para sostener el colector se colocaron 2 caballetes uno chico y otro grande, el grande se ubicó en la parte superior por debajo del colector y el pequeño en la parte inferior por debajo del colector, estando el colector con una inclinación de 20°.
4. Finalmente se unió todo el sistema por medio de mangueras, siendo ubicadas una de ellas a uno de los extremos del tanque a la entrada del fluido del colector y la otra manguera siendo ubicada de la salida del fluido del colector al otro

extremo del tanque de almacenamiento de agua. Los pasos 1,2,3 y 4 se representan en la figura 16.

**Figura 16.**  
Armado del sistema



*Nota: Figura perteneciente a los archivos del experimento, cuyos planos se realizaron con el programa AUTOCAD 2019.*

❖ **MONTAJE DE SENSORES DE MEDICIÓN:**

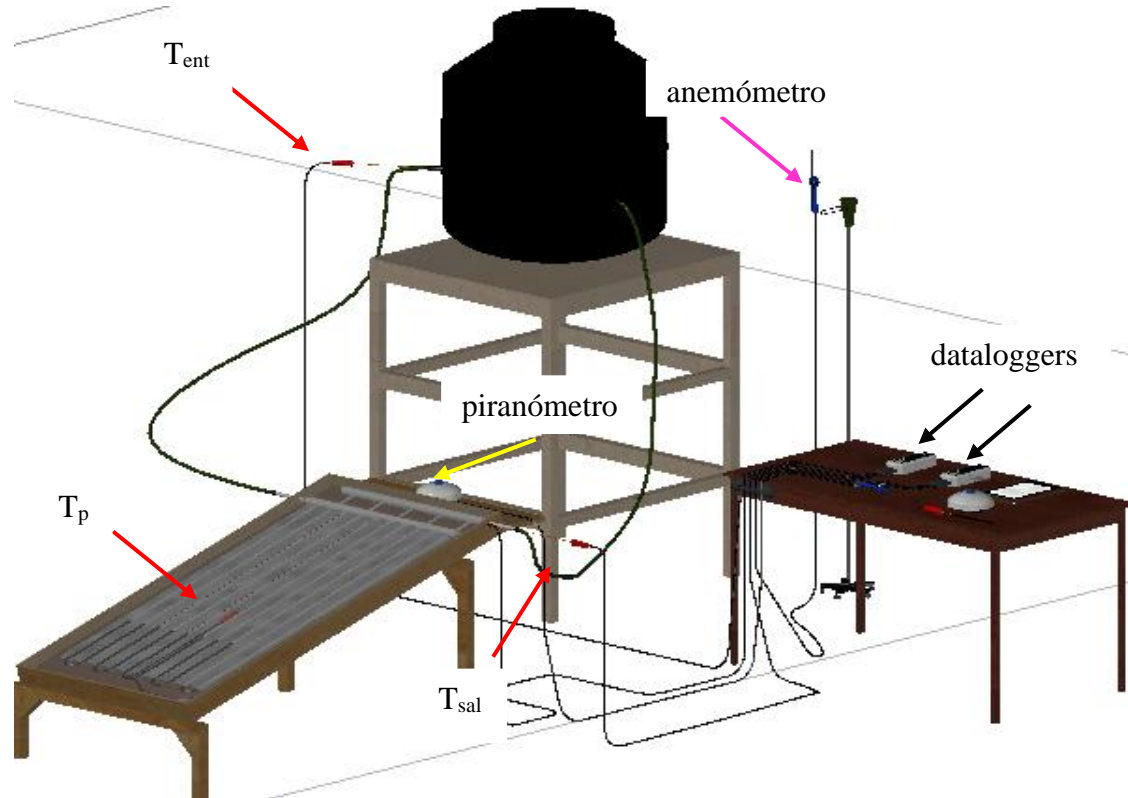
1. Se instalaron 4 sensores de medición de temperatura, el primero estuvo ubicado en el extremo inicial de la manguera que una el tanque con la entrada de fluido del colector, siendo este sensor el que medía la temperatura de entrada del fluido ( $T_{ent}$ ); el segundo sensor de temperatura se ubicó en la placa absorbente del colector solar de placa plana de doble paso, siendo este sensor el que medía la temperatura de placa ( $T_p$ ); el tercer sensor de temperatura se ubicó a la salida del fluido del colector en la manguera que uno la salida del fluido del colector con el tanque, siendo este sensor el que medía la temperatura de salida del fluido ( $T_{sal}$ ); y el cuarto sensor se ubicó en un lugar donde no le llegara la radiación incidente de manera directa, ni tampoco la

velocidad de viento de forma directa, siendo este sensor el que media la temperatura ambiente ( $T_{amb}$ ).

2. Debido a que el piranómetro debía ubicarse lo más cerca posible del colector, se construyó una pequeña plataforma para sostener el piranómetro, el cual fue ubicado encima del colector y unido a este por medio de pernos.
3. Para poder ubicar de forma correcta el anemómetro se adicionó un soporte de aproximadamente 1,5 metros que estaba ubicado al costado del tanque de almacenamiento de agua y en cuya punta se ubicó el anemómetro.

Los pasos 1,2 y 3 pueden visualizarse en la figura 17.

**Figura 17:**  
Montaje de los sensores de medición

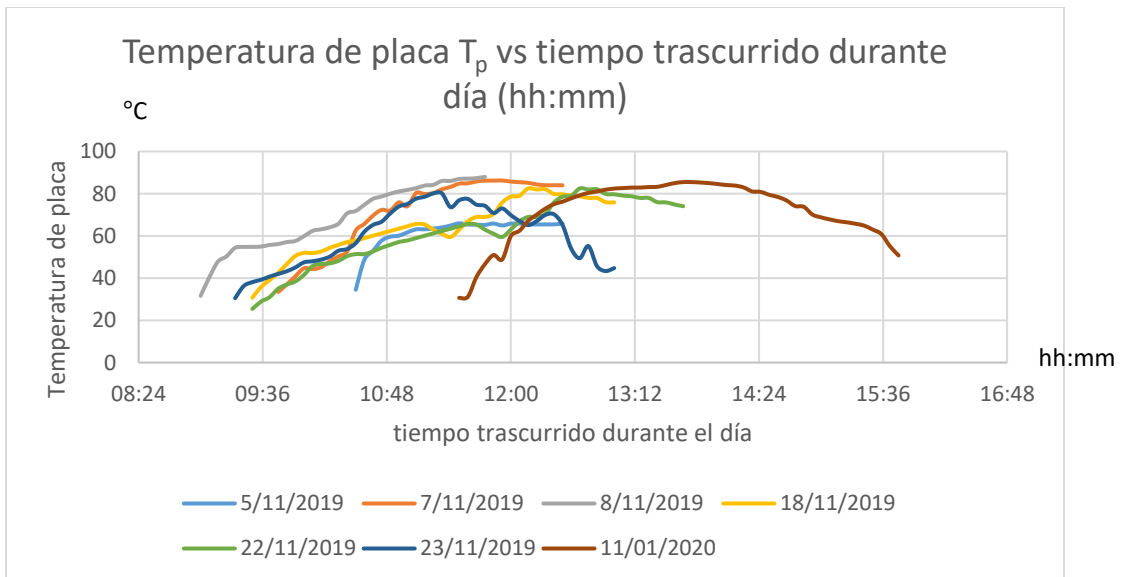


*Nota: Figura perteneciente a los archivos del experimento, en la cual las flechas de color rojo señalan los sensores de temperatura (entrada  $T_{ent}$ , salida  $T_{sal}$  y placa  $T_p$ ), la flecha de color amarillo señala el piranómetro, la flecha de color fucsia señala el anemómetro y las flechas de color negro los dataloggers.*

❖ TOMA DE DATOS Y ANÁLISIS DE DATOS:

1. Una vez instalados los 4 sensores de medición de temperatura, el piranómetro y el anemómetro, siendo todos estos sensores de medición acoplados a 2 datalogger para el registro de datos cada 5 minutos.
2. Se tomaron registro de 7 días en total, 6 días del mes de noviembre de 2019 y 1 día del mes de enero de 2020, en la figura 18 se visualiza la tendencia de la temperatura de placa de los 7 días mencionados y cuyos datos de las mediciones de la temperatura pueden ser visualizados en la tabla 10 ubicada en anexos.
3. Finalmente teniendo todos los datos necesarios se procedió a su análisis respectivo.

**Figura 18:**  
Tendencia de la temperatura de placa con respecto a las horas transcurridas



## CAPÍTULO IV: CÁLCULOS Y RESULTADOS

### ❖ Diseño del colector solar de placa plana de doble paso

El modelo del colector de placa plana de doble paso cuyas partes son la estructura de conformados por 5 secciones ida vuelta con un espacio de tubo a tubo de 10 centímetros, la caja de 2 metros por 1 metro y la cubierta de plástico, el cual puede ser visualizado de manera general en la Figura 19.

**Figura 19:**  
Colector solar de placa de doble paso diseñado por los tesisistas.



*Nota: Figura perteneciente a los archivos del experimento, cuyos planos se realizaron con el programa AUTOCAD 2019.*

### ❖ Aspectos descriptivos de los datos obtenidos

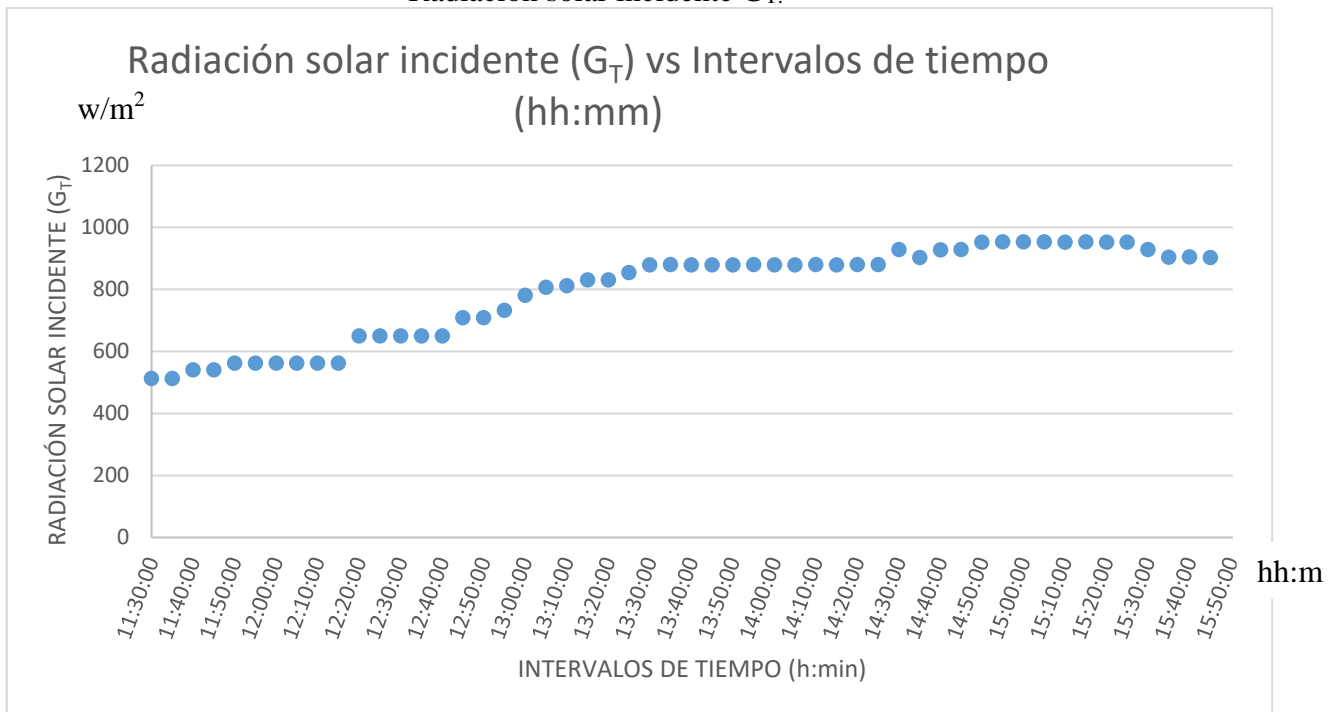
En la tabla 6 ubicada en anexos, se muestra los datos obtenidos en la parte experimental de las pruebas del día 11 de enero del 2020 hechas con respecto a la temperatura de entrada del fluido, la temperatura de salida del fluido, la temperatura de la placa absorbente, la temperatura ambiente, la velocidad del viento, la radiación solar incidente, la velocidad de viento y el caudal. Dichos datos que se emplearon en el análisis de la evaluación de la eficiencia del colector de placa plana de doble paso.

### ❖ Radiación solar incidente $G_T$

Para propósitos experimentales, la radiación solar incidente sobre la superficie del colector solar de placa plana de doble paso se midió con el piranómetro, siendo los más destacados los datos obtenidos del día 11 de enero del 2020 cuyos resultados se pueden visualizar en la tabla 2 ubicada en anexos.

Se tiene que el promedio de la radiación solar incidente fue  $794.64 \text{ W/m}^2$  durante las horas transcurridas del día 11 de enero del 2020, cuya gráfica que representa todos los datos pueden visualizarse en la figura 20 (Para mayor detalle véase anexos tabla 02) y la radiación solar incidente promedio para todos los días del experimento fue de  $739.13 \text{ W/m}^2$  (Para mayor detalle véase anexos tabla 11)

**Figura 20:**  
Radiación solar incidente  $G_T$ .



*Nota: Los intervalos de tiempo mencionados en la figura son del día sábado 11 de enero del 2020.*

### ❖ Determinación del coeficiente global de pérdidas de calor $U_L$

Para dar corroboración de los datos mostrados en tablas realizaremos el cálculo de  $U_L$  uno de los datos del día sábado 11 de enero de 2020 a las 11:30 a.m.

Datos:

$$T_{\text{amb}}=25,10 \text{ }^\circ\text{C} = 300,23 \text{ K}$$

$$T_{\text{sal}}=28,32 \text{ }^\circ\text{C} = 301,47 \text{ K}$$

$$T_p=30,70 \text{ }^\circ\text{C} = 303,85 \text{ K}$$

$$T_{\text{ent}}=26,15 \text{ }^\circ\text{C} = 299,30 \text{ K}$$

$$T_c=27,9 \text{ }^\circ\text{C} = 300,9 \text{ K (este dato se obtuvo de promediar la } T_p \text{ y la } T_a)$$

$$V_{\text{viento}}=1,12 \text{ m/s}$$

$$h_w=9,96 \text{ W/m}^2\text{K,}$$

$$\varepsilon_p = 0,97$$

$$\varepsilon_c = 0,94$$

Para hallar las pérdidas de calor superior (cubiertas) se usa la siguiente ecuación 2.13

$$U_t = \frac{1}{R_{p-c} + R_{c-a}}$$

Para ello se debe hallar previamente lo siguiente:

- Resistencia térmica para la cubierta:

$$R_{p-c} = \frac{1}{h_{cp-c} + h_{rp-c}}$$

Donde:

$h_{cp-c}$  = coeficiente convectivo entre placa y cubierta.

$h_{rp-c}$  = coeficiente radiativo entre placa y cubierta.

Calculando el  $h_{rp-c}$  según la ecuación 2.6:

$$h_{rp-c} = \frac{\sigma(T_p^2 + T_c^2)(T_p + T_c)}{\left(\frac{1}{\varepsilon_p} + \frac{1}{\varepsilon_c} - 1\right)}$$



$$hr_{p-c} = \frac{5,67 \times 10^{-8} (303,85^2 + 301,58^2) (303,85 + 301,58)}{\left(\frac{1}{0,97} + \frac{1}{0,94} - 1\right)}$$

$$hr_{p-c} = 5,75 \text{ W/m}^2\text{K}.$$

Calculando el  $hc_{p-c}$ :

Donde:

$$L = 0,04\text{m}.$$

$$\text{Temperatura del aire entre placa y cubierta} = \frac{T_p + T_c}{2}$$

$$= \frac{303,85 + 301,58}{2} = 302,71 \text{ K}$$

$$\beta = \frac{1}{T_{amb}} = \frac{1}{300,23} \text{ K}^{-1}$$

**según tablas transferencia de calor (Frank P. Incropera 4edic 1999):**

$$v = 1,60 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{seg}$$

$$a = 2,20 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{seg}$$

$$\Delta T = T_p - T_c = 303,85 - 301,575 = 2,26 \text{ K}$$

Reemplazando en la ecuación 2.8

$$Ra = \frac{g\beta(\Delta T)L^3}{va}$$

$$Ra = \frac{(9,81) \left(\frac{1}{300,23}\right) (2,28)(0,04)^3}{(1,60 \times 10^{-5})(2,20 \times 10^{-5})}$$

$$Ra = 1,35 \times 10^4$$

Hallando el Nusselt según la ecuación 2.7:

$$Nu = 1 + 1,44 \left[ \frac{1708(\sin 1,8\beta)^{1,6}}{Ra \cos \beta} \right] \left[ 1 - \frac{1708}{Ra \cos \beta} \right]^+ + \left[ \left( \frac{Ra \cos \beta}{5830} \right)^{1/3} \right]$$

$$Nu = 2,43$$

Para hallar el  $U_b$  como dicta la ecuación 2.11 se debe tener previamente los valores de las siguientes ecuaciones:

$$hc_{p-c} = \frac{k}{L} Nu$$

$$hc_{p-c} = \frac{0,02584744}{0,04} \times 2,43$$

$$hc_{p-c} = 1,57 \text{ W/m}^2\text{K}$$

Luego la resistencia térmica entre la cubierta y la placa

$$R_{p-c} = \frac{1}{hc_{p-c} + hr_{p-c}} = \frac{1}{1,57081 + 5,7467}$$

$$R_{p-c} = 0,14 \text{ W/m}^2\text{K}$$

- Resistencia entre la cubierta y el ambiente:

$$R_{c-a} = \frac{1}{h_w + hr'_{c-a}}$$

Donde:

$h_w$  = coeficiente convectivo entre placa y ambiente

$hr'_{c-a}$  = coeficiente radiativo entre placa y ambiente

Para calcular tenemos:

$$h_w = 9,96 \text{ W/m}^2\text{K}$$

Calculando del  $hr'_{c-a}$ :

$$hr'_{c-a} = \sigma \varepsilon_c (T_a + T_c)(T_a^2 + T_c^2)$$

$$hr'_{c-a} = 5,67 \times 10^{-8} \times 0,94(303,85^2 + 301,58^2)(303,85 + 301,575)$$

$$hr'_{c-a} = 5,78 \text{ W/m}^2\text{K}$$

Luego la resistencia entre la cubierta y el ambiente.

$$R_{c-a} = \frac{1}{h_w + hr'_{c-a}}$$

$$R_{c-a} = \frac{1}{9,96 + 5,78}$$

$$R_{c-a} = 0,06 \text{ m}^2\text{K/W}$$

Se sabe según la ecuación 2.13 que:

$$U_t = \frac{1}{R_{p-c} + R_{c-a}}$$

$$U_t = \frac{1}{0,14 + 0,06}$$

$$U_t = 4,99 \text{ W/m}^2\text{K}$$

(Véase a mayor detalle en anexo tabla 03)

- Coeficiente global entre la placa y la parte inferior (medio ambiente).

$U_{\text{polietileno}}$ :

$$U_{\text{polietileno}} = \frac{k_{\text{polietileno}}}{d_{\text{polietileno}}} = \frac{0,04}{0,034} = 1,18 \text{ W/m}^2\text{K}$$

$U_{\text{madera}}$ :

$$U_{\text{madera}} = \frac{k_{\text{madera}}}{d_{\text{madera}}} = \frac{0,115}{0,016} = 7,19 \text{ W/m}^2\text{K}$$

Coeficiente de la parte de atrás según la ecuación 2.11:

$$\frac{1}{U_b} = \frac{1}{U_{\text{polietileno}}} + \frac{1}{U_{\text{madera}}} = \frac{1}{1,18} + \frac{1}{7,19}$$

$$U_b = 1,01 \text{ W/m}^2\text{K}$$

(Véase a mayor detalle en anexo tabla 03)

Finalmente, el coeficiente de pérdidas de calor es según la ecuación 2.10:

$$U_L = U_t + U_b$$

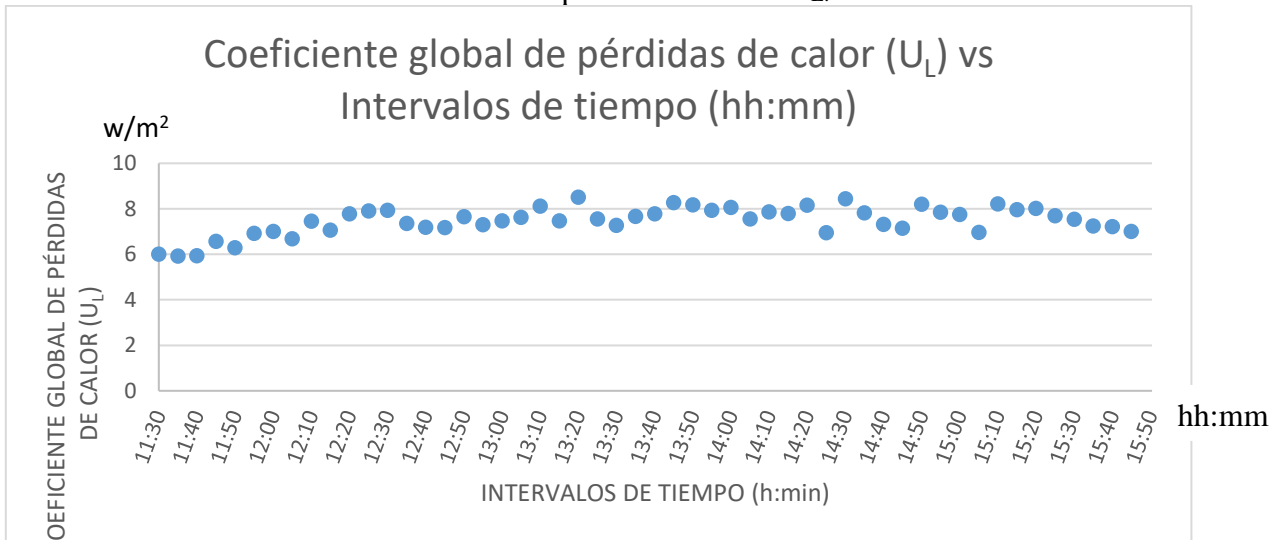
$$U_L = 4,99 + 1,01$$

$$U_L = 6,00 \text{ W/m}^2\text{K}$$

Los demás cálculos podrán ser visualizados en la tabla 03 ubicada en los anexos.

Se tiene que en promedio el coeficiente global de pérdidas de calor  $U_L$  fue 7,47  $w/m^2K$  durante el día 11 de enero del 2020, cuya gráfica puede ser visualizada en la figura 21 y un coeficiente global de pérdidas de calor  $U_L$  en promedio durante todos los días del experimento de 7,34  $w/m^2K$ .

**Figura 21:**  
Coeficiente de pérdidas de calor  $U_L$ .



*Nota: Los intervalos de tiempo mencionados en la figura son del día sábado 11 de enero del 2020*

Así mismo el  $U_L$  nos muestra un error de +/- 0,48 (véase a mayor detalle en anexos tabla 08)

#### ❖ Hallando el factor de remoción

Para dar corroboración de los datos mostrados en tablas realizaremos el cálculo del  $F_R$ , tomando como referencia uno de los datos obtenidos del día sábado 11 de enero de 2020 a las 11:30 a.m. (Para ver datos completos véase tabla 04 en anexos).

Datos:

$L = 1,4$

$h_f = 3000$

$W = 0,1 \text{ m}$

$$N = 2$$

$$\delta = 0.0015 = 15 \times 10^{-4}$$

$$D = 0,0075 = 75 \times 10^{-4} \text{ m}$$

$$D_i = 0,0065 = 65 \times 10^{-4} \text{ m}$$

$$K \text{ (calamina)} = 115 \text{ w/mk}$$

Según la ecuación 2.40

$$\frac{F_R}{F_1} = \frac{1}{2\beta_1} \left( 1 + \left( 2 \frac{\left(\frac{1}{F_2} + F_5 - 1\right) F_5}{\left(1 - \frac{1}{F_2} + F_5\right) \exp\left(-2\beta_1 \sqrt{1 - F_2^2}\right) + \left(\frac{1}{F_2} + F_5 - 1\right)} - \frac{1}{F_2} - F_5 \right) \right)$$

Para ello debemos hallar según ecuación 2.37:

$$F_1 = \frac{Nk_1L}{A_c U_L} \left( \frac{K_1R(1 + \gamma)^2 - 1 - \gamma - K_1R}{[K_1R(1 + \gamma) - 1]^2 - (K_1R)^2} \right)$$

Debemos hallar antes según ecuación 2.16a:

$$\theta = \left( \frac{U_L(w-D)^2}{k\delta} \right)^{1/2}$$

$$\theta = \left( \frac{6,00 \times (0,1 - 75(10^{-4}))^2}{115 \times 15(10^{-4})} \right)^{1/2}$$

$$\theta = 0,55$$

y según ecuación 2.21

$$k_1 = \frac{k\delta\theta}{(W-D) \sinh \theta}$$

$$k_1 = \frac{115 \times 0,0015 \times 0,55}{(0,1 - 0,0075) \times \sinh(0,55)}$$

$$k_1 = 1,78$$

para valor de R contenida en la ecuación 2.39:

$$R = \frac{1}{h_{f,i} \pi D_i}$$

$$R = \frac{1}{3000 \times \pi \times 65(10^{-4})}$$

$$R = 0,02$$

Una vez hallados los datos reemplazamos en la siguiente ecuación 2.37

y obtenemos:

$$F_1 = \frac{Nk_1L}{A_c U_L} \left( \frac{K_1R(1 + \gamma)^2 - 1 - \gamma - K_1R}{[K_1R(1 + \gamma) - 1]^2 - (K_1R)^2} \right)$$

$$F_1 = 3,64$$

Seguidamente reemplazamos en la ecuación 2.38

$$F_2 = \frac{1}{K1R(1 + \gamma)^2 - 1 - \gamma - R\kappa1}$$

$$F_2 = 0,75$$

Para obtener  $F_5$  según la ecuación 2.41

$$F_5 = \sqrt{\frac{1 - F_2^2}{F_2^2}}$$

$$F_5 = 0,87$$

Y para ello necesitamos en valor de  $\beta_1$  con tenida en la ecuación 2.42

$$\beta_1 = \frac{\kappa1L (\kappa R(1 + \gamma)^2 - 1 - \gamma - \kappa1R)}{\dot{m}C_p (\kappa1R(1 + \gamma) - 1)^2 - (\kappa1R)^2}$$

Ahora necesitamos hallar  $\gamma$  está disponible en la ecuación:

$$\gamma = -2 \cosh \theta - \frac{DU_L}{\kappa1}$$

$$\gamma = -2,30$$

Reemplazando para hallar  $\beta_1$  según la ecuación 2.42

$$\beta_1 = \frac{\kappa1L (\kappa R(1 + \gamma)^2 - 1 - \gamma - \kappa1R)}{\dot{m}C_p (\kappa1R(1 + \gamma) - 1)^2 - (\kappa1R)^2}$$

$$\beta_1 = 0,00013723$$

Regresando a la ecuación inicial 2.40 para hallar el factor de remoción:

$$\frac{F_R}{F_1} = \frac{1}{2\beta_1} \left( 1 + \left( 2 \frac{\left( \frac{1}{F_2} + F_5 - 1 \right) F_5}{\left( 1 - \frac{1}{F_2} + F_5 \right) \exp \left( -2\beta_1 \sqrt{1 - F_2^2} \right) + \left( \frac{1}{F_2} + F_5 - 1 \right)} - \frac{1}{F_2} - F_5 \right) \right)$$

$$F_R = 0,89$$

(Véase a mayor detalle en anexo tabla 04)

❖ **Hallando el calor útil**

Como datos tenemos:

$$A_c: 2 \text{ m}^2$$

$$F_R: 0,89$$

$$G_T: 512 \text{ w/m}^2$$

$$U_L: 6,00$$

$$T_{ent} : 299,30 \text{ K}$$

$$T_{amb} : 300,23 \text{ K}$$

$$\tau\alpha : 0,8$$

Según la ecuación 2.4

$$Q_u = A_c F_R [G_T (\tau\alpha) - U_L (T_{ent} - T_{amb})]$$

$$Q_u = 719,86 \text{ W}$$

Para visualizar los datos completos (ver anexos tabla 05).

❖ **Finalmente hallamos la eficiencia del colector**

Para este caso usaremos la ecuación 2.4a:

$$\eta = \frac{Q_u}{A_c \times G_T}$$

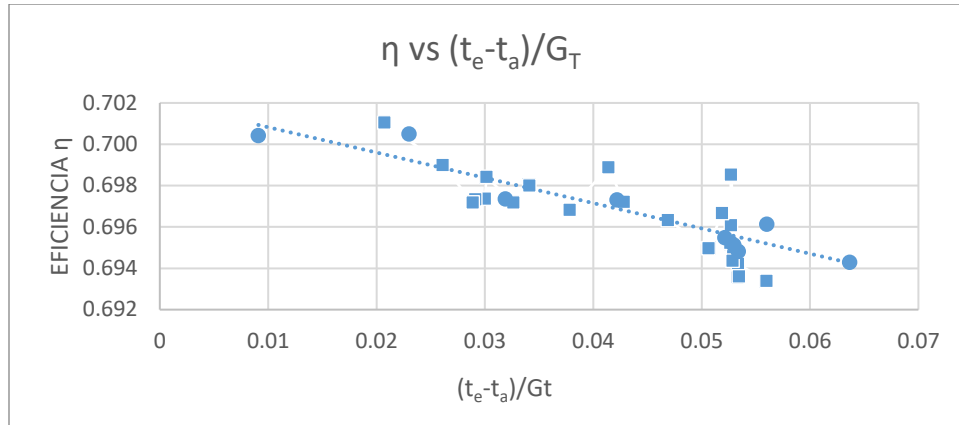
$$\eta = \frac{719,86}{2 \times 512}$$

$$\eta = 0,7030 = 70,30\%$$

Se obtiene que la eficiencia del colector en promedio durante el día 11 de enero del 2020 fue 69,68% (Para visualizar los datos completos ver anexos tabla de 07) y una eficiencia promedio de 69,7% durante todos los días del evaluados que duró el experimento.

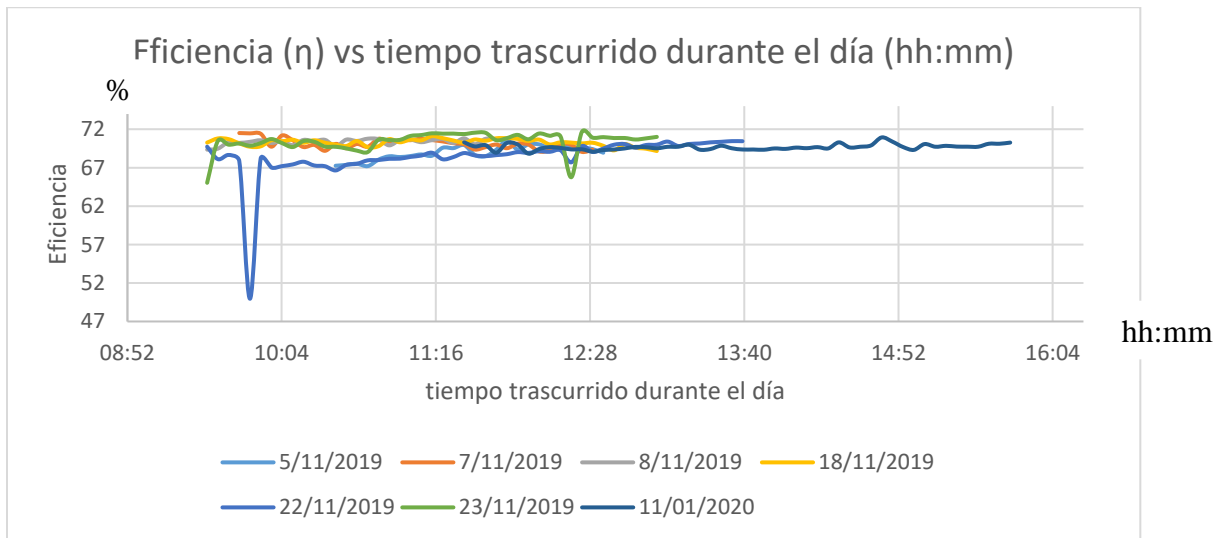
Con un error de eficiencia de +/- 10,81% durante el día 11 de enero del 2020, cuya gráfica puede visualizarse en la figura 22 (véase de forma detallada en anexos tabla 09)

**Figura 22:**  
Eficiencia del colector  $\eta$  vs  $(t_s-t_a)/G_T$  para determinar el error



*Nota: Gráfica elaborada a partir de los datos mostrados en anexos tabla 09.*

**Figura 23:**  
 $\eta$  vs tiempo transcurrido durante el día (hh:mm)



*Nota: Gráfica que representa la tendencia de la eficiencia con respecto a las horas del día, se tomó en consideración 7 días de toma de datos para obtener estas eficiencias, para ver datos más detallados ver tabla 11 en anexos.*

Se obtiene que la eficiencia del colector en promedio durante los 7 días del experimento de 69,7% (ver datos más completos en anexos tabla 11).



## CAPÍTULO V: DISCUSIÓN DE RESULTADOS

La eficiencia promedio para un colector solar de placa plana de doble paso fue 69.7%: sin embargo, la eficiencia obtenida para un colector solar de placa plana convencional obtenida por Alberto Montoya Portugal y al., (2011); fue un valor promedio 55,7%. Bassem y al., (2021a) que un colector de tubo de vacío es una mejor opción obteniendo una eficiencia entre 70% y 40%, dependiendo el ratio del flujo másico; sin embargo, en comparación con un colector de placa plana de doble paso las eficiencias son semejantes.

Si bien Zhang y Lavan, (1985), no modelaron ni construyeron un colector de placa plana de doble paso, pero su trabajo nos proporcionó una valiosa información para la construcción de nuestro colector de placa plana de doble paso, debido a la importancia del distanciamiento entre los tubos del colector. Aparte de ese gran aporte lo que más resaltó de su trabajo fue una solución analítica más cerrada con respecto al factor de remoción propuesto por Abdel - Khalik, la cual usamos como una nuestras ecuaciones principales ya que nos arrojó un resultado promedio de 0,89 de factor de remoción.

# CAPÍTULO VI: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

## 6.1. Conclusiones

- Se construyó un colector de placa plana de doble paso siguiendo los lineamientos de la investigación de Zhang, H., y Lavan, Z. (1985); en la cual, se menciona que mientras menor es la distancia entre los centros de los tubos, mayor será el valor de  $F_R$ . Por lo que consideramos en nuestra investigación un distanciamiento de 0,1 metros entre tubos y un área de colector de 2 m<sup>2</sup>.
- Con la realización de los ensayos experimentales, obtuvimos los parámetros de medición necesarios para la evaluación de la eficiencia de un colector solar de placa plana de doble paso, siendo uno de los más destacados la radiación solar incidente ( $G_T$ ) promedio de 739,13 w/m<sup>2</sup>°k, cuyos datos completos pueden ser visualizado en anexos tabla 06.
- A través de la modelación que realizaron Zhang, H., y Lavan, Z. (1985) de las ecuaciones diferenciales propuestas por Abdel - Khalik, logramos tener información necesaria para determinar las ecuaciones que se adecuaron a nuestro colector e hicimos uso del factor de remoción ( $F_R$ ) que se adaptó a nuestro colector.
- Para finalizar analizamos todos los datos obtenidos en las ecuaciones que se ajustaron mejor a nuestro colector y obtuvimos buenos resultados, siendo los más destacados (sin mencionar la eficiencia) el coeficiente global de pérdidas de calor promedio ( $U_L$ ) 7,34 W/m<sup>2</sup>K y el factor de remoción promedio ( $F_R$ ) 0,89.
- Obtuvimos una eficiencia promedio de 69,7%, durante los días de medición en nuestro colector solar de placa plana de doble paso.

## 6.2. Recomendaciones.

Continuar la recolección de datos con nuestro colector solar de placa plana de doble paso en los demás meses del año, para así poder comparar la eficiencia del colector en los meses con menor radiación incidente.

Utilizar mejores materiales en una nueva construcción de nuestro modelo de colector solar (materiales con mayor conductividad térmica) y así aumentar el valor de la eficiencia.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alberto Montoya Portugal, L., Ernesto Palo Tejada -, J., Ricardo Cabana Hanco -, W., & Soria Guía -, L. (2011). *Evaluación de un calentador solar de agua de acuerdo a Norma Técnica Peruana*. 11(1), 14–19.
- Bassem, S., Jalil, J. M., & Ismael, S. J. (2021a). Experimental Study of Double Pass water passage in Evacuated Tube with Parabolic Trough Collector. *Journal of Physics: Conference Series*, 1973(1). <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1973/1/012058>
- Bassem, S., Jalil, J. M., & Ismael, S. J. (2021b). Experimental Study of Double Pass water passage in Evacuated Tube with Parabolic Trough Collector. *Journal of Physics: Conference Series*, 1973(1). <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1973/1/012058>
- Cuadros, F., López-Rodríguez, F., Segador, C., & Marcos, A. (2007). A simple procedure to size active solar heating schemes for low-energy building design. *Energy and Buildings*, 39(1), 96–104. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2006.05.006>
- Duffie (Deceased), J. A., Beckman, W. A., & Blair, N. (2020). Solar Engineering of Thermal Processes, Photovoltaics and Wind. In *Solar Engineering of Thermal Processes, Photovoltaics and Wind*. <https://doi.org/10.1002/9781119540328>
- Echevarria, A. (2011). *DISEÑO DE UN COLECTOR CILINDRO PARABÓLICO COMPUESTO CON APLICACIÓN PARA EL CALENTAMIENTO DE AGUA*. Universidad de Piura.
- Fanney, A. H., & Klein, S. A. (1988). Thermal performance comparisons for solar hot water systems subjected to various collector and heat exchanger flow rates. *Solar Energy*, 40(1), 1–11. [https://doi.org/10.1016/0038-092X\(88\)90065-5](https://doi.org/10.1016/0038-092X(88)90065-5)
- Hashim, W. M., Shomran, A. T., Jurmut, H. A., Gaaz, T. S., Kadhum, A. A. H., & Al-Amiery, A. A. (2018). Case study on solar water heating for flat plate collector. *Case Studies in Thermal Engineering*, 12, 666–671. <https://doi.org/10.1016/j.csite.2018.09.002>
- Hernan, M., & Valencia, R. (2012). *Departamento De Física Diseño , Construccion Y Caracterizacion De Un Colector Solar Plano De Aire* .
- Khalik Abdel S. (1976). HEAT REMOVAL FACTOR FOR A FLAT-PLATE SOLAR COLLECTOR WITH A SERPENTINE TUBE. *Solar Energy*, 18, 59–64.
- Trebejo, I. (marzo 2003). Atlas de Energía Solar. Instituto Nacional de Meteorología del Perú

Zhang, H.-F., & Lavan, Z. (1985). Thermal performance of a serpentine absorber plate. *Solar Energy*, 34(2), 175–177.

## ANEXOS

### ANEXO 01: TABLAS DE COMPORTAMIENTO DE VARIABLES

**Tabla 02:**

Radiación solar incidente  $G_T$ .

HORA	$G_T$ (W/m <sup>2</sup> )
sábado 11/01/2020 11:30	<b>512</b>
sábado 11/01/2020 11:35	<b>512</b>
sábado 11/01/2020 11:40	<b>540</b>
sábado 11/01/2020 11:45	<b>540</b>
sábado 11/01/2020 11:50	<b>562</b>
sábado 11/01/2020 11:55	<b>562</b>
sábado 11/01/2020 12:00	<b>562</b>
sábado 11/01/2020 12:05	<b>562</b>
sábado 11/01/2020 12:10	<b>562</b>
sábado 11/01/2020 12:15	<b>562</b>
sábado 11/01/2020 12:20	<b>650</b>
sábado 11/01/2020 12:25	<b>650</b>
sábado 11/01/2020 12:30	<b>650</b>
sábado 11/01/2020 12:35	<b>650</b>
sábado 11/01/2020 12:40	<b>650</b>
sábado 11/01/2020 12:45	<b>708</b>
sábado 11/01/2020 12:50	<b>708</b>
sábado 11/01/2020 12:55	<b>732</b>
sábado 11/01/2020 13:00	<b>781</b>
sábado 11/01/2020 13:05	<b>806</b>
sábado 11/01/2020 13:10	<b>812</b>
sábado 11/01/2020 13:15	<b>830</b>
sábado 11/01/2020 13:20	<b>830</b>
sábado 11/01/2020 13:25	<b>854</b>
sábado 11/01/2020 13:30	<b>879</b>
sábado 11/01/2020 13:35	<b>880</b>
sábado 11/01/2020 13:40	<b>879</b>
sábado 11/01/2020 13:45	<b>879</b>
sábado 11/01/2020 13:50	<b>879</b>
sábado 11/01/2020 13:55	<b>880</b>
sábado 11/01/2020 14:00	<b>879</b>
sábado 11/01/2020 14:05	<b>879.15</b>
sábado 11/01/2020 14:10	<b>879.52</b>
sábado 11/01/2020 14:15	<b>879.15</b>
sábado 11/01/2020 14:20	<b>879.52</b>

sábado 11/01/2020 14:25	<b>879.52</b>
sábado 11/01/2020 14:30	<b>928.47</b>
sábado 11/01/2020 14:35	<b>902.71</b>
sábado 11/01/2020 14:40	<b>927.49</b>
sábado 11/01/2020 14:45	<b>928.22</b>
sábado 11/01/2020 14:50	<b>952.15</b>
sábado 11/01/2020 14:55	<b>952.76</b>
sábado 11/01/2020 15:00	<b>952.88</b>
sábado 11/01/2020 15:05	<b>952.76</b>
sábado 11/01/2020 15:10	<b>951.78</b>
sábado 11/01/2020 15:15	<b>952.76</b>
sábado 11/01/2020 15:20	<b>952.27</b>
sábado 11/01/2020 15:25	<b>951.54</b>
sábado 11/01/2020 15:30	<b>928.47</b>
sábado 11/01/2020 15:35	<b>903.56</b>
sábado 11/01/2020 15:40	<b>904.05</b>
sábado 11/01/2020 15:45	<b>902.71</b>

**Tabla03:**  
Coeficientes de pérdidas de calor

TIEMPO	$h_{r\ p-c}$	$T_{amb\ p-c}$	B	u	$\alpha$	$\Delta T$	K(plástico)	Rayleigh	Nusselt	$h_{c\ p-c}$	$R_{p-c}$	$h_w$	$h_{r\ c-a}$	$R_{c-a}$	$U_t$	$U_b$	$U_L$
HORA	W/m <sup>2</sup> K	K	1/K	m <sup>2</sup> /s	m <sup>2</sup> /seg	K	W/mK			W/m <sup>2</sup> K	m <sup>2</sup> K/W	W/m <sup>2</sup> K	W/m <sup>2</sup> K	m <sup>2</sup> K/W	W/m <sup>2</sup> K	W/m <sup>2</sup> K	W/m <sup>2</sup> K
sábado 11/01/2020 11:30	5.7467	302.713	0.003341	1.6040E-05	2.2021E-05	2.275	0.025847	1.351E+04	2.4309	1.57081	0.13666	9.95600	5.78149	0.06354	4.99500	1.01099	6.00599
sábado 11/01/2020 11:35	5.7850	303.383	0.003325	1.6102E-05	2.2112E-05	1.775		1.040E+04	2.2424	1.45181	0.13818	9.42400	5.84926	0.06547	4.91022	1.01099	5.92120
sábado 11/01/2020 11:40	6.1937	310.355	0.003326	1.6758E-05	2.3075E-05	6.490	0.026414	3.504E+04	3.0876	2.03889	0.12147	6.27000	5.98222	0.08162	4.92401	1.01099	5.93500
sábado 11/01/2020 11:45	6.4853	315.140	0.003320	1.7211E-05	2.3739E-05	9.320	0.026767	4.754E+04	3.3067	2.21276	0.11497	9.23400	6.09915	0.06522	5.54982	1.01099	6.56080
sábado 11/01/2020 11:50	6.6710	318.105	0.003332	1.7496E-05	2.4154E-05	11.970	0.026987	5.922E+04	3.4720	2.34245	0.11095	6.57400	6.11893	0.07878	5.27067	1.01099	6.28165
sábado 11/01/2020 11:55	6.5722	316.533	0.003332	1.7345E-05	2.3933E-05	10.935	0.026870	5.508E+04	3.4167	2.29515	0.11277	11.55200	6.08638	0.05669	5.90082	1.01099	6.91181
sábado 11/01/2020 12:00	7.1277	325.180	0.003316	1.7980E-05	2.4870E-05	15.760	0.027350	7.335E+04	3.6406	2.48926	0.10398	9.61400	6.31972	0.06276	5.99727	1.01099	7.00826
sábado 11/01/2020 12:05	7.2531	327.065	0.003317	1.7980E-05	2.4870E-05	17.030	0.027350	7.927E+04	3.7039	2.53252	0.10219	7.10600	6.35815	0.07427	5.66693	1.01099	6.67792
sábado 11/01/2020 12:10	7.4771	330.375	0.003325	1.8689E-05	2.5918E-05	19.750	0.027878	8.508E+04	3.7627	2.62239	0.09901	11.40000	6.39615	0.05619	6.44302	1.01099	7.45401
sábado 11/01/2020 12:15	7.6333	332.648	0.003322	1.8901E-05	2.6233E-05	21.105	0.028036	8.875E+04	3.7983	2.66222	0.09713	8.20800	6.45388	0.06820	6.04839	1.01099	7.05938
sábado 11/01/2020 12:20	7.7840	334.808	0.003322	1.8960E-05	2.6320E-05	22.525	0.028080	9.411E+04	3.8483	2.70152	0.09537	12.61600	6.50097	0.05231	6.77143	1.01099	7.78242
sábado 11/01/2020 12:25	7.8948	336.378	0.003323	1.8960E-05	2.6320E-05	23.625	0.028080	9.873E+04	3.8899	2.73069	0.09411	13.07200	6.53119	0.05101	6.89059	1.01099	7.90158
sábado 11/01/2020 12:30	7.9646	337.363	0.003319	1.8960E-05	2.6320E-05	24.035	0.028080	1.003E+05	3.9038	2.74049	0.09341	13.03400	6.56757	0.05102	6.92380	1.01099	7.93478
sábado 11/01/2020 12:35	8.0491	338.543	0.003319	1.9494E-05	2.7118E-05	24.815	0.028473	9.777E+04	3.8814	2.76292	0.09249	8.77800	6.59337	0.06506	6.34737	1.01099	7.35836
sábado 11/01/2020 12:40	8.1262	339.613	0.003319	1.9600E-05	2.7276E-05	25.515	0.028552	9.940E+04	3.8958	2.78077	0.09168	7.60000	6.61729	0.07034	6.17203	1.01099	7.18302
sábado 11/01/2020 12:45	8.1895	340.485	0.003318	1.9687E-05	2.7406E-05	26.090	0.028616	1.007E+05	3.9072	2.79520	0.09104	7.41000	6.63659	0.07119	6.16418	1.01099	7.17517
sábado 11/01/2020 12:50	8.2183	340.878	0.003324	1.9725E-05	2.7464E-05	26.665	0.028644	1.027E+05	3.9242	2.81013	0.09067	10.03200	6.62556	0.06003	6.63538	1.01099	7.64637
sábado 11/01/2020 12:55	8.2696	341.583	0.003320	1.9795E-05	2.7568E-05	26.935	0.028695	1.029E+05	3.9258	2.81629	0.09020	7.90400	6.65332	0.06869	6.29333	1.01099	7.30432
sábado 11/01/2020 13:00	8.3009	342.010	0.003319	1.9837E-05	2.7631E-05	27.120	0.028727	1.030E+05	3.9274	2.82057	0.08992	8.74000	6.66887	0.06490	6.45936	1.01099	7.47035
sábado 11/01/2020 13:05	8.3089	342.118	0.003321	1.9848E-05	2.7648E-05	27.365	0.028735	1.040E+05	3.9351	2.82689	0.08980	9.61400	6.66037	0.06145	6.61172	1.01099	7.62271

sábado 11/01/2020 13:10	8.3174	342.230	0.003324	1.9853E-05	2.7655E-05	27.620	0.028738	1.050E+05	3.9437	2.83339	0.08968	12.88200	6.65157	0.05119	7.09855	1.01099	8.10954
sábado 11/01/2020 13:15	8.3195	342.260	0.003323	1.9857E-05	2.7661E-05	27.580	0.028741	1.047E+05	3.9418	2.83230	0.08967	8.66400	6.65597	0.06527	6.45387	1.01099	7.46486
sábado 11/01/2020 13:20	8.3360	342.485	0.003322	1.9885E-05	2.7702E-05	27.630	0.028762	1.046E+05	3.9404	2.83331	0.08953	16.07400	6.66712	0.04397	7.49038	1.01099	8.50137
sábado 11/01/2020 13:25	8.3514	342.700	0.003316	1.9906E-05	2.7733E-05	27.400	0.028777	1.033E+05	3.9294	2.82694	0.08946	9.08200	6.69518	0.06338	6.54274	1.01099	7.55373
sábado 11/01/2020 13:30	8.3941	343.275	0.003319	1.9950E-05	2.7800E-05	27.990	0.028810	1.051E+05	3.9451	2.84145	0.08900	7.41000	6.69477	0.07090	6.25385	1.01099	7.26484
sábado 11/01/2020 13:35	8.4473	343.995	0.003317	1.9950E-05	2.7800E-05	28.350	0.028810	1.064E+05	3.9559	2.84925	0.08852	9.46200	6.71804	0.06180	6.65216	1.01099	7.66315
sábado 11/01/2020 13:40	8.4758	344.380	0.003316	1.9950E-05	2.7800E-05	28.520	0.028810	1.070E+05	3.9609	2.85281	0.08827	10.03200	6.73192	0.05965	6.76024	1.01099	7.77123
sábado 11/01/2020 13:45	8.4685	344.278	0.003320	1.9950E-05	2.7800E-05	28.745	0.028810	1.080E+05	3.9692	2.85880	0.08828	13.45200	6.71125	0.04960	7.25282	1.01099	8.26381
sábado 11/01/2020 13:50	8.4581	344.138	0.003320	1.9950E-05	2.7800E-05	28.625	0.028810	1.075E+05	3.9653	2.85602	0.08839	12.80600	6.70986	0.05124	7.16201	1.01099	8.17299
sábado 11/01/2020 13:55	8.4403	343.898	0.003321	1.9950E-05	2.7800E-05	28.505	0.028810	1.071E+05	3.9617	2.85345	0.08854	11.21000	6.70210	0.05583	6.92651	1.01099	7.93750
sábado 11/01/2020 14:00	8.4164	343.575	0.003321	1.9950E-05	2.7800E-05	28.290	0.028810	1.063E+05	3.9550	2.84859	0.08877	12.08400	6.69505	0.05325	7.04118	1.01099	8.05217
sábado 11/01/2020 14:05	8.3923	343.250	0.003320	1.9950E-05	2.7800E-05	28.000	0.028810	1.052E+05	3.9455	2.84176	0.08902	8.93000	6.69255	0.06401	6.53486	1.01099	7.54585
sábado 11/01/2020 14:10	8.3764	343.035	0.003321	1.9939E-05	2.7784E-05	27.930	0.028802	1.051E+05	3.9446	2.84033	0.08915	10.86800	6.68327	0.05698	6.84331	1.01099	7.85430
sábado 11/01/2020 14:15	8.3262	342.353	0.003322	1.9871E-05	2.7682E-05	27.575	0.028752	1.045E+05	3.9400	2.83206	0.08962	10.60200	6.66215	0.05792	6.77769	1.01099	7.78868
sábado 11/01/2020 14:20	8.2218	340.925	0.003323	1.9730E-05	2.7471E-05	26.650	0.028648	1.025E+05	3.9230	2.80966	0.09065	13.68000	6.62949	0.04924	7.14856	1.01099	8.15955
sábado 11/01/2020 14:25	8.2035	340.673	0.003326	1.9705E-05	2.7433E-05	26.655	0.028629	1.029E+05	3.9263	2.81017	0.09080	6.27000	6.61324	0.07762	5.93767	1.01099	6.94866
sábado 11/01/2020 14:30	8.1266	339.613	0.003326	1.9600E-05	2.7276E-05	25.975	0.028552	1.014E+05	3.9134	2.79338	0.09157	16.60600	6.58869	0.04311	7.42455	1.01099	8.43554
sábado 11/01/2020 14:35	8.0767	338.923	0.003323	1.9515E-05	2.7150E-05	25.355	0.028490	9.981E+04	3.8994	2.77730	0.09213	11.62800	6.58375	0.05491	6.80079	1.01099	7.81178
sábado 11/01/2020 14:40	7.9903	337.720	0.003321	1.8960E-05	2.6320E-05	24.420	0.028080	1.020E+05	3.9184	2.75073	0.09310	8.70200	6.56616	0.06550	6.30530	1.01099	7.31629
sábado 11/01/2020 14:45	7.8255	335.388	0.003337	1.8960E-05	2.6320E-05	23.825	0.028080	9.999E+04	3.9010	2.73849	0.09466	8.17000	6.45715	0.06837	6.13395	1.01099	7.14494
sábado 11/01/2020 14:50	7.8094	335.160	0.003335	1.8960E-05	2.6320E-05	23.560	0.028080	9.882E+04	3.8907	2.73128	0.09487	16.15000	6.45927	0.04423	7.18907	1.01099	8.20005
sábado 11/01/2020 14:55	7.6365	332.693	0.003323	1.8874E-05	2.6192E-05	21.155	0.028016	8.924E+04	3.8029	2.66352	0.09709	13.87000	6.45360	0.04920	6.83568	1.01099	7.84667
sábado 11/01/2020 15:00	7.5774	331.843	0.003316	1.8775E-05	2.6046E-05	20.195	0.027942	8.595E+04	3.7712	2.63436	0.09793	13.30000	6.45978	0.05061	6.73248	1.01099	7.74347



sábado 11/01/2020 15:05	7.5196	330.998	0.003322	1.8702E-05	2.5939E-05	19.965	0.027888	8.579E+04	3.7697	2.62822	0.09854	7.94200	6.42148	0.06962	5.94656	1.01099	6.95755
sábado 11/01/2020 15:10	7.4700	330.270	0.003326	1.8638E-05	2.5843E-05	19.740	0.027840	8.555E+04	3.7673	2.62199	0.09909	18.81000	6.39028	0.03968	7.20614	1.01099	8.21713
sábado 11/01/2020 15:15	7.4424	329.865	0.003326	1.8594E-05	2.5778E-05	19.470	0.027807	8.479E+04	3.7598	2.61373	0.09944	16.07400	6.38178	0.04453	6.94570	1.01099	7.95669
sábado 11/01/2020 15:20	7.4083	329.365	0.003325	1.8538E-05	2.5695E-05	19.070	0.027765	8.354E+04	3.7474	2.60118	0.09990	17.02400	6.37537	0.04274	7.01061	1.01099	8.02160
sábado 11/01/2020 15:25	7.3683	328.775	0.003322	1.8474E-05	2.5601E-05	18.530	0.027718	8.170E+04	3.7288	2.58386	0.10048	13.90800	6.37195	0.04931	6.67598	1.01099	7.68697
sábado 11/01/2020 15:30	7.2743	327.380	0.003321	1.7980E-05	2.4870E-05	17.540	0.027350	8.177E+04	3.7295	2.55004	0.10179	13.11000	6.34645	0.05140	6.52808	1.01099	7.53907
sábado 11/01/2020 15:35	7.1626	325.703	0.003326	1.7980E-05	2.4870E-05	16.675	0.027350	7.783E+04	3.6888	2.52223	0.10325	11.21000	6.29620	0.05712	6.23533	1.01099	7.24632
sábado 11/01/2020 15:40	6.8799	321.380	0.003325	2.4539E-05	1.7756E-05	13.780	0.027182	6.600E+04	3.5563	2.41674	0.10757	12.46400	6.20794	0.05356	6.20647	1.01099	7.21746
sábado 11/01/2020 15:45	6.6690	318.075	0.003326	2.4066E-05	1.7436E-05	11.630	0.026940	5.786E+04	3.4541	2.32637	0.11117	11.78000	6.13741	0.05581	5.98873	1.01099	6.99972

**Tabla 04:**  
valores del factor de remoción

HORA	$\dot{m}$ Kg/seg	K(calamina) w/mK	$\theta$	$k_1$	$\gamma$	R	$k_1R$	F <sub>1</sub>	F <sub>2</sub>	F <sub>5</sub>	$\beta_1$	F <sub>R</sub>
sábado 11/01/2020 11:30	0.011	115	0.5458	1.7754	-2.3046	0.0163	0.0290	3.6392	0.7548	0.8692	0.00013723	0.89
sábado 11/01/2020 11:35	0.012	115	0.5419	1.7766	-2.3002	0.0163	0.0290	3.6814	0.7575	0.8620	0.00013787	0.89
sábado 11/01/2020 11:40	0.012	115	0.5426	1.7764	-2.3009	0.0163	0.0290	3.6745	0.7570	0.8631	0.00013777	0.89
sábado 11/01/2020 11:45	0.011	115	0.5705	1.7674	-2.3335	0.0163	0.0289	3.3898	0.7375	0.9157	0.00013361	0.89
sábado 11/01/2020 11:50	0.013	115	0.5582	1.7714	-2.3189	0.0163	0.0289	3.5098	0.7461	0.8924	0.00013537	0.89
sábado 11/01/2020 11:55	0.011	115	0.5855	1.7624	-2.3518	0.0163	0.0288	3.2525	0.7269	0.9447	0.00013157	0.89
sábado 11/01/2020 12:00	0.011	115	0.5896	1.7610	-2.3569	0.0163	0.0287	3.2172	0.7241	0.9526	0.00013104	0.89
sábado 11/01/2020 12:05	0.009	115	0.5755	1.7658	-2.3396	0.0163	0.0288	3.3424	0.7339	0.9254	0.0001329	0.89
sábado 11/01/2020 12:10	0.008	115	0.6081	1.7547	-2.3803	0.0163	0.0286	3.0656	0.7111	0.9887	0.00012876	0.89
sábado 11/01/2020 12:15	0.009	115	0.5917	1.7603	-2.3596	0.0163	0.0287	3.1988	0.7226	0.9567	0.00013348	0.89
sábado 11/01/2020 12:20	0.011	115	0.6213	1.7501	-2.3976	0.0163	0.0286	2.9650	0.7018	1.0149	0.00012982	0.88
sábado 11/01/2020 12:25	0.012	115	0.6260	1.7484	-2.4039	0.0163	0.0285	2.9305	0.6985	1.0244	0.00012927	0.88
sábado 11/01/2020 12:30	0.013	115	0.6274	1.7479	-2.4056	0.0163	0.0285	2.9211	0.6976	1.0270	0.00012912	0.88
sábado 11/01/2020 12:35	0.010	115	0.6041	1.7561	-2.3753	0.0163	0.0287	3.0966	0.7139	0.9810	0.00013188	0.89
sábado 11/01/2020 12:40	0.013	115	0.5969	1.7586	-2.3661	0.0163	0.0287	3.1555	0.7189	0.9668	0.0001328	0.89
sábado 11/01/2020 12:45	0.012	115	0.5966	1.7587	-2.3656	0.0163	0.0287	3.1582	0.7192	0.9661	0.00013285	0.89
sábado 11/01/2020 12:50	0.010	115	0.6158	1.7520	-2.3904	0.0163	0.0286	3.0057	0.7057	1.0041	0.00013046	0.88
sábado 11/01/2020 12:55	0.009	115	0.6019	1.7568	-2.3724	0.0163	0.0287	3.1145	0.7154	0.9766	0.00013216	0.89
sábado 11/01/2020 13:00	0.008	115	0.6087	1.7545	-2.3811	0.0163	0.0286	3.0604	0.7107	0.9900	0.00013132	0.89
sábado 11/01/2020 13:05	0.008	115	0.6149	1.7523	-2.3892	0.0163	0.0286	3.0129	0.7063	1.0022	0.00013057	0.88
sábado 11/01/2020 13:10	0.008	115	0.6342	1.7455	-2.4149	0.0163	0.0285	2.8728	0.6928	1.0409	0.00012836	0.88
sábado 11/01/2020 13:15	0.008	115	0.6085	1.7546	-2.3809	0.0163	0.0286	3.0622	0.7108	0.9895	0.00013134	0.89
sábado 11/01/2020 13:20	0.012	115	0.6494	1.7400	-2.4356	0.0163	0.0284	2.7715	0.6823	1.0716	0.00012675	0.88
sábado 11/01/2020 13:25	0.009	115	0.6121	1.7533	-2.3855	0.0163	0.0286	3.0342	0.7083	0.9967	0.00013091	0.89
sábado 11/01/2020 13:30	0.010	115	0.6003	1.7574	-2.3704	0.0163	0.0287	3.1277	0.7166	0.9734	0.00013237	0.89

sábado 11/01/2020 13:35	0.009	115	0.6165	1.7518	-2.3913	0.0163	0.0286	3.0006	0.7052	1.0054	0.00013038	0.88
sábado 11/01/2020 13:40	0.011	115	0.6209	1.7502	-2.3970	0.0163	0.0286	2.9683	0.7022	1.0140	0.00012987	0.88
sábado 11/01/2020 13:45	0.010	115	0.6402	1.7433	-2.4230	0.0163	0.0285	2.8318	0.6886	1.0530	0.00012771	0.88
sábado 11/01/2020 13:50	0.011	115	0.6367	1.7446	-2.4182	0.0163	0.0285	2.8557	0.6911	1.0459	0.00012809	0.88
sábado 11/01/2020 13:55	0.012	115	0.6275	1.7479	-2.4058	0.0163	0.0285	2.9203	0.6975	1.0273	0.00012911	0.88
sábado 11/01/2020 14:00	0.011	115	0.6320	1.7463	-2.4118	0.0163	0.0285	2.8884	0.6944	1.0363	0.0001286	0.88
sábado 11/01/2020 14:05	0.012	115	0.6118	1.7534	-2.3851	0.0163	0.0286	3.0366	0.7085	0.9960	0.00013094	0.89
sábado 11/01/2020 14:10	0.013	115	0.6242	1.7491	-2.4014	0.0163	0.0286	2.9441	0.6998	1.0207	0.00012949	0.88
sábado 11/01/2020 14:15	0.008	115	0.6216	1.7500	-2.3979	0.0163	0.0286	2.9632	0.7017	1.0154	0.00012979	0.88
sábado 11/01/2020 14:20	0.008	115	0.6362	1.7448	-2.4175	0.0163	0.0285	2.8593	0.6914	1.0448	0.00012814	0.88
sábado 11/01/2020 14:25	0.008	115	0.5871	1.7619	-2.3538	0.0163	0.0288	3.2389	0.7258	0.9477	0.0001341	0.89
sábado 11/01/2020 14:30	0.008	115	0.6469	1.7409	-2.4321	0.0163	0.0284	2.7879	0.6840	1.0665	0.00012701	0.88
sábado 11/01/2020 14:35	0.009	115	0.6225	1.7497	-2.3991	0.0163	0.0286	2.9564	0.7010	1.0173	0.00012968	0.88
sábado 11/01/2020 14:40	0.010	115	0.6024	1.7567	-2.3731	0.0163	0.0287	3.1105	0.7151	0.9776	0.0001321	0.89
sábado 11/01/2020 14:45	0.010	115	0.5953	1.7591	-2.3641	0.0163	0.0287	3.1687	0.7201	0.9637	0.00013301	0.89
sábado 11/01/2020 14:50	0.011	115	0.6378	1.7442	-2.4196	0.0163	0.0285	2.8485	0.6903	1.0480	0.00012797	0.88
sábado 11/01/2020 14:55	0.011	115	0.6239	1.7492	-2.4010	0.0163	0.0286	2.9463	0.7001	1.0200	0.00012952	0.88
sábado 11/01/2020 15:00	0.011	115	0.6197	1.7506	-2.3955	0.0163	0.0286	2.9765	0.7029	1.0118	0.00013	0.88
sábado 11/01/2020 15:05	0.011	115	0.5875	1.7618	-2.3542	0.0163	0.0288	3.2356	0.7256	0.9484	0.00013405	0.89
sábado 11/01/2020 15:10	0.011	115	0.6384	1.7440	-2.4205	0.0163	0.0285	2.8440	0.6899	1.0493	0.0001279	0.88
sábado 11/01/2020 15:15	0.011	115	0.6282	1.7476	-2.4068	0.0163	0.0285	2.9149	0.6970	1.0288	0.00012902	0.88
sábado 11/01/2020 15:20	0.011	115	0.6308	1.7467	-2.4102	0.0163	0.0285	2.8968	0.6952	1.0339	0.00012874	0.88
sábado 11/01/2020 15:25	0.011	115	0.6175	1.7514	-2.3926	0.0163	0.0286	2.9934	0.7045	1.0073	0.00013026	0.88
sábado 11/01/2020 15:30	0.011	115	0.6115	1.7535	-2.3848	0.0163	0.0286	3.0387	0.7087	0.9955	0.00013098	0.89
sábado 11/01/2020 15:35	0.011	115	0.5995	1.7577	-2.3694	0.0163	0.0287	3.1339	0.7171	0.9719	0.00013247	0.89
sábado 11/01/2020 15:40	0.011	115	0.5983	1.7581	-2.3679	0.0163	0.0287	3.1437	0.7179	0.9696	0.00013262	0.89
sábado 11/01/2020 15:45	0.011	115	0.5892	1.7612	-2.3564	0.0163	0.0287	3.2203	0.7243	0.9519	0.00013381	0.89

**Tabla 05:**

Valores obtenidos para el calor útil

HORA	$G_T$ ( $W/m^2$ )	$\Delta T$ (K)	$A_c$ ( $m^2$ )	$\tau\alpha$	$F_R$	$Q_u$ W
sábado 11/01/2020 11:30	512	1.05	2	0.8	0.89	719.86
sábado 11/01/2020 11:35	512	1.62	2	0.8	0.89	714.32
sábado 11/01/2020 11:40	540	1.52	2	0.8	0.89	755.29
sábado 11/01/2020 11:45	540	2.08	2	0.8	0.89	744.51
sábado 11/01/2020 11:50	562	1.09	2	0.8	0.89	789.12
sábado 11/01/2020 11:55	562	0.95	2	0.8	0.89	786.94
sábado 11/01/2020 12:00	562	1.98	2	0.8	0.89	773.56
sábado 11/01/2020 12:05	562	1.63	2	0.8	0.89	780.25
sábado 11/01/2020 12:10	562	1.00	2	0.8	0.89	783.08
sábado 11/01/2020 12:15	562	1.28	2	0.8	0.89	781.93
sábado 11/01/2020 12:20	650	1.28	2	0.8	0.88	901.74
sábado 11/01/2020 12:25	650	1.20	2	0.8	0.88	902.01
sábado 11/01/2020 12:30	650	1.47	2	0.8	0.88	898.00
sábado 11/01/2020 12:35	650	1.59	2	0.8	0.89	900.71
sábado 11/01/2020 12:40	650	1.62	2	0.8	0.89	901.67
sábado 11/01/2020 12:45	708	1.61	2	0.8	0.89	984.16
sábado 11/01/2020 12:50	708	1.12	2	0.8	0.88	986.96
sábado 11/01/2020 12:55	732	1.42	2	0.8	0.89	1019.60
sábado 11/01/2020 13:00	781	1.56	2	0.8	0.89	1085.84
sábado 11/01/2020 13:05	806	1.28	2	0.8	0.88	1123.71
sábado 11/01/2020 13:10	812	1.00	2	0.8	0.88	1132.17
sábado 11/01/2020 13:15	830	1.08	2	0.8	0.89	1161.66
sábado 11/01/2020 13:20	830	1.23	2	0.8	0.88	1151.03
sábado 11/01/2020 13:25	854	1.77	2	0.8	0.89	1185.70

sábado 11/01/2020 13:30	879	1.45	2	0.8	0.89	1228.02
sábado 11/01/2020 13:35	880	1.62	2	0.8	0.88	1223.49
sábado 11/01/2020 13:40	879	1.75	2	0.8	0.88	1219.28
sábado 11/01/2020 13:45	879	1.42	2	0.8	0.88	1219.36
sábado 11/01/2020 13:50	879	1.51	2	0.8	0.88	1218.88
sábado 11/01/2020 13:55	880	1.46	2	0.8	0.88	1223.16
sábado 11/01/2020 14:00	879	1.46	2	0.8	0.88	1220.70
sábado 11/01/2020 14:05	879.15	1.58	2	0.8	0.89	1223.93
sábado 11/01/2020 14:10	879.52	1.48	2	0.8	0.88	1222.96
sábado 11/01/2020 14:15	879.15	1.34	2	0.8	0.88	1224.97
sábado 11/01/2020 14:20	879.52	1.32	2	0.8	0.88	1222.47
sábado 11/01/2020 14:25	879.52	1.06	2	0.8	0.89	1236.47
sábado 11/01/2020 14:30	928.47	1.05	2	0.8	0.88	1293.04
sábado 11/01/2020 14:35	902.71	1.29	2	0.8	0.88	1258.77
sábado 11/01/2020 14:40	927.49	1.44	2	0.8	0.89	1296.43
sábado 11/01/2020 14:45	928.22	0.05	2	0.8	0.89	1316.72
sábado 11/01/2020 14:50	952.15	0.24	2	0.8	0.88	1340.24
sábado 11/01/2020 14:55	952.76	1.39	2	0.8	0.88	1327.83
sábado 11/01/2020 15:00	952.88	1.98	2	0.8	0.88	1320.91
sábado 11/01/2020 15:05	952.76	1.49	2	0.8	0.89	1335.13
sábado 11/01/2020 15:10	951.78	1.10	2	0.8	0.88	1327.13
sábado 11/01/2020 15:15	952.76	1.10	2	0.8	0.88	1330.86
sábado 11/01/2020 15:20	952.27	1.20	2	0.8	0.88	1328.16
sábado 11/01/2020 15:25	951.54	1.43	2	0.8	0.88	1327.09
sábado 11/01/2020 15:30	928.47	1.52	2	0.8	0.89	1294.64
sábado 11/01/2020 15:35	903.56	1.14	2	0.8	0.89	1267.02
sábado 11/01/2020 15:40	904.05	1.17	2	0.8	0.89	1267.58
sábado 11/01/2020 15:45	902.71	1.10	2	0.8	0.89	1268.48

**Tabla 06:**

Datos obtenidos por medio de instrumentos de medición

TIEMPO	T <sub>amb</sub>		T <sub>sal</sub>		T <sub>p</sub>		V <sub>viento</sub>	T <sub>ent</sub>		G <sub>T</sub>	Vol	t	caudal
	HORA	°C	K	°C	K	°C		K	°C				
sábado 11/01/2020 11:30	25.10	300.23	28.32	301.47	30.70	303.85	1.120	26.15	299.30	512	800	70	11.429
sábado 11/01/2020 11:35	25.95	301.08	29.07	302.22	31.12	304.27	0.980	27.57	300.72	512	800	66	12.121
sábado 11/01/2020 11:40	25.95	301.08	31.32	304.47	40.45	313.60	0.150	27.47	300.62	540	800	68	11.765
sábado 11/01/2020 11:45	25.93	301.06	31.41	304.56	46.65	319.80	0.930	28.01	301.16	540	800	76	10.526
sábado 11/01/2020 11:50	25.91	301.04	35.46	308.61	50.94	324.09	0.230	27.00	300.15	562	800	62	12.903
sábado 11/01/2020 11:55	26.03	301.16	29.21	302.36	48.85	322.00	1.540	26.98	300.13	562	800	70	11.429
sábado 11/01/2020 12:00	26.41	301.54	39.14	312.29	59.91	333.06	1.030	28.39	301.54	562	800	76	10.526
sábado 11/01/2020 12:05	26.74	301.87	48.06	321.21	62.43	335.58	0.370	28.37	301.52	562	800	92	8.696
sábado 11/01/2020 12:10	26.60	301.73	55.87	329.02	67.10	340.25	1.500	27.60	300.75	562	800	103	7.767
sábado 11/01/2020 12:15	26.56	301.69	60.71	333.86	70.05	343.20	0.660	27.84	300.99	562	800	91	8.791
sábado 11/01/2020 12:20	26.59	301.72	62.12	335.27	72.92	346.07	1.820	27.87	301.02	650	800	70	11.429
sábado 11/01/2020 12:25	26.59	301.72	65.74	338.89	75.04	348.19	1.940	27.79	300.94	650	800	67	11.940
sábado 11/01/2020 12:30	26.69	301.82	66.24	339.39	76.23	349.38	1.930	28.16	301.31	650	800	62	12.903
sábado 11/01/2020 12:35	26.58	301.71	68.12	341.27	77.80	350.95	0.810	28.17	301.32	650	800	80	10.000
sábado 11/01/2020 12:40	26.57	301.7	70.99	344.14	79.22	352.37	0.500	28.19	301.34	650	800	63	12.698
sábado 11/01/2020 12:45	26.59	301.72	71.21	344.36	80.38	353.53	0.450	28.20	301.35	708	800	67	11.940
sábado 11/01/2020 12:50	26.61	301.74	71.99	345.14	81.06	354.21	1.140	27.73	300.88	708	800	83	9.639
sábado 11/01/2020 12:55	26.61	301.74	71.99	345.14	81.90	355.05	0.580	28.03	301.18	732	800	90	8.889
sábado 11/01/2020 13:00	26.62	301.75	72.10	345.25	82.42	355.57	0.800	28.18	301.33	781	800	104	7.692
sábado 11/01/2020 13:05	26.64	301.77	72.20	345.35	82.65	355.80	1.030	27.92	301.07	806	800	101	7.921
sábado 11/01/2020 13:10	26.65	301.78	72.25	345.40	82.89	356.04	1.890	27.65	300.80	812	800	98	8.163
sábado 11/01/2020 13:15	26.66	301.79	73.11	346.26	82.90	356.05	0.780	27.74	300.89	830	800	100	8.000
sábado 11/01/2020 13:20	26.66	301.79	73.11	346.26	83.15	356.30	2.730	27.89	301.04	830	800	65	12.308
sábado 11/01/2020 13:25	26.68	301.81	72.25	345.40	83.25	356.40	0.890	28.45	301.60	854	800	93	8.602
sábado 11/01/2020 13:30	26.69	301.82	73.00	346.15	84.12	357.27	0.450	28.14	301.29	879	800	84	9.524

sábado 11/01/2020 13:35	26.70	301.83	73.01	346.16	85.02	358.17	0.990	28.32	301.47	880	800	89	8.989
sábado 11/01/2020 13:40	26.70	301.83	73.56	346.71	85.49	358.64	1.140	28.45	301.60	879	800	75	10.667
sábado 11/01/2020 13:45	26.59	301.72	73.56	346.71	85.50	358.65	2.040	28.01	301.16	879	800	78	10.256
sábado 11/01/2020 13:50	26.54	301.67	73.42	346.57	85.30	358.45	1.870	28.05	301.20	879	800	74	10.811
sábado 11/01/2020 13:55	26.53	301.66	73.10	346.25	85.00	358.15	1.450	27.99	301.14	880	800	69	11.594
sábado 11/01/2020 14:00	26.53	301.66	72.99	346.14	84.57	357.72	1.680	27.99	301.14	879	800	71	11.268
sábado 11/01/2020 14:05	26.52	301.65	72.84	345.99	84.10	357.25	0.850	28.10	301.25	879.15	800	65	12.308
sábado 11/01/2020 14:10	26.51	301.64	72.80	345.95	83.85	357.00	1.360	27.99	301.14	879.51	800	63	12.698
sábado 11/01/2020 14:15	26.50	301.63	72.10	345.25	82.99	356.14	1.290	27.84	300.99	879.15	800	99	8.081
sábado 11/01/2020 14:20	26.48	301.61	71.00	344.15	81.10	354.25	2.100	27.80	300.95	879.51	800	97	8.247
sábado 11/01/2020 14:25	26.48	301.61	70.85	344.00	80.85	354.00	0.150	27.54	300.69	879.51	800	97	8.247
sábado 11/01/2020 14:30	26.45	301.58	69.99	343.14	79.45	352.60	2.870	27.50	300.65	928.46	800	95	8.421
sábado 11/01/2020 14:35	26.45	301.58	65.10	338.25	78.45	351.60	1.560	27.74	300.89	902.71	800	90	8.889
sábado 11/01/2020 14:40	26.50	301.63	64.89	338.04	76.78	349.93	0.790	27.94	301.09	927.49	800	80	10.000
sábado 11/01/2020 14:45	26.45	301.58	64.00	337.15	74.15	347.30	0.650	26.50	299.65	928.22	800	80	10.000
sábado 11/01/2020 14:50	26.43	301.56	63.98	337.13	73.79	346.94	2.750	26.67	299.82	952.14	800	72	11.111
sábado 11/01/2020 14:55	26.42	301.55	62.45	335.60	70.12	343.27	2.150	27.81	300.96	952.76	800	70	11.429
sábado 11/01/2020 15:00	26.42	301.55	60.18	333.33	68.79	341.94	2.000	28.40	301.55	952.88	800	70	11.429
sábado 11/01/2020 15:05	26.41	301.54	58.89	332.04	67.83	340.98	0.590	27.90	301.05	952.76	800	70	11.429
sábado 11/01/2020 15:10	26.41	301.54	57.45	330.60	66.99	340.14	3.450	27.51	300.66	951.78	800	75	10.667
sábado 11/01/2020 15:15	26.41	301.54	55.12	328.27	66.45	339.60	2.730	27.51	300.66	952.76	800	75	10.667
sábado 11/01/2020 15:20	26.41	301.54	54.98	328.13	65.75	338.90	2.980	27.61	300.76	952.27	800	75	10.667
sábado 11/01/2020 15:25	26.40	301.53	54.09	327.24	64.89	338.04	2.160	27.83	300.98	951.53	800	75	10.667
sábado 11/01/2020 15:30	26.40	301.53	53.21	326.36	63.00	336.15	1.950	27.92	301.07	928.47	800	75	10.667
sábado 11/01/2020 15:35	26.40	301.53	49.99	323.14	60.89	334.04	1.450	27.54	300.69	903.56	800	75	10.667
sábado 11/01/2020 15:40	26.39	301.52	45.12	318.27	55.12	328.27	1.780	27.56	300.71	904.053	800	75	10.667
sábado 11/01/2020 15:45	26.38	301.51	40.87	314.02	50.74	323.89	1.600	27.48	300.63	902.71	800	75	10.667

**Tabla 07:**

Valores obtenidos para hallar la eficiencia

TIEMPO HORA	$G_T$ W/m <sup>2</sup>	$A_c$ m <sup>2</sup>	$Q_u$ W	$\eta$
sábado 11/01/2020 11:30	<b>512</b>	2	719.86	0.7030
sábado 11/01/2020 11:35	<b>512</b>	2	714.32	0.6976
sábado 11/01/2020 11:40	<b>540</b>	2	755.29	0.6993
sábado 11/01/2020 11:45	<b>540</b>	2	744.51	0.6894
sábado 11/01/2020 11:50	<b>562</b>	2	789.12	0.7021
sábado 11/01/2020 11:55	<b>562</b>	2	786.94	0.7001
sábado 11/01/2020 12:00	<b>562</b>	2	773.56	0.6882
sábado 11/01/2020 12:05	<b>562</b>	2	780.25	0.6942
sábado 11/01/2020 12:10	<b>562</b>	2	783.08	0.6967
sábado 11/01/2020 12:15	<b>562</b>	2	781.93	0.6957
sábado 11/01/2020 12:20	<b>650</b>	2	901.74	0.6936
sábado 11/01/2020 12:25	<b>650</b>	2	902.01	0.6939
sábado 11/01/2020 12:30	<b>650</b>	2	898.00	0.6908
sábado 11/01/2020 12:35	<b>650</b>	2	900.71	0.6929
sábado 11/01/2020 12:40	<b>650</b>	2	901.67	0.6936
sábado 11/01/2020 12:45	<b>708</b>	2	984.16	0.6950
sábado 11/01/2020 12:50	<b>708</b>	2	986.96	0.6970
sábado 11/01/2020 12:55	<b>732</b>	2	1019.60	0.6964
sábado 11/01/2020 13:00	<b>781</b>	2	1085.84	0.6952
sábado 11/01/2020 13:05	<b>806</b>	2	1123.71	0.6971
sábado 11/01/2020 13:10	<b>812</b>	2	1132.17	0.6971
sábado 11/01/2020 13:15	<b>830</b>	2	1161.66	0.6998
sábado 11/01/2020 13:20	<b>830</b>	2	1151.03	0.6934
sábado 11/01/2020 13:25	<b>854</b>	2	1185.70	0.6942
sábado 11/01/2020 13:30	<b>879</b>	2	1228.02	0.6985
sábado 11/01/2020 13:35	<b>880</b>	2	1223.49	0.6952
sábado 11/01/2020 13:40	<b>879</b>	2	1219.28	0.6936
sábado 11/01/2020 13:45	<b>879</b>	2	1219.36	0.6936
sábado 11/01/2020 13:50	<b>879</b>	2	1218.88	0.6933
sábado 11/01/2020 13:55	<b>880</b>	2	1223.16	0.6950
sábado 11/01/2020 14:00	<b>879</b>	2	1220.70	0.6944
sábado 11/01/2020 14:05	<b>879.15</b>	2	1223.93	0.6961
sábado 11/01/2020 14:10	<b>879.52</b>	2	1222.96	0.6952
sábado 11/01/2020 14:15	<b>879.15</b>	2	1224.97	0.6967
sábado 11/01/2020 14:20	<b>879.52</b>	2	1222.47	0.6950



sábado 11/01/2020 14:25	<b>879.52</b>	2	1236.47	0.7029
sábado 11/01/2020 14:30	<b>928.47</b>	2	1293.04	0.6963
sábado 11/01/2020 14:35	<b>902.71</b>	2	1258.77	0.6972
sábado 11/01/2020 14:40	<b>927.49</b>	2	1296.43	0.6989
sábado 11/01/2020 14:45	<b>928.22</b>	2	1316.72	0.7093
sábado 11/01/2020 14:50	<b>952.15</b>	2	1340.24	0.7038
sábado 11/01/2020 14:55	<b>952.76</b>	2	1327.83	0.6968
sábado 11/01/2020 15:00	<b>952.88</b>	2	1320.91	0.6931
sábado 11/01/2020 15:05	<b>952.76</b>	2	1335.13	0.7007
sábado 11/01/2020 15:10	<b>951.78</b>	2	1327.13	0.6972
sábado 11/01/2020 15:15	<b>952.76</b>	2	1330.86	0.6984
sábado 11/01/2020 15:20	<b>952.27</b>	2	1328.16	0.6974
sábado 11/01/2020 15:25	<b>951.53</b>	2	1327.09	0.6973
sábado 11/01/2020 15:30	<b>928.47</b>	2	1294.64	0.6972
sábado 11/01/2020 15:35	<b>903.56</b>	2	1267.02	0.7011
sábado 11/01/2020 15:40	<b>904.05</b>	2	1267.58	0.7011
sábado 11/01/2020 15:45	<b>902.71</b>	2	1268.48	0.7026

**Tabla 08:**  
Error de la pérdida calor global ( $U_L$ )

TIEMPO HORA	$U_L$ W/m <sup>2</sup> K	Pendiente W/m <sup>2</sup> K
sábado 11/01/2020 11:30	6.00599	1.46687
sábado 11/01/2020 11:35	5.92120	1.55165
sábado 11/01/2020 11:40	5.93500	1.53786
sábado 11/01/2020 11:45	6.56080	0.91205
sábado 11/01/2020 11:50	6.28165	1.19120
sábado 11/01/2020 11:55	6.91181	0.56105
sábado 11/01/2020 12:00	7.00826	0.46460
sábado 11/01/2020 12:05	6.67792	0.79494
sábado 11/01/2020 12:10	7.45401	0.01884
sábado 11/01/2020 12:15	7.05938	0.41348
sábado 11/01/2020 12:20	7.78242	0.30956
sábado 11/01/2020 12:25	7.90158	0.42872
sábado 11/01/2020 12:30	7.93478	0.46193
sábado 11/01/2020 12:35	7.35836	0.11450
sábado 11/01/2020 12:40	7.18302	0.28984
sábado 11/01/2020 12:45	7.17517	0.29769
sábado 11/01/2020 12:50	7.64637	0.17351
sábado 11/01/2020 12:55	7.30432	0.16854
sábado 11/01/2020 13:00	7.47035	0.00251
sábado 11/01/2020 13:05	7.62271	0.14985
sábado 11/01/2020 13:10	8.10954	0.63668
sábado 11/01/2020 13:15	7.46486	0.00800
sábado 11/01/2020 13:20	8.50137	1.02851
sábado 11/01/2020 13:25	7.55373	0.08087
sábado 11/01/2020 13:30	7.26484	0.20801
sábado 11/01/2020 13:35	7.66315	0.19029
sábado 11/01/2020 13:40	7.77123	0.29837
sábado 11/01/2020 13:45	8.26381	0.79095
sábado 11/01/2020 13:50	8.17299	0.70014
sábado 11/01/2020 13:55	7.93750	0.46464
sábado 11/01/2020 14:00	8.05217	0.57932
sábado 11/01/2020 14:05	7.54585	0.07300
sábado 11/01/2020 14:10	7.85430	0.38144
sábado 11/01/2020 14:15	7.78868	0.31583
sábado 11/01/2020 14:20	8.15955	0.68670
sábado 11/01/2020 14:25	6.94866	0.52420
sábado 11/01/2020 14:30	8.43554	0.96268
sábado 11/01/2020 14:35	7.81178	0.33893
sábado 11/01/2020 14:40	7.31629	0.15657

sábado 11/01/2020 14:45	7.14494	0.32792
sábado 11/01/2020 14:50	8.20005	0.72720
sábado 11/01/2020 14:55	7.84667	0.37381
sábado 11/01/2020 15:00	7.74347	0.27061
sábado 11/01/2020 15:05	6.95755	0.51531
sábado 11/01/2020 15:10	8.21713	0.74427
sábado 11/01/2020 15:15	7.95669	0.48383
sábado 11/01/2020 15:20	8.02160	0.54874
sábado 11/01/2020 15:25	7.68697	0.21411
sábado 11/01/2020 15:30	7.53907	0.06621
sábado 11/01/2020 15:35	7.24632	0.22654
sábado 11/01/2020 15:40	7.21746	0.25540
sábado 11/01/2020 15:45	6.99972	0.47314
<b>Valores Promedios</b>	7.47286	
<b>ERROR</b>		0.48003

**Tabla 09:**

Error de la eficiencia para el día 11 de enero del 2020

Horas (promedio cada media hora)	$(T_{sal}-T_{amb})/G_T$	$\eta$	pendiente
12:00	0.009	0.7004	-0.1264
12:30	0.053	0.6948	-0.0522
13:00	0.064	0.6943	-0.2413
13:30	0.056	0.6961	0.3354
14:00	0.053	0.6951	-0.4272
14:30	0.052	0.6955	-0.1832
15:00	0.042	0.6973	-0.0049
15:30	0.032	0.6974	-0.1830
15:45	0.023	0.7005	
<b>ERROR (-PENDIENTE)</b>		<b>10.81 %</b>	

**Tabla 10:**

Tabla de los datos promedios medidos más relevantes durante los días evaluados en todo el experimento.

Día	T <sub>amb</sub> °C	V <sub>viento</sub> m/seg	T <sub>ent</sub> °C	T <sub>sal</sub> °C	T <sub>p</sub> °C
05/11/2019	21.55	1.60	23.45	53.68	61.84
07/11/2019	22.264	0.99	21.91	63.19	70.62
08/11/2019	23.03	1.35	22.77	61.76	68.22
18/11/2019	22.79	1.73	22.679	59.52	64.09
22/11/2019	25.33	1.76	22.82	57.99	61.45
23/11/2019	23.38	1.63	23.70	54.201	73.80
11/01/2020	27.29	1.39	26.45	60.85	71.55

**Tabla 11:**

Tabla de los promedios de  $G_T$ ,  $U_L$ ,  $Q_U$ ,  $F_R$  y  $\eta$  de todos los días del experimento.

DÍA	$G_T$ w/m <sup>2</sup>	$U_L$ w/m <sup>2</sup> K	$Q_U$ w	$F_R$	$\eta$ %
05/11/2019	668	7.29	920.92	0.89	68.94
07/11/2019	708.26	7.19	993.23	0.89	70.11
08/11/2019	689.3	7.31	967.1	0.88	70.15
18/11/2019	798.5	7.35	1123.03	0.89	70.2
22/11/2019	795	7.21	1087.21	0.88	68.4
23/11/2019	720.2	7.57	1015.23	0.89	70.4
11/01/2020	794.64	7.47	1106.69	0.89	69.68
PROMEDIO	739.13	7.34	1030.49	0.89	69.7

# EVALUACIÓN DE LA EFICIENCIA DE UN COLECTOR SOLAR DE PLACA PLANA DE DOBLE PASO

## INFORME DE ORIGINALIDAD

<b>12%</b>	<b>12%</b>	<b>2%</b>	<b>5%</b>
INDICE DE SIMILITUD	FUENTES DE INTERNET	PUBLICACIONES	TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

## FUENTES PRIMARIAS

<b>1</b>	<b>repositorio.uncp.edu.pe</b> Fuente de Internet	<b>4%</b>
<b>2</b>	<b>repositorio.uns.edu.pe</b> Fuente de Internet	<b>1%</b>
<b>3</b>	<b>docshare.tips</b> Fuente de Internet	<b>1%</b>
<b>4</b>	<b>docplayer.es</b> Fuente de Internet	<b>1%</b>
<b>5</b>	<b>www.zaragoza.unam.mx</b> Fuente de Internet	<b>1%</b>
<b>6</b>	<b>rcientificas.uninorte.edu.co</b> Fuente de Internet	<b>1%</b>
<b>7</b>	<b>archive.org</b> Fuente de Internet	<b>&lt;1%</b>
<b>8</b>	<b>qdoc.tips</b> Fuente de Internet	<b>&lt;1%</b>
<b>9</b>	<b>repositorio.unicach.mx</b> Fuente de Internet	

		<1 %
10	<a href="http://pirhua.udep.edu.pe">pirhua.udep.edu.pe</a> Fuente de Internet	<1 %
11	<a href="http://es.slideshare.net">es.slideshare.net</a> Fuente de Internet	<1 %
12	Submitted to Universidad Nacional del Centro del Peru Trabajo del estudiante	<1 %
13	<a href="http://hdl.handle.net">hdl.handle.net</a> Fuente de Internet	<1 %
14	Submitted to CSU, San Diego State University Trabajo del estudiante	<1 %
15	<a href="http://repositorio.undac.edu.pe">repositorio.undac.edu.pe</a> Fuente de Internet	<1 %
16	<a href="http://solartronic.com">solartronic.com</a> Fuente de Internet	<1 %
17	<a href="http://www.scribd.com">www.scribd.com</a> Fuente de Internet	<1 %
18	<a href="http://anes.org.mx">anes.org.mx</a> Fuente de Internet	<1 %
19	Submitted to Universidad Católica de Santa María Trabajo del estudiante	<1 %

20	<a href="http://sedici.unlp.edu.ar">sedici.unlp.edu.ar</a> Fuente de Internet	<1 %
21	<a href="http://www.cie.unam.mx">www.cie.unam.mx</a> Fuente de Internet	<1 %
22	<a href="http://docslide.us">docslide.us</a> Fuente de Internet	<1 %
23	Submitted to Universidad Pontificia Bolivariana Trabajo del estudiante	<1 %
24	<a href="http://brainly.lat">brainly.lat</a> Fuente de Internet	<1 %
25	"Recent Advances in Electrical Engineering, Electronics and Energy", Springer Science and Business Media LLC, 2021 Publicación	<1 %
26	<a href="http://creativecommons.org">creativecommons.org</a> Fuente de Internet	<1 %
27	<a href="http://dspace.esPOCH.edu.ec">dspace.esPOCH.edu.ec</a> Fuente de Internet	<1 %

Excluir citas

Activo

Excluir coincidencias < 15 words

Excluir bibliografía

Activo